

Stabiliteitsanalyse kade

t.b.v. reconstructie molenvijver Frankenhofmolen a/d Weijerweg te Vaals

GA180712.R01.v1.0

22 november 2018



Stabiliteitsanalyse kade

t.b.v. reconstructie molenvijver Frankenhofmolen a/d Weijerweg te Vaals

Documentnummer GA180712.R01.v1.0

22 november 2018

Opdrachtgever

Stichting Het Limburgs Landschap

Afdeling: Projecten en Beheer

Postbus 4301

5944 ZG Arcen

Landschapsarchitect

OmniVerde BV

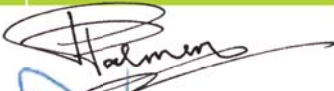
Houtstraat 137

6102 BH Echt

Auteurs

Adviseur Geotechniek P. Palmen MSc

Controle Ing. J. Valenteijn

Functie	Naam	Paraaf
Adviseur Geotechniek	P. Palmen MSc	
Controle	Ing. J. Valenteijn	

Inhoud

1	Inleiding.....	4
2	Projectbeschrijving	5
2.1	Beschrijving	5
3	Grondonderzoek.....	6
3.1	Algemeen	6
3.2	Diepsonderingen	6
3.3	Slagsonderingen	6
3.4	Boringen	7
3.5	Inmeting	7
4	Grondslag	8
4.1	Terreingesteldheid	8
4.2	Bodemopbouw	8
4.3	Grondwater	8
5	Stabiliteitsanalyse	9
5.1	Algemeen	9
5.2	Uitgangspunten	10
5.3	Resultaten stabiliteitsberekeningen	12
6	Conclusie en aanbevelingen	14
6.1	Bevindingen	14
6.2	Risico's	14
6.3	Uitvoeringstechnische eisen	15

Bijlagen

- Bijlage 1 Situatietekening
- Bijlage 2 Sondeergrafieken
- Bijlage 3 Boringen
- Bijlage 4 Locatie dwarsprofielen
- Bijlage 5 Maatgevend dwarsprofiel
- Bijlage 6 Stabiliteitsberekeningen

1 Inleiding

Door stichting Het Limburgs Landschap werd aan Geonius Geotechniek BV opdracht gegeven een geotechnisch grondonderzoek uit te voeren en een geotechnisch advies op te stellen. Dit onderzoek was nodig voor de reconstructie van de molenvijver Frankenhofmolen aan de Weijerweg te Vaals.

Het plan voorziet in het verhogen van de kade en het (deels) verdiepen van de molenvijver om zodoende een natuurlijke waterbuffer te creëren. De taluds van de ophoging en ontgraving zullen stabiel moeten blijven. In voorliggend rapport wordt op basis van de gestelde uitgangspunten en de resultaten van het onderzoek de stabiliteit van de bestaande taludhellingen beschouwd. Hierin worden de door de opdrachtgever aangegeven ontwerp-randvoorwaarden meegenomen. Indien de stabiliteit niet voldoet wordt een alternatief (ontwerp met maatregel) aangegeven. Uit het verleden is gebleken dat de kade in de noordoosthoek is doorbroken door de beek. In voorliggende rapportage zal de kade in deze hoek dan ook als maatgevend worden beschouwd.

Voorliggend rapport bevat de resultaten van het grondonderzoek en een toetsing van de macrostabiliteit voor de taluds van de buffer. De stabiliteitsberekeningen zijn uitgewerkt conform NEN 9997-1 (Geotechnisch ontwerp Deel 1: Algemene regels) en NEN 9997-2 (Geotechnisch ontwerp Deel 2: Grondonderzoek en beproeving). Beide delen vormen de basis van Eurocode 7. Tevens is gekeken naar het eventuele risico op piping.

2 Projectbeschrijving

2.1 Beschrijving

Aan de Weijerweg te Vaals is de reconstructie van de molenvijver gepland, waarbij het doel is een natuurlijke waterbuffer te creëren. In het kader van dit project zal de huidige kade worden verhoogd en de bodem van de vijver worden uitgediept. Ten behoeve van het advies zijn door de opdrachtgever de volgende documenten verstrekt:

- [1] Frankenhofmolen_Profielen_12112018.pdf; overzichtstekening dwarsprofielen, OmniVerde BV;
- [2] Dp1 t/m Dp16.bmp; dwarsprofielen; OmniVerde BV.

Voor de stabiliteitsberekeningen van de geplande kade-reconstructie zijn door ons, op basis van de door de opdrachtgever verstrekte gegevens, onderstaande uitgangspunten gehanteerd:

- De geometrie van de kade wordt aangehouden conform de aangeleverde maatgevende doorsnede Dp6, gezien deze het steilste talud (1 : 4) heeft;
- De bodem van de waterbuffer ligt in de huidige situatie op een niveau van ca. NAP +173,4 m à NAP +170,6 m. De bodem wordt gerealiseerd op een niveau van NAP +172,0 m en zodoende plaatselijk tot 1,4 m dieper ontgraven of opgehoogd;
- De kade rondom de buffer molenvijver wordt opgehoogd tot een niveau van NAP +173,0 m, indien de huidige kade (of maaiveld) deze hoogte nog niet heeft;
- Het waterpeil in de buffer molenvijver is opgegeven en bedraagt maximaal NAP +172,5 m. Tevens is op verzoek de stabiliteit van de binnendijk (zijde Weijerweg) bij een extreme situatie/calamiteit beschouwd met het waterpeil in de buffer tot aan kruin kade op NAP +173,0 m;
- In de noordwest hoek van de buffer zal een noodoverstort worden aangebracht om na bijvoorbeeld een piekbui te voorkomen dat het waterpeil in de buffer te hoog oploopt. De noodoverstort dient (normaal gesproken) ervoor te zorgen dat het water in de buffer niet hoger dan NAP +172,5 m komt.

Eventuele beperkingen of randvoorwaarden als gevolg van milieukundige aspecten zijn buiten beschouwing gelaten.

Indien wordt afgeweken van voornoemde uitgangspunten dan dient ons bureau te worden gecontacteerd daar dan het advies mogelijk moet worden aangepast.

3 Grondonderzoek

3.1 Algemeen

Ten behoeve van het grondonderzoek zijn in oktober 2018 in totaal drie diepsonderingen met de minirups en vier lichte slagsonderingen met een slagsondeerstelling uitgevoerd. De kade was niet toegankelijk voor een reguliere (20-tons) sondeereenheid. Om de bodemopbouw zo goed mogelijk vanaf de kruin van de bestaande kade te onderzoeken is daarom kleine, lichte apparatuur ingezet. Een enkele sondering (lichte slagsondering LS07) is komen te vervallen als gevolg van het ontoegankelijke, moerassige terrein op de geplande sondeerlocatie. Het merendeel van de sonderingen is vroegtijdig gestrand als gevolg van het bereiken van de maximale totaaldruk of het bereiken van het maximaal aantal slagen per 20 cm. Dit heeft echter geen invloed op de berekeningen/het advies. Ter verkenning van de toplagen zijn er tevens vier handboringen uitgevoerd.

Hieronder is het uitgevoerde onderzoek verder beschreven.

3.2 Diepsonderingen

De sonderingen zijn genummerd GA180712 SW01, SW02 en SW04. De diepsonderingen zijn gemaakt met een elektrische conus waarbij de conusweerstand continu wordt gemeten, elektrisch geregistreerd en digitaal vastgelegd. De sonderingen zijn uitgevoerd conform NEN-EN-ISO 22476-1.

Bij de sonderingen is tevens de lokale wrijving gemeten. De continue registratie van de ondervonden bodemweerstand verzekert een gedetailleerd beeld van de bodemopbouw. Dit niet alleen voor wat betreft de sterkte van de bodem maar tevens met betrekking tot de aard van de aanwezige ongeroerde grondlagen.

De verhouding tussen de wrijvingsweerstand van de kleefmantel en de weerstand aan de conuspunt, het zogenaamde wrijvingsgetal, heeft voor iedere grondsoort een andere waarde. Voor een gladde elektrische conus gelden bij veel voorkomende gronden ongeveer de navolgende relaties:

Tabel 3.2: interpretatie van het wrijvingsgetal

Wrijvingsgetal in %	Grondsoort
0.3 – 1.5	Zand, grof tot fijn
1.5 – 2.5	Silt (leem)
2.5 – 5.0	Klei
> 5.0	Veen

Tussen de verschillende grondsoorten komen overgangsvormen voor waardoor de aangegeven grenzen niet als hard zijn te beschouwen.

In de elektrische conus bevindt zich een hellingmeter. Hierdoor is controle mogelijk op een eventueel afwijken van de verticaal. Bijzondere afwijkingen zijn niet vastgesteld.

3.3 Slagsonderingen

Aangezien niet alle sondeerlocaties toegankelijk waren voor de minirups, zijn vier lichte slagsonderingen uitgevoerd om de ondergrond nader te verkennen. De slagsonderingen zijn genummerd GA180712 LS03, LS05, LS06 en LS08.

De slagsonderingen zijn uitgevoerd conform NEN-EN-ISO 22476-2. Bij de lichte slagsondering wordt een conus met een oppervlak van 10 cm² de grond in gedreven door middel van een valgewicht van 10 kg. Het benodigde aantal slagen per 0,2 m penetratie wordt genoteerd. Deze aantallen worden tegen de diepte in een sondeergrafiek uitgezet en vormen een sterktebeeld van de bodem.

Op deze wijze wordt een indruk verkregen van de draagkracht van de lagen in de ondergrond. De slagenaantallen kunnen worden vertaald naar conusweerstand. De relatie tussen slagenaantallen per 20 cm en conusweerstand is sterk afhankelijk van het aanwezige bodemmateriaal.

Door R.W.T.H. te Aken is dit verband middels proeven voor zand- en zand/grindlagen bepaald. Voor ander bodemmateriaal zijn de relaties vastgesteld op basis van ervaringen, opgedaan met de slagsondeermethode in combinatie met continue druksonderingen en de NEN-EN-ISO 22476-2, 2005.

3.4 Boringen

Om de toplagen nader te verkennen zijn op de locatie tevens een viertal handboringen (genummerd GA180712 B01 t/m B03 en B05) tot ca. 1,9 à 3,6 m- maaiveld uitgevoerd. Boringen B03 en B05 zijn gestaakt op een diepte van ca. 3,6 m- en ca. 1,9 m- maaiveld, respectievelijk, als gevolg van het leegslibben van de boor. Tijdens de boorwerkzaamheden is het bodemmateriaal lithologisch onderzocht. Bij het lithologisch onderzoek worden de grondsoorten geclassificeerd volgens NEN 5104. De boorstaten zijn opgenomen in de bijlagen.

3.5 Inmeting

De ligging van de onderzoekspunten is op situatietekening GA180712.T01 weergegeven. De resultaten van het grondonderzoek zijn in de bijlagen toegevoegd. De sondeergrafieken zijn getekend ten opzichte van NAP. Ter referentie zijn tevens de niveaus van putten A (= NAP +171,40 m), B (= NAP +172,57 m), C (= NAP +172,96 m) en D (= NAP +173,02 m) op/nabij de Weijerweg ingemeten.

De onderzoekspunten zijn met behulp van 06-GPS ingemeten t.o.v. het Rijksdriehoekstelsel en NAP (nauwkeurigheid ca. 0,10 m). Alle gegevens van de inmetingen zijn een momentopname en zijn alleen te gebruiken voor voorliggend onderzoek.

4 Grondslag

4.1 Terreingesteldheid

Het terrein was toegankelijk nadat de opdrachtgever maaierwerkzaamheden had uitgevoerd, waarbij de aanwezige begroeiing langs de Weijerweg tot aan de sondeerlocaties werd verwijderd. De combinatie van begroeiing, beekloopjes en drassig terrein maakte een veilige toegang met sondeerapparatuur aanvankelijk onmogelijk. Ter plaatse van de sondeerpunten lag het maaiveld op een niveau van ca. NAP +173,4 m tot NAP +172,7 m. Het terrein c.q. door ons gemeten deel van de kruin van de kade kent hiermee een hoogteverschil van ca. 0,7 m.

4.2 Bodemopbouw

De bodemopbouw kan op basis van de sonderingen en boringen door middel van het volgende lagensysteem worden beschreven:

Toplaag

Vanaf maaiveld wordt tot een niveau van ca. NAP +171,8 à +171,0 m een los tot matig vast, zandig leempakket aangetroffen. Plaatselijk worden wekere laagjes van humeus/kleilig materiaal aangetroffen. Tevens worden in dit pakket roestsporen aangetroffen, welke een indicatie geven van de fluctuatie van de grondwaterstand. De conusweerstand in dit pakket varieert tussen ca. 1,0 à 6,0 MPa. Bij de lichte slagsonderingen varieert het aantal slagen per 20 cm tussen 6 in de wekere lagen tot meer dan 50 slagen in de zandige, vastere lagen.

Tussenlaag

Direct onder bovengenoemd pakket wordt tot een niveau van ca. NAP +169,0 à +168,8 m een slapper, (en zettingsgevoelig) lemig kleipakket aangetroffen. De conusweerstand in dit pakket varieert tussen ca. 0,1 à 2,0 MPa. In de lichte slagsonderingen zien we deze laag terug met een slagenaantal per 20 cm van ca. 8 tot 34.

Onderlaag

Vanaf bovengenoemde dieptes wordt tot de maximaal verkende diepte van ca. NAP +166,1 m een matig vast tot vast zandpakket aangetroffen, met plaatselijk insluitingen van kleilig materiaal. De conusweerstand in de zandige lagen variëren tussen ca. 4,0 MPa tot meer dan 20,0 MPa en lopen terug tot ca. 2,0 MPa in de tussenlagen van kleilig materiaal. Het aantal slagen van de lichte slagsonderingen varieert in dit pakket tussen 30 tot meer dan 200 slagen per 20 cm.

4.3 Grondwater

Tijdens het grondonderzoek is in de sondeergaten naar de actuele grondwaterstand gepeild. Deze werd aangetroffen op verschillende dieptes van ca. 0,9 à 2,7 m- maaiveld. Dit komt overeen met ca. NAP +172,5 à +170,7 m, respectievelijk. Het betreft hierbij slechts een eenmalige meting, waardoor deze waarneming slechts als indicatie kan gelden. Daarnaast kan als gevolg van spanningswater, lagenopbouw en lokale omstandigheden een afwijkende waarde worden aangetroffen.

Wij wijzen erop dat de grondwaterstand van seizoen tot seizoen kan verschillen en in nattere jaargetijden mogelijk hoger wordt aangetroffen dan thans het geval is. Exacte grondwaterstanden kunnen alleen middels peilbuismetingen worden verkregen.

5 Stabiliteitsanalyse

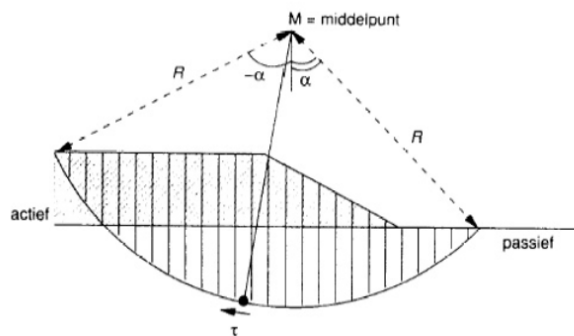
5.1 Algemeen

Voor het opstellen van de geotechnische berekeningen t.b.v. de stabiliteitsanalyse wordt de volgende software van Deltares gebruikt:

- D-Geo Stability versie 18.1

Hierbij dient te worden opgemerkt dat de macrostabiliteit wordt getoetst. Oppervlakkige afschuivingen/uitspoeling in het talud zijn hierbij nog steeds mogelijk.

Voor de stabiliteitsberekeningen wordt in het programma een 2-dimensionaal model gemaakt waarin de geometrie en de bodemopbouw is verwerkt. Met het programma worden glijvlakberekeningen uitgevoerd conform de methode van Bishop. De methode van Bishop gaat uit van cirkelvormige glijvlakken. De potentiële afschuivende grondmassa wordt in verticale lamellen gedeeld, waarna uit het momentenevenwicht per potentieel schuifvlak de veiligheid tegen afschuiven wordt berekend (zie onderstaande figuur).



Het programma D-Geo Stability maakt gebruik van een rekenmodel die alleen betrekking heeft op de sterkte (bezwijken) en waarbij er geen vervormingen (zettingen) worden bepaald. Om vervormingen te kunnen bepalen dient er gerekend te worden met Eindige elementen programmatuur. Hier is uitgebreid labonderzoek voor benodigd om de betreffende invoerparameters te bepalen. Voor dit geval is het bepalen van vervormingen minder van belang, omdat volgens het plan de ophogingen en/of aanvullingen beperkt/relatief klein blijven.

De relevante parameters zijn geometrie, grondwaterdrukken, tijdelijke en permanente (statische en dynamische) bovenbelastingen, volumieke gewichten (γ_{droog} en γ_{nat}), hoek van inwendige wrijving (φ') en cohesie (c').

Bij de bezwijkmodellen selecteert de toetser(/ontwerper) een aantal potentiële afschuifvlakken en berekent hiervoor de veiligheidsfactor. Hierbij is de veiligheidsfactor **SF** tegen afschuiven gedefinieerd als het quotiënt van het weerstandsbiedende en het aandrijvende moment/kracht. Het potentiële schuifvlak met de kleinste veiligheidsfactor is maatgevend.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Geometrie

Voor de stabiliteitsanalyse is het volgende dwarsprofiel, gezien de steilheid van het talud als maatgevend gehanteerd:

- Dwarsprofiel Dp6, zie bijlage 4;

Er dient te worden opgemerkt dat de door de opdrachtgever aangeleverde dwarsprofielen niet overal loodrecht op de kade staan. Dit betekent dat de helling van het talud plaatselijk wordt onderschat en deze in werkelijkheid nog wat steiler zal zijn.

Onderstaande nog enkele door ons aangenomen uitgangspunten m.b.t. de geometrie:

- Voor iedere berekening zijn we uitgegaan van een binnen- en buitentalud met een helling van 1:4;
- De ontwerpbreedte van de kruin is bij ons niet bekend en derhalve doorgerekend op basis van de aangeleverde doorsneden. Met inachtneming van de huidige taludhellingen wordt bij Dp6 door het ophogen naar NAP +173,0 m een kruinbreedte van (slechts) 0,1 m verkregen. Tevens zijn er situaties doorgerekend met een bredere kruin om de stabiliteit van de kade te optimaliseren.

5.2.2 Gehanteerde bodemopbouw

In hoofdstuk 4 is reeds de lokale bodemopbouw beschreven aan de hand van het uitgevoerde geotechnisch onderzoek. Voor het dwarsprofiel is op basis hiervan een geschematiseerde bodemopbouw gemaakt, welke is gehanteerd bij de berekeningen en is weergegeven in onderstaande Tabel 5.2.2.

Tabel 5.2.2: Gehanteerde bodemopbouw voor de stabiliteitsberekeningen

Bovenkant laag [m t.o.v. NAP]	Onderkant laag [m t.o.v. NAP]	Grondsoort
+173,0	+171,0	Leem, zandig, matig vast
+171,0	+168,7	Klei, zwak zandig
+168,7	+166,0	Zand, siltig

5.2.3 Grondparameters

Uit de uitgevoerde sonderingen en boringen op de locatie zijn de in de bodemopbouw aanwezige grondsoorten bepaald. Vervolgens zijn voor de aangetroffen materialen op basis van de NEN 9997-1 tabel 2.b en ervaring met de grondslag de onderstaande sterkteparameters aangenomen. Deze gelden voor ongestoorde grond. Opgemerkt wordt dat werkelijke waarden enkel door middel van laboratoriumonderzoek kunnen worden vastgesteld.

Bij de uitvoering van de berekeningen is er gerekend met rekenwaarden voor de grondparameters. Om de veiligheidsfilosofie conform de Norm in acht te nemen moet de berekening met rekenwaarde worden uitgevoerd. Als men uitgaat van rekenwaarden voor de grondparameters zal bij een waarde $SF > 1,0$ het talud rekentechnisch stabiel zijn. Er zijn dan geen aanvullende maatregelen noodzakelijk.

Bij de stabiliteitsberekeningen met rekenwaarde worden, conform NEN 9997, onderstaande partiële factoren gehanteerd:

- γ_φ tangent van de hoek van inwendige wrijving = 1,2
- γ_c cohesie = 1,5

Zowel de representatieve- als de rekenwaardes voor de grondparameters zijn gegeven in onderstaande Tabel 5.2.3.

Tabel 5.2.3: Sterkte parameters op basis van de NEN 9997-1 tabel 2.b

Materiaal	γ_{droog} [kN/m ³]	γ_{nat} [kN/m ³]	φ_{rep} [°]	c_{rep} [kPa]	Rekenwaarden	
					φ_{rek} [°]	c_{rek} [kPa]
Leem, zandig	20,0	20,0	27,5	1,0	23,5	0,67
Klei, zwak zandig	15,0	15,0	22,5	1,0	19,0	0,67
Zand, siltig	18,0	20,0	30,0	0,0	25,7	0,00

Hierin geldt:

γ_{droog} karakteristieke waarde van het volumegewicht van de grond bij natuurlijk watergehalte;

γ_{nat} karakteristieke waarde van het volumegewicht van verzadigde grond;

φ_{rep} representatieve waarde effectieve hoek van inwendige wrijving;

c_{rep} representatieve waarde effectieve cohesie;

φ_{rek} rekenwaarde effectieve hoek van inwendige wrijving;

c_{rek} rekenwaarde effectieve cohesie.

5.2.4 Waterpeil en grondwaterstanden

Conform opgave is het waterpeil in de buffer Weijerweg 0,5 m boven bodem waterbuffer. Dit komt overeen met NAP +172,5 m. Om rekening te houden met een hoger waterpeil bij zware regenval (calamiteit) is er tevens een stabiliteitssituatie doorgerekend waarbij een waterpeil in de buffer van NAP +173,0 m kan optreden. Wij raden echter aan om het waterpeil met behulp van een noodoverstort niet hoger te laten komen dan NAP +172,5 m, tevens om overslag van water naar de binnendijkzijde te voorkomen. Door een overstroompunt in de noordwest hoek van de buffer, wordt voorkomen dat bij een piek bui de maximale waterstand van NAP +172,5 m in de buffer overschreden wordt.

Voor de stabiliteitsberekeningen dient zowel de freatische grondwaterstand als de stijghoogte (artesisch grondwater) in het zandpakket onder de kleilaag bekend te zijn. Voor de freatische grondwaterstand is een maatgevende grondwaterstand vlak onder maaiveld gebruikt. Gezien de fluctuerende grondwaterstand op de projectlocatie, waarbij het grondwater op een niveau van ca. NAP +172,5 à +170,7 m werd aangetroffen en de aanwezigheid van roestsporen in de toplaag, zal de grondwaterstand dicht onder maaiveld kunnen staan. Dit is een waarschijnlijk situatie in het maatgevende geval van een gevulde buffer.

Het verloop van het freatisch vlak door de kade is door ons bepaald met behulp van het Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken (opgesteld door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; TAW). Omdat de (exakte) doorlatendheid van het materiaal in de kade niet bekend is, zijn wij, in verband met de zandige toplaag, bij een waterstand tot de kruin uitgegaan van een volledig verzadigde kade. Met aanvullend onderzoek kan de doorlatendheid van de toplaag worden bepaald, waarmee het ontwerp van de kade kan worden geoptimaliseerd.

De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket is op basis van TNO-DINOloket peilbuizen in de omgeving ingeschat.

Er wordt in de berekeningen voor dwarsprofiel Dp6 uitgegaan van de volgende grondwaterstanden:

- Freatisch verlopend van NAP +172,5 m (in de buffer) naar NAP +170,7 m;
- Artesisch NAP +172,0 m.

Er wordt opgemerkt dat de grondwaterstanden in de praktijk lokaal af kunnen wijken van het aangehouden niveau. Daarnaast is voor de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket slechts zeer beperkte data beschikbaar in TNO Dinoloket. Gedetailleerde gegevens over de grondwaterstanden kunnen enkel worden verkregen met behulp van het plaatsen van peilbuizen op de locatie.

5.3 Resultaten stabiliteitsberekeningen

Voor de beschouwing van de macrostabiliteit zijn er zes verschillende situaties beschouwd, waarbij de variabelen zijn: kruinbreedte, maaiveldniveau binnendijk (Weijerweg), waterpeil in buffer en een (kleine) bovenbelasting. In de berekeningen zijn de constanten: kruinhoogte van NAP +173,0 m, een diepte van de waterbuffer van NAP +172,0 m en een taludhelling van 1 : 4.

De input voor de berekeningen en de daaruit gekomen stabiliteitsfactoren zijn weergegeven in onderstaande tabel 5.3.

Tabel 5.3: Berekende macrostabiliteit voor zes verschillende situaties

Situatie	Breedte kruin [m]	Taludhelling (diepte / lengte)	Maaiveldniveau binnendijk (zijde Weijerweg) [m t.o.v. NAP]	Waterpeil in buffer [m t.o.v. NAP]	Bovenbelasting [kN/m ²]	Stabiliteitsfactor	Voldoet
1	0,1	1 : 4	+170,9	+172,5	0,0	0,77	Nee
2	0,1	1 : 4	+170,9	+173,0	0,0	0,67	Nee
3	0,1	1 : 4	+171,4	+172,5	0,0	1,27	Ja
4	0,1	1 : 4	+171,4	+173,0	0,0	1,06	Ja
5	2,5	1 : 4	+171,4	+172,5	5,0	1,24	Ja
6	2,5	1 : 4	+171,4	+173,0	5,0	1,12	Ja

Ten behoeve van de stabiliteitsanalyse zijn in eerste instantie berekeningen uitgevoerd zonder aanvullende maatregelen/ontwerpveranderingen aan de huidige kade toe te passen (situatie 1 en 2). De kruinbreedte van (slechts) 0,1 m wordt verkregen door het ophogen van de bestaande kade tot NAP +173,0 m bij dwarsprofiel 6 met inachtneming van de huidige taludhelling. Hieruit is gebleken dat de stabiliteit van de taluds in dat geval niet voldoet ($SF < 1,00$).

Hierna zijn varianten doorgerekend waarbij als aanvullende maatregel het maaiveldniveau aan de binnendijkzijde is opgehoogd met gebiedseigen zandige leem naar NAP +171,4 m (situatie 3 en 4). Deze varianten zijn beiden stabiel gebleken.

Om de stabiliteit van de kade verder te optimaliseren zodat er ook nog lichte onderhoudsvoertuigen (5,0 kN/m²) over de kruin kunnen rijden, zijn er nog twee varianten doorgerekend waarbij de kruinbreedte is aangepast naar 2,5 m (situatie 4 en 5).

De resultaten van deze berekeningen zijn in de bovenstaande tabel weergegeven. Uit deze berekening blijkt dat de stabiliteit van het talud voor situaties 3 t/m 6 voldoen ($SF \geq 1,00$).

In de bijlage staan de resultaten en plots van de D-Geo Stability berekeningen weergegeven. Voor de taluds die niet aan de stabiliteitsfactor $> 1,0$ voldoen, wordt tevens een *safety overview* van de kade gegeven, welke weergeeft welke delen van de kade een veiligheidsfactor van meer of minder dan 1,0 hebben.

6 Conclusie en aanbevelingen

6.1 Bevindingen

Uit de berekeningen blijkt dat de stabiliteit van de taluds 1 : 4 bij het maatgevende profiel zonder aanvullende maatregelen niet voldoet (situatie 1 en 2). Als maatregel adviseren wij daarom een minimaal maaiveldniveau aan de binnendijk aan te houden van NAP +171,4 m. Lager gelegen gebieden dienen hiervoor met gebiedseigen zandige leem ($\gamma_w = 20,0 \text{ kN/m}^3$) te worden opgevuld. Wij raden aan om het maaiveld in ieder geval over een breedte van 5,0 m naast de kade op te hogen naar NAP +171,4 m. Hierbij werkt het opgehoogde maaiveld als steunberm voor de kade. Het grondwerk zal echter beperkt blijven, aangezien een groot deel van het terrein rondom de kade reeds een maaiveldniveau van NAP +171,4 m of hoger heeft.

Als aanvullende maatregel adviseren wij om als minimale kruinbreedte 2,5 m aan te houden. Op deze manier wordt de stabiliteit van de kade beter geborgd. Er zou dan tevens ruimte zijn voor licht onderhoudsmaterieel over de kruin; voor die situatie is rekening gehouden met een belasting van $5,0 \text{ kN/m}^2$ over de breedte van de kruin.

Indien de aanvullende maatregelen zoals bovenstaand beschreven worden toegepast rondom de gehele kade, dan voldoet de stabiliteit van de taluds ($SF \geq 1,00$).

6.2 Risico's

Ten behoeve van voorliggende stabiliteitsanalyse zijn de verschillende bodemlagen op basis van de sonderingen zo goed mogelijk geclassificeerd. Vervolgens zijn met behulp van tabel 2.b uit de NEN9997-1 voor de verschillende lagen de sterkteparameters afgeleid. Er is geen laboratorium onderzoek uitgevoerd om de werkelijke sterkteparameters van de lagen vast te stellen. Er moet derhalve rekening worden gehouden met enige onzekerheid in het werkelijke grondgedrag. Binnen de geotechniek is de stelregel dat zelfs wanneer grondparameters zijn bepaald met behulp van laboratoriumonderzoek rekening moet worden gehouden met een onzekerheid van ca. 30% in de resultaten als gevolg van heterogeniteit in de bodem en afwijkend bodemgedrag.

De door de opdrachtgever aangeleverde dwarsprofielen zijn niet overal loodrecht op de taludhellingen genomen, waardoor de steilte van het talud kan worden onderschat. Bij het verdere ontwerp en in de uitvoering moet rekening worden gehouden dat de stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd met een taludhelling voor de binnen- en buitendijk van 1:4.

Ten behoeve van voorliggende rapportage is piping beschouwd, een proces waarbij zandlagen met kwel door drukverschil onder de kade door richting de binnendijkse zijde stroomt. Parameters die een rol spelen bij het ontstaan van piping zijn de hydraulische randvoorwaarden, de aanwezige kwelweglengte en de configuratie en materiaalsamenstelling van potentieel erosiegevoelige zandlagen. Gezien de weke, zwak cohesieve toplagen zal dit proces voor de te realiseren waterbuffer geen rol gaan spelen.

Wij benadrukken dat in voorliggend rapport enkel de stabiliteit van de buitentaluds in de eindsituatie is beschouwd. De stabiliteit van de binnentaluds is in voorliggend rapport niet beschouwd.

In de uitgevoerde stabiliteitsberekeningen wordt enkel de macrostabiliteit van de taluds (in relatie tot de ondergrond) gecontroleerd. Oppervlakkige erosies/uitspoelingen in het talud zijn hierbij nog steeds mogelijk. Om het risico hierop te beperken kan een kleibekleding worden toegepast. Een andere optie is het toepassen van grasmatten of het inzaaien van de taluds.

6.3 Uitvoeringstechnische eisen

Bij de parameters die wij hebben gehanteerd voor de opvullingen met gebiedseigen zandige leem (zie Tabel 5.2.3) wordt uitgegaan van een bepaalde homogeniteit en verdichting van het materiaal. Dit brengt derhalve uitvoeringstechnische eisen met zich mee:

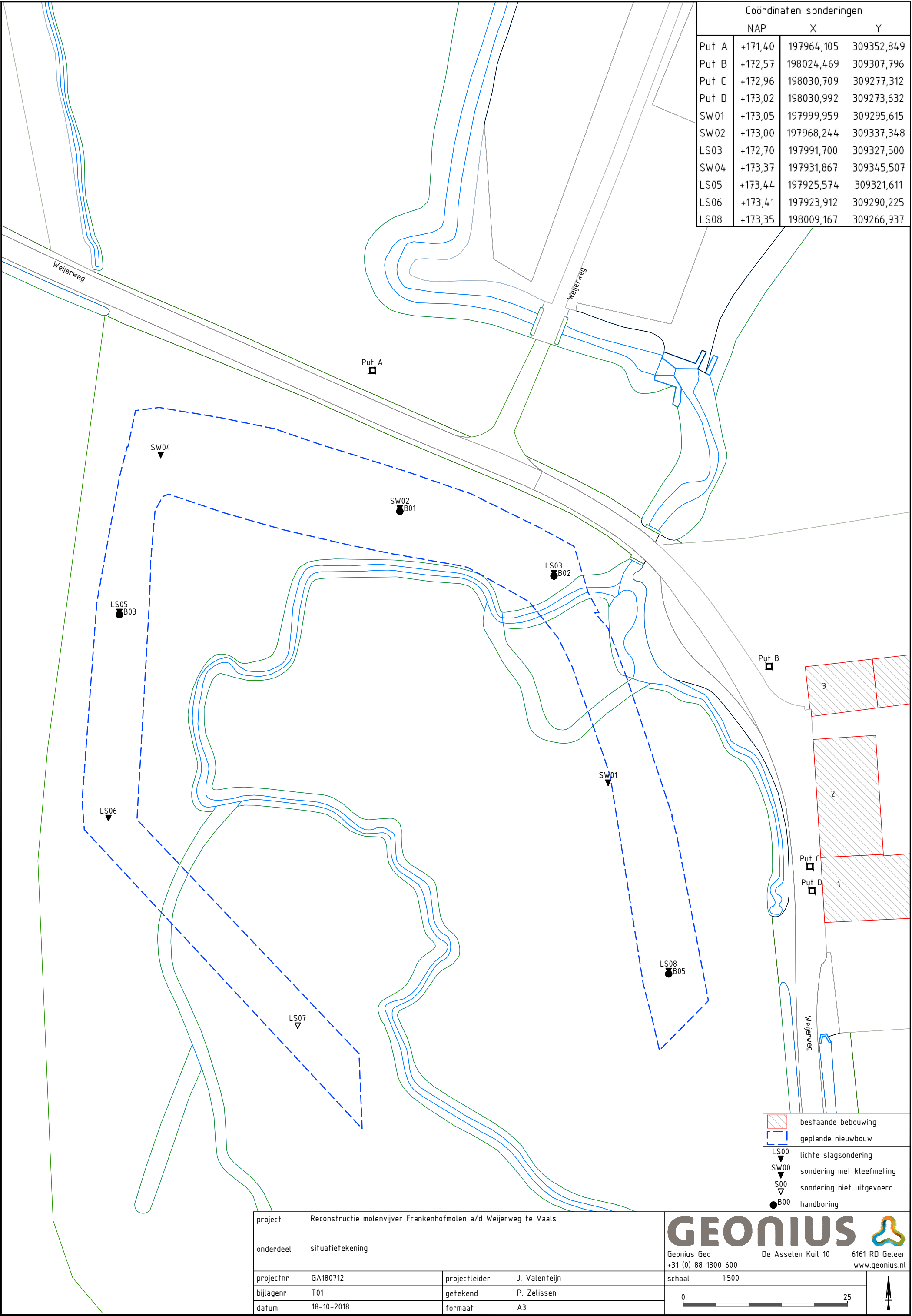
- De nog uit te voeren aanvullingen dienen te worden uitgevoerd met gebiedseigen zandige leem ($\gamma_w = 20,0 \text{ kN/m}^3$). Wij zijn er hierbij vanuit gegaan dat de reeds bestaande kades van het terrein bestaan uit hetzelfde materiaal;
- Het materiaal dient goed verdicht te worden aangebracht;
- Het materiaal dient in den droge te worden aangebracht;
- Het materiaal dient laagsgewijs te worden aangebracht, waarbij elke laag afzonderlijk wordt verdicht.

Door ophoging van de kade zal er mogelijk nog enige zetting optreden. Hiermee dient rekening te worden gehouden met een extra overhoogte om het ontwerp van de kruinhoogte te handhaven.

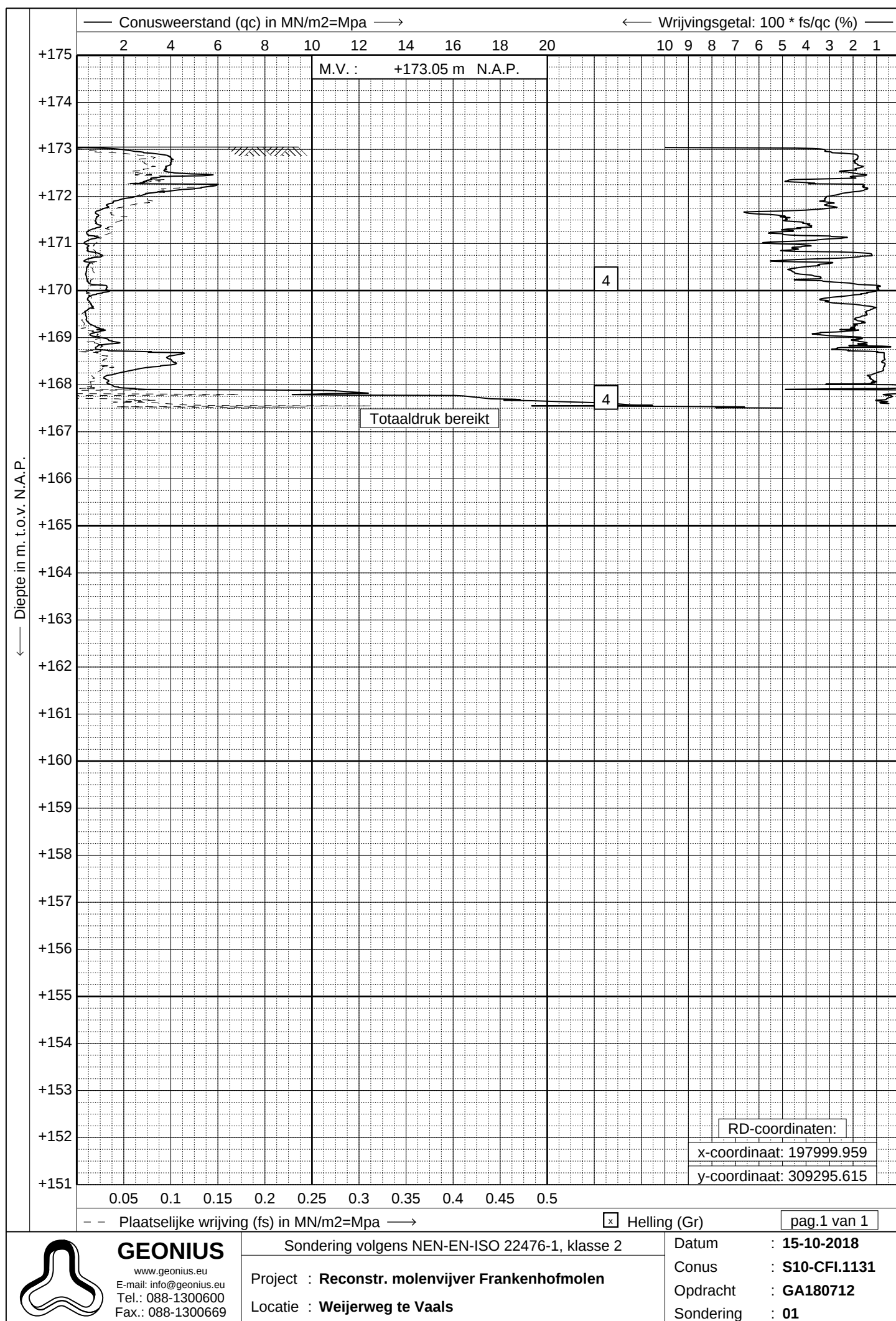
Bijlagen

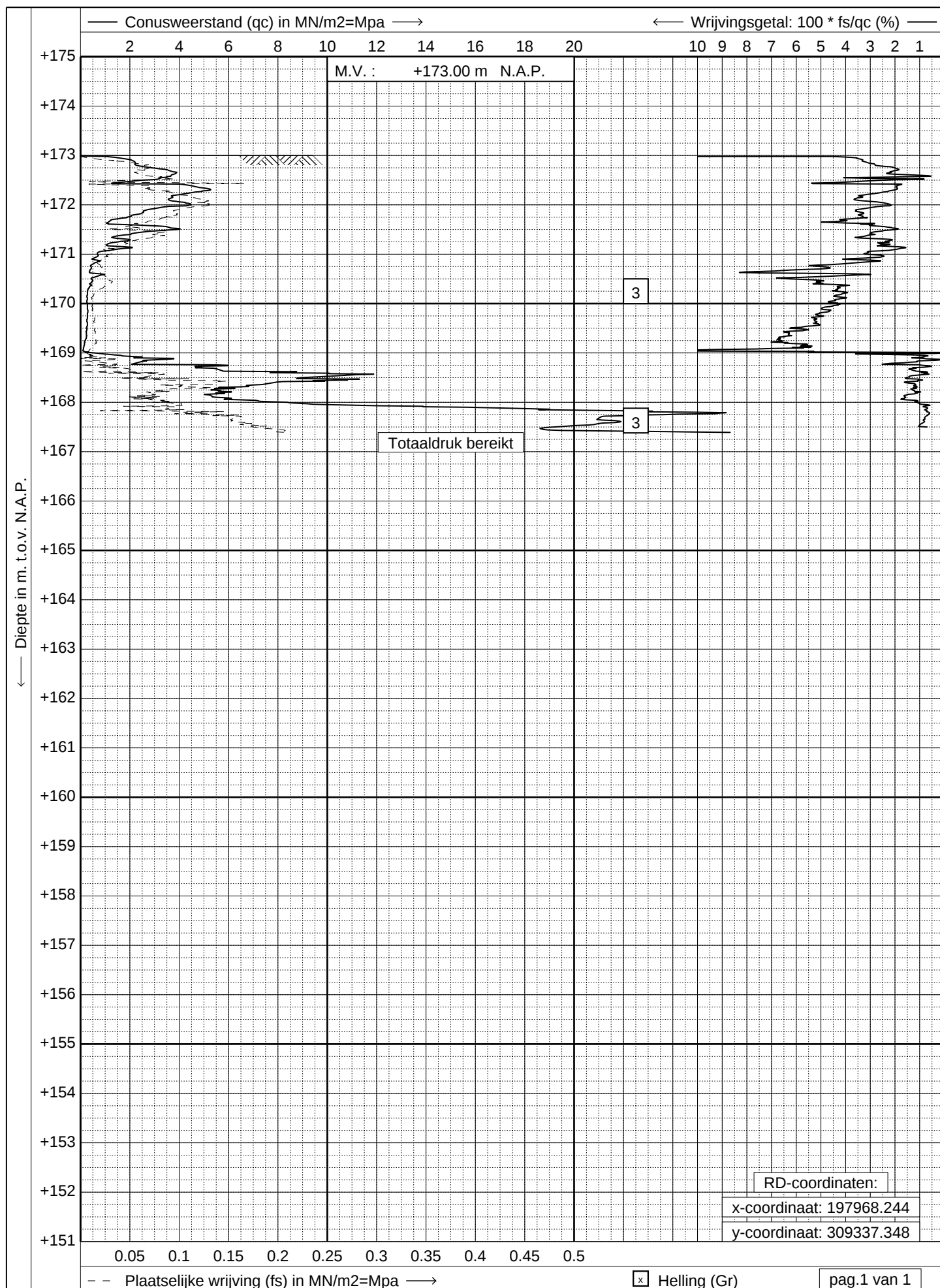
Bijlagen

Bijlage 1 Situatietekening



Bijlage 2 Sondeergrafieken





GEONIUS

www.geonius.eu
E-mail: info@geonius.eu
Tel.: 088-1300600
Fax.: 088-1300669

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2

Project : **Reconstr. molenvijver Frankenhofmolen**

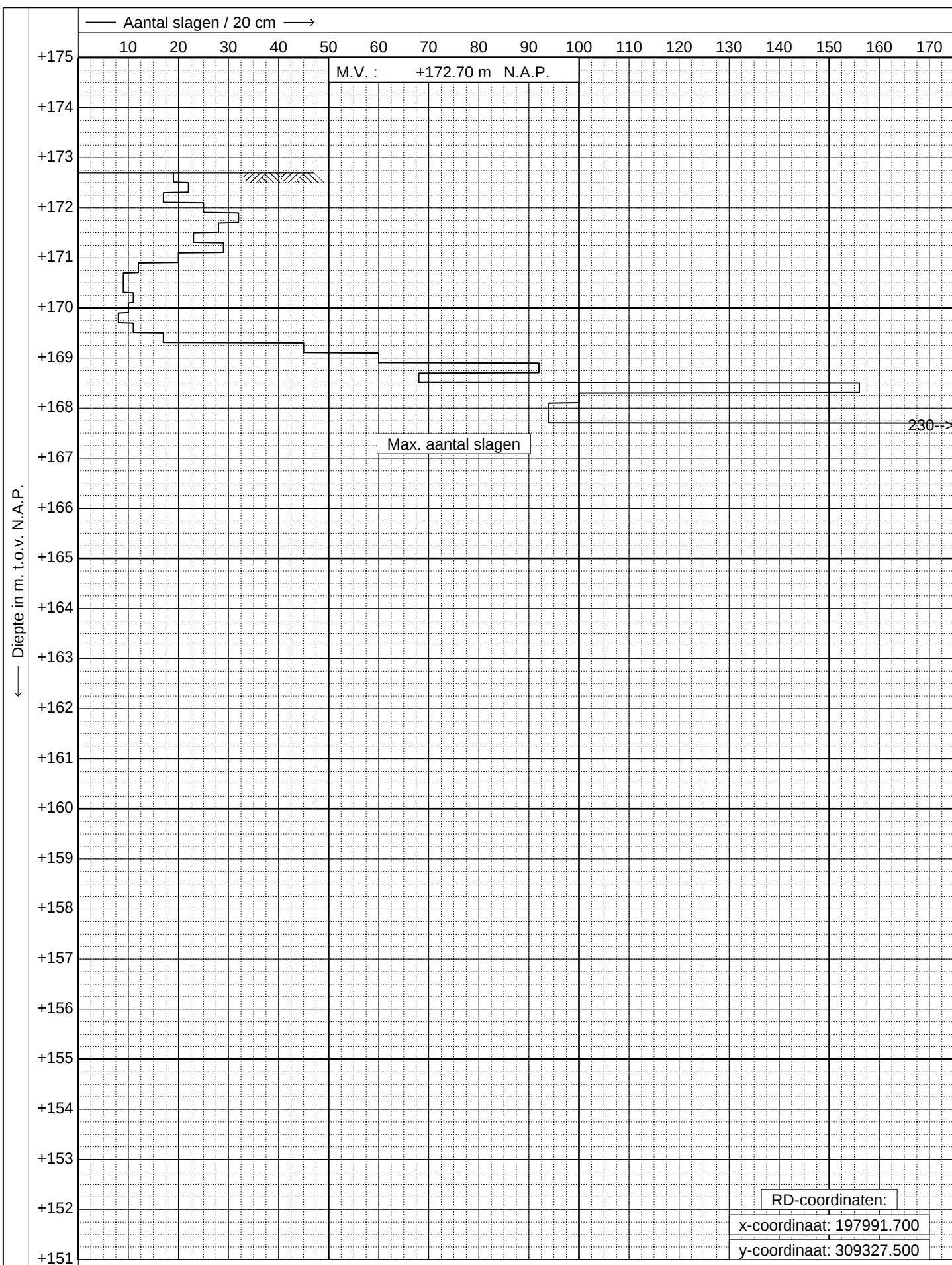
Locatie : **Weijerweg te Vaals**

Datum : **15-10-2018**

Conus : **S10-CFI.1131**

Opdracht : **GA180712**

Sondering : **02**



GEONIUS

www.geonius.eu
E-mail: info@geonius.eu
Tel.: 088-1300600
Fax.: 088-1300669

Lichte slagsondering (10 kg) conform NEN-EN-ISO 22476-2

Project : **Reconstr. molenvijver Frankenhofmolen**

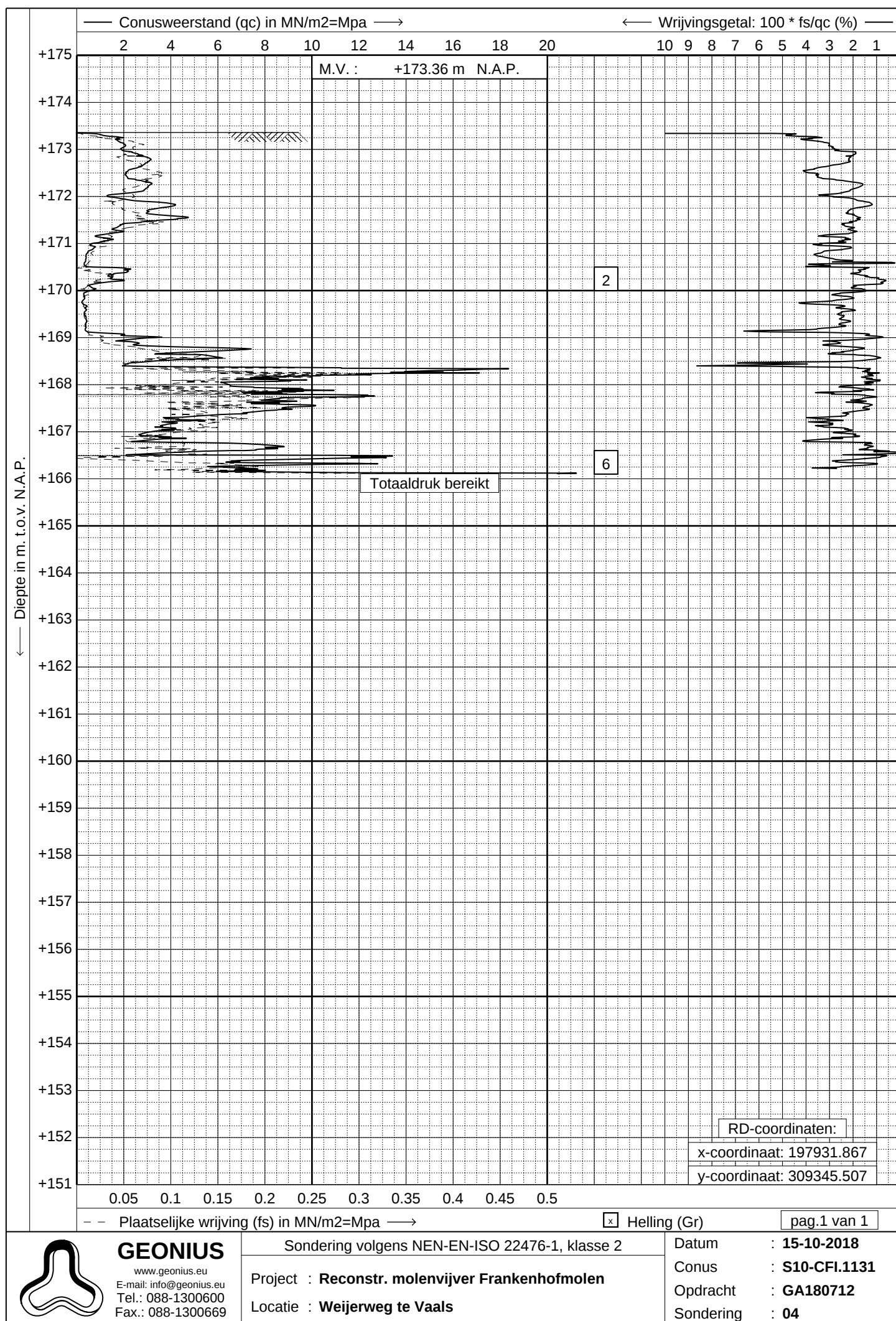
Locatie : **Weijerweg te Vaals**

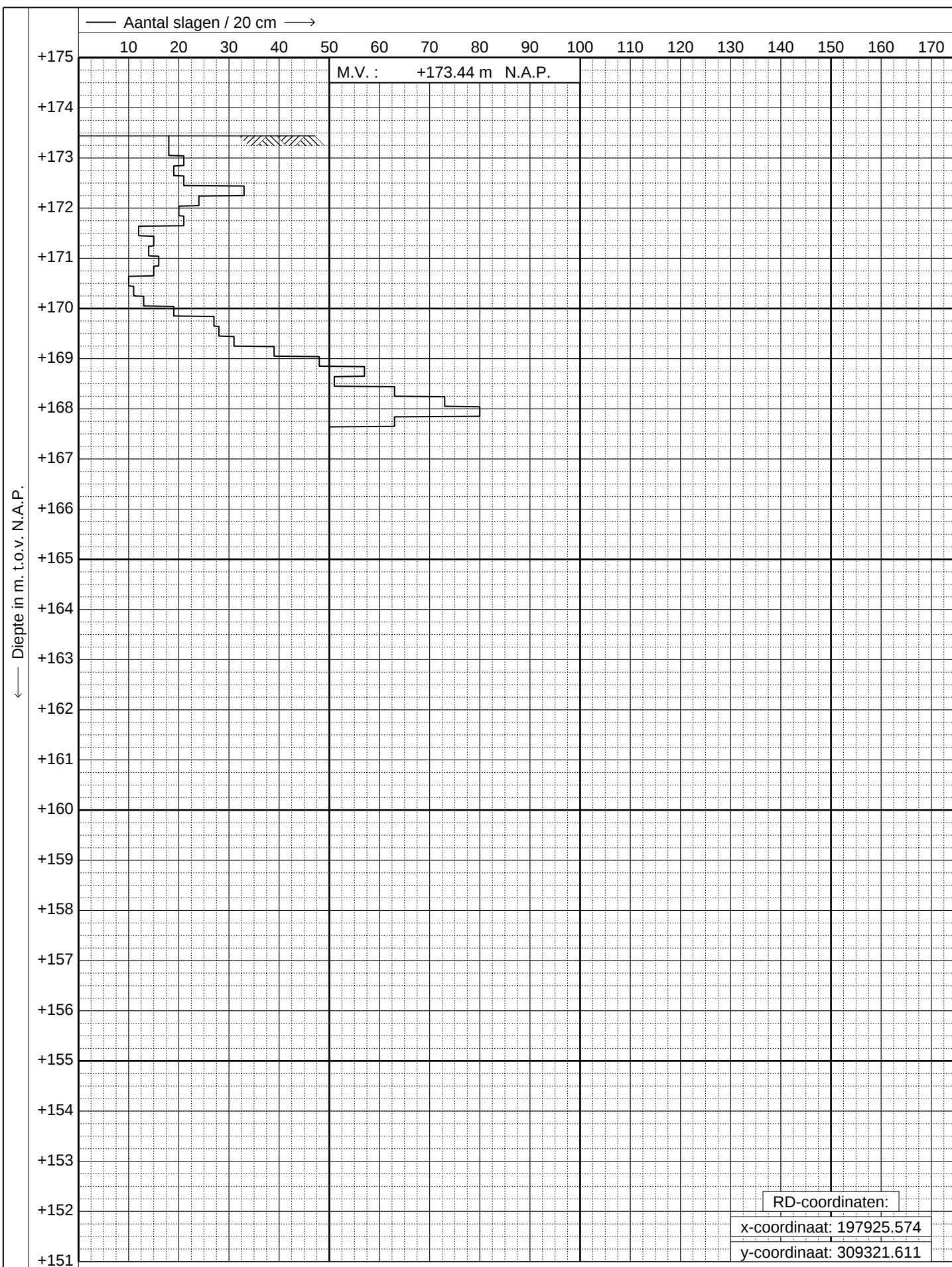
Datum : **09-10-2018**

Conus : **L**

Opdracht : **GA180712**

Sondering : **03**





GEONIUS

www.geonius.eu
E-mail: info@geonius.eu
Tel.: 088-1300600
Fax.: 088-1300669

Lichte slagsondering (10 kg) conform NEN-EN-ISO 22476-2

Project : **Reconstr. molenvijver Frankenhofmolen**

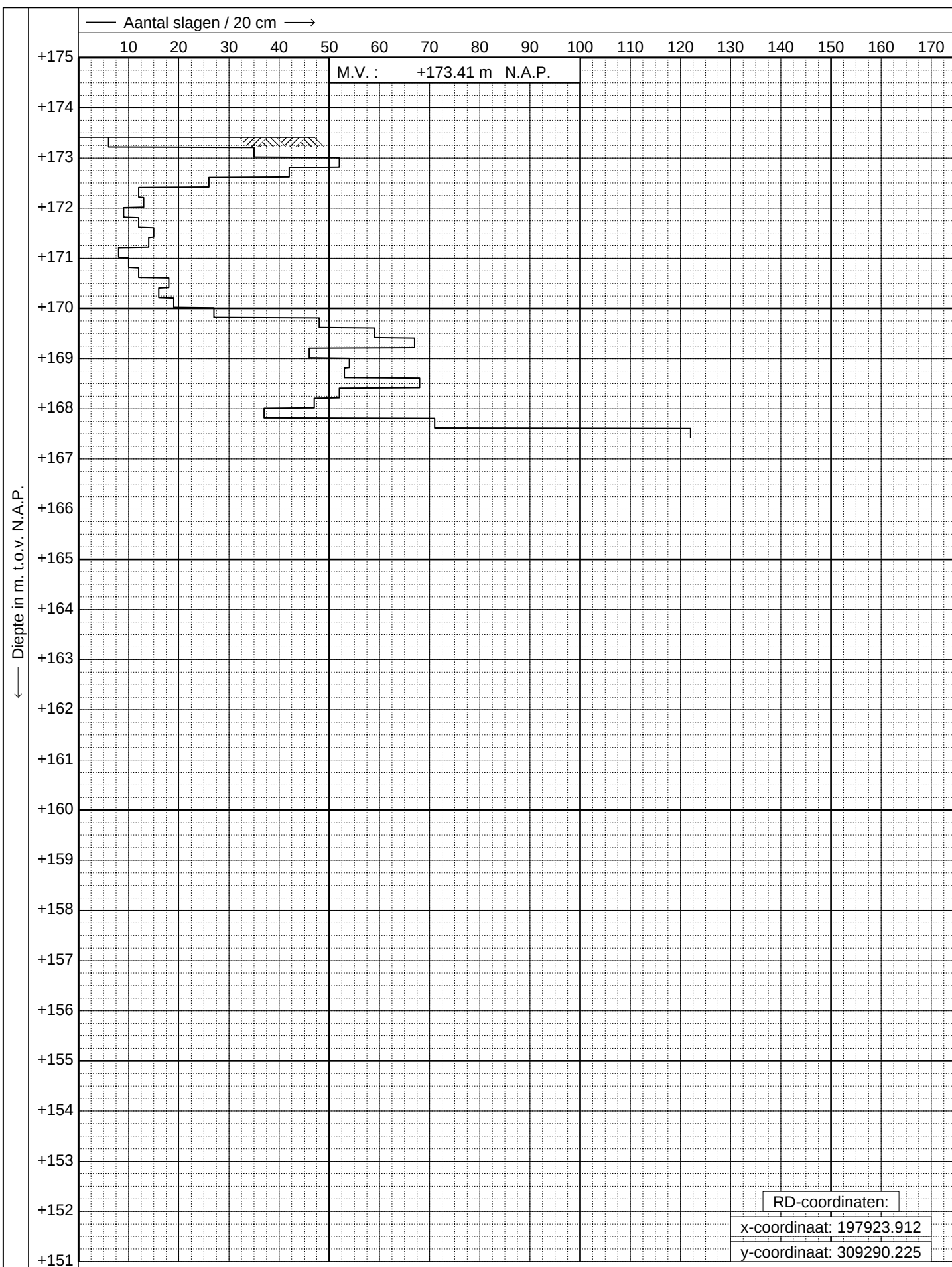
Locatie : **Weijerweg te Vaals**

Datum : **09-10-2018**

Conus : **L**

Opdracht : **GA180712**

Sondering : **05**



GEONIUS

www.geonius.eu
E-mail: info@geonius.eu
Tel.: 088-1300600
Fax.: 088-1300669

Lichte slagsondering (10 kg) conform NEN-EN-ISO 22476-2

Project : **Reconstr. molenvijver Frankenhofmolen**

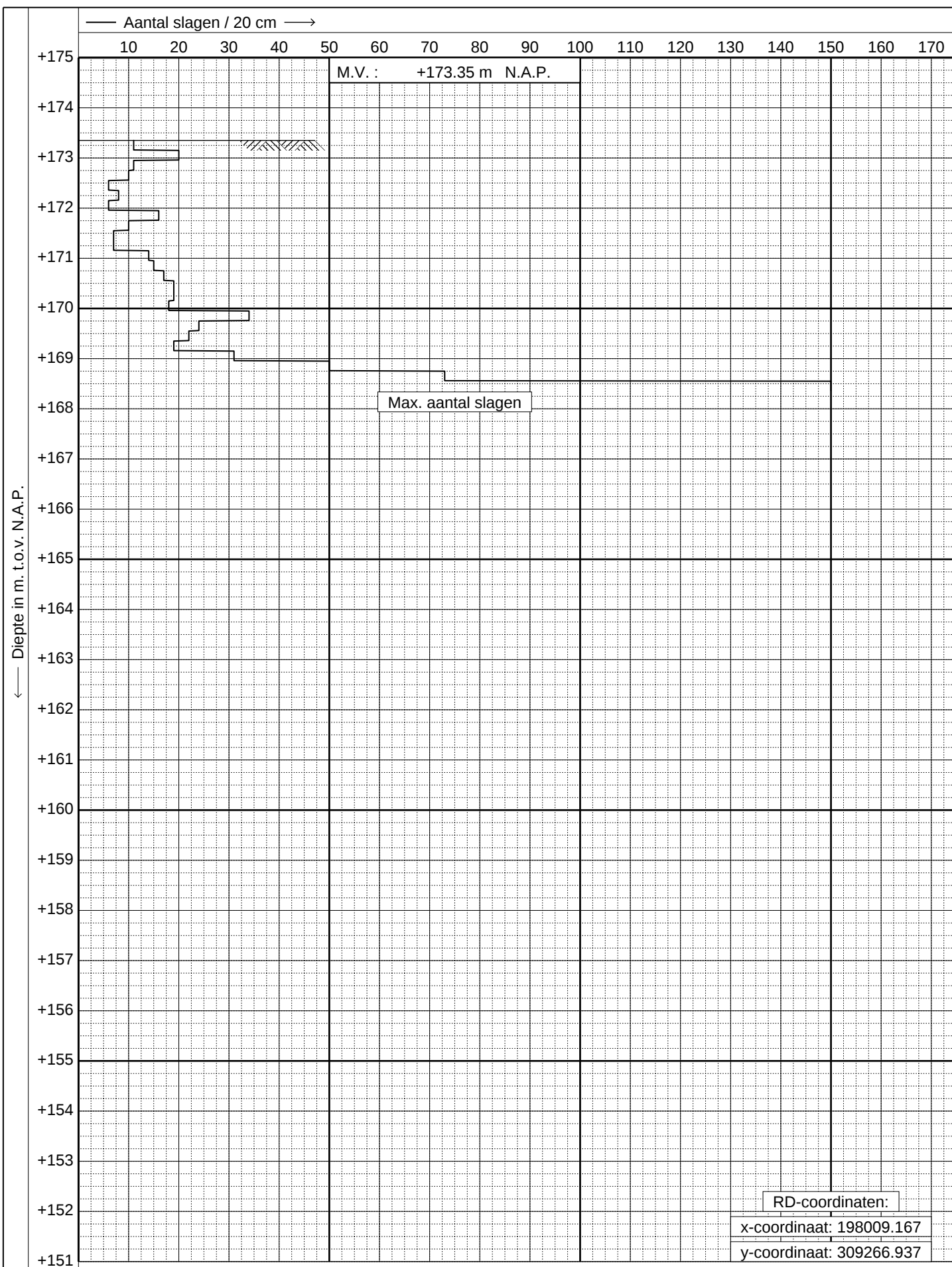
Locatie : **Weijerweg te Vaals**

Datum : **09-10-2018**

Conus : **L**

Opdracht : **GA180712**

Sondering : **06**



GEONIUS

www.geonius.eu
 E-mail: info@geonius.eu
 Tel.: 088-1300600
 Fax.: 088-1300669

Lichte slagsondering (10 kg) conform NEN-EN-ISO 22476-2

Project : **Reconstr. molenvijver Frankenhofmolen**

Locatie : **Weijerweg te Vaals**

Datum : **09-10-2018**

Conus : **L**

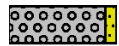
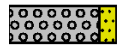
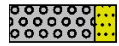
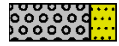
Opdracht : **GA180712**

Sondering : **08**

Bijlage 3 Boringen

Legenda (conform NEN 5104)

grind

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

zand

	Zand, kleiig
	Zand, zwak siltig
	Zand, matig siltig
	Zand, sterk siltig
	Zand, uiterst siltig

veen

	Veen, mineraalarm
	Veen, zwak kleiig
	Veen, sterk kleiig
	Veen, zwak zandig
	Veen, sterk zandig

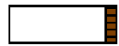
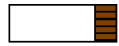
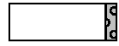
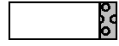
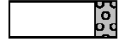
klei

	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

geur

	geen geur
	zwakke geur
	matige geur
	sterke geur
	uiterste geur

olie

	geen olie-water reactie
	zwakke olie-water reactie
	matige olie-water reactie
	sterke olie-water reactie
	uiterste olie-water reactie

p.i.d.-waarde

	>0
	>1
	>10
	>100
	>1000
	>10000

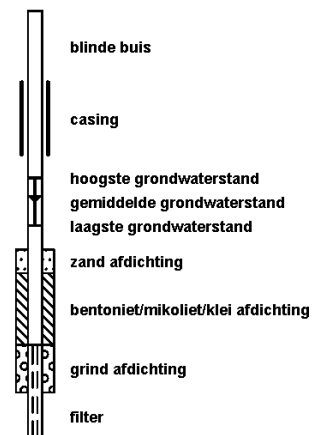
monsters

	geroerd monster
	ongeroid monster
	volumering

overig

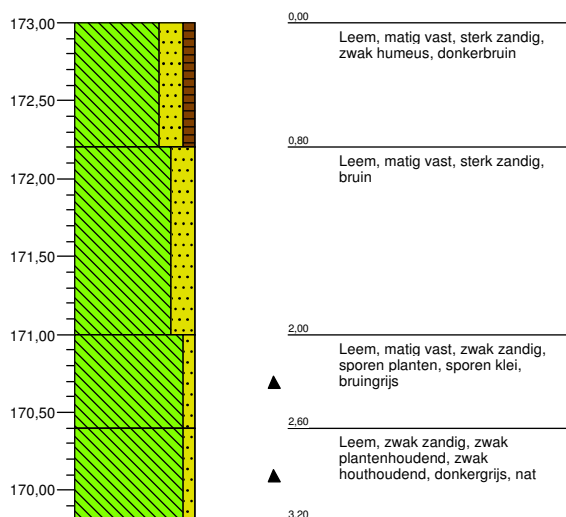
	bijzonder bestanddeel
	Gemiddeld hoogste grondwaterstand
	grondwaterstand
	Gemiddeld laagste grondwaterstand
	slib
	water

peilbuis



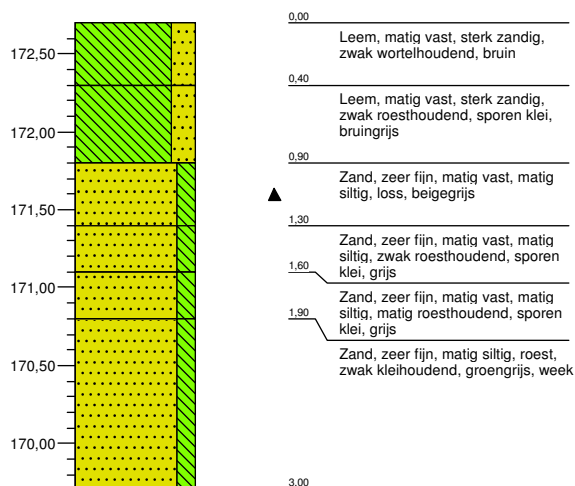
boring: B01

Maaiveldhoogte : 173 m. t.o.v. N.A.P. X-coördinaat : 197968,24
 GWS : 270 cm. - mv. Y-coördinaat : 309337,35
 Datum : 15-10-2018
 Opmerking: Bij SW02



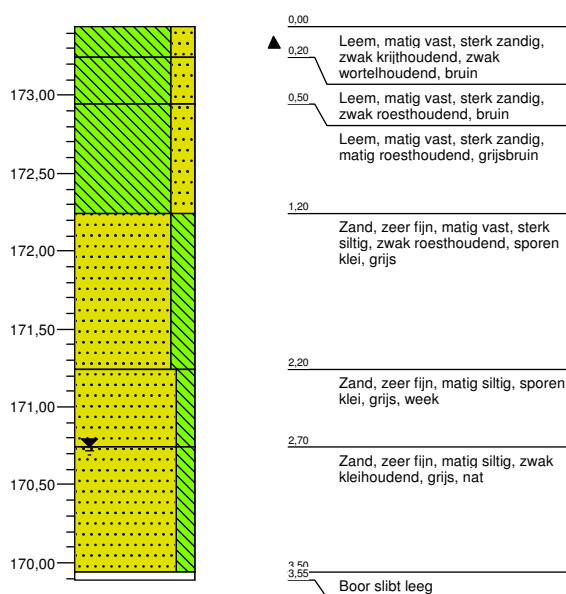
boring: B02

Maaiveldhoogte : 172,7 m. t.o.v. N.A.P. X-coördinaat : 197991,70
 GWS : 90 cm. - mv. Y-coördinaat : 309327,50
 Datum : 09-10-2018
 Opmerking: Bij LS03



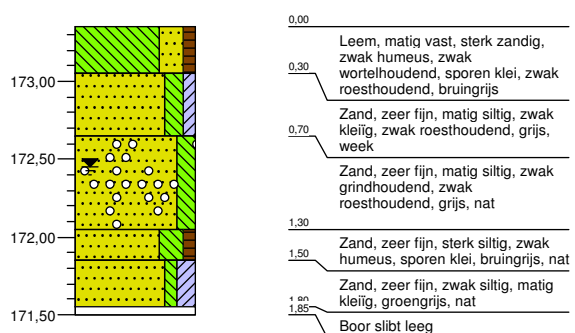
boring: B03

Maaiveldhoogte : 173,44 m. t.o.v. N.A.P. X-coördinaat : 197925,57
 GWS : 270 cm. - mv. Y-coördinaat : 309321,61
 Datum : 09-10-2018
 Opmerking: Bij LS05



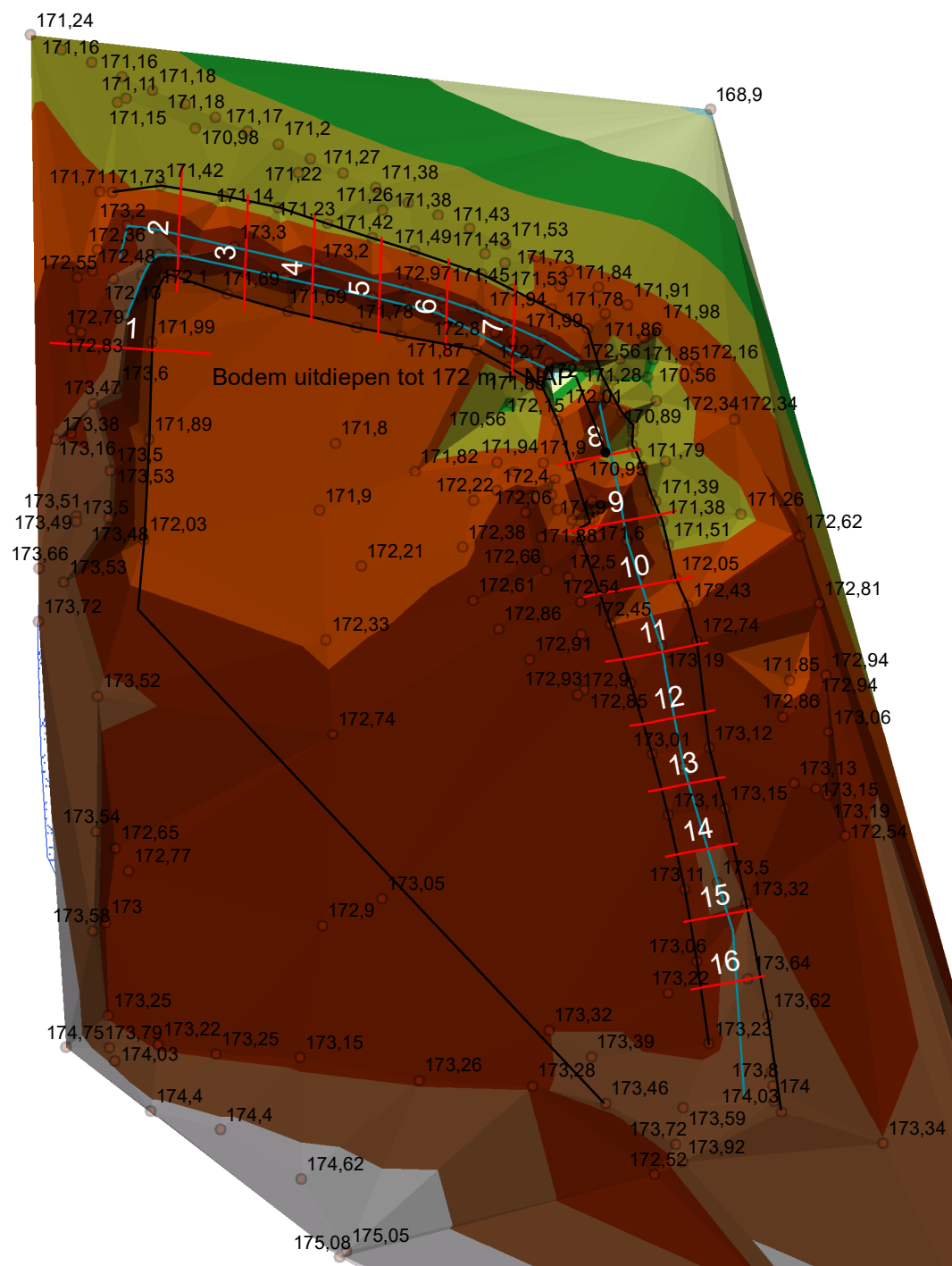
boring: B05

Maaiveldhoogte : 173,35 m. t.o.v. N.A.P. X-coördinaat : 198009,17
 GWS : 90 cm. - mv. Y-coördinaat : 309266,94
 Datum : 09-10-2018
 Opmerking: Bij LS08



Bijlage 4 Locatie dwarsprofielen

Profielen vijver Frankenhofmolen



Legenda

— Profiel

TinHoogtes

Elevation

175,045 - 175,907
174,183 - 175,045
173,321 - 174,183
172,459 - 173,321
171,597 - 172,459
170,735 - 171,597
169,873 - 170,735
169,011 - 169,873
168,149 - 169,011

N

0 5 10 20 Meters

Project: Molenvijver Frankenhofmolen Profielen
Limburgs Landschap
Datum: 12 november 2018

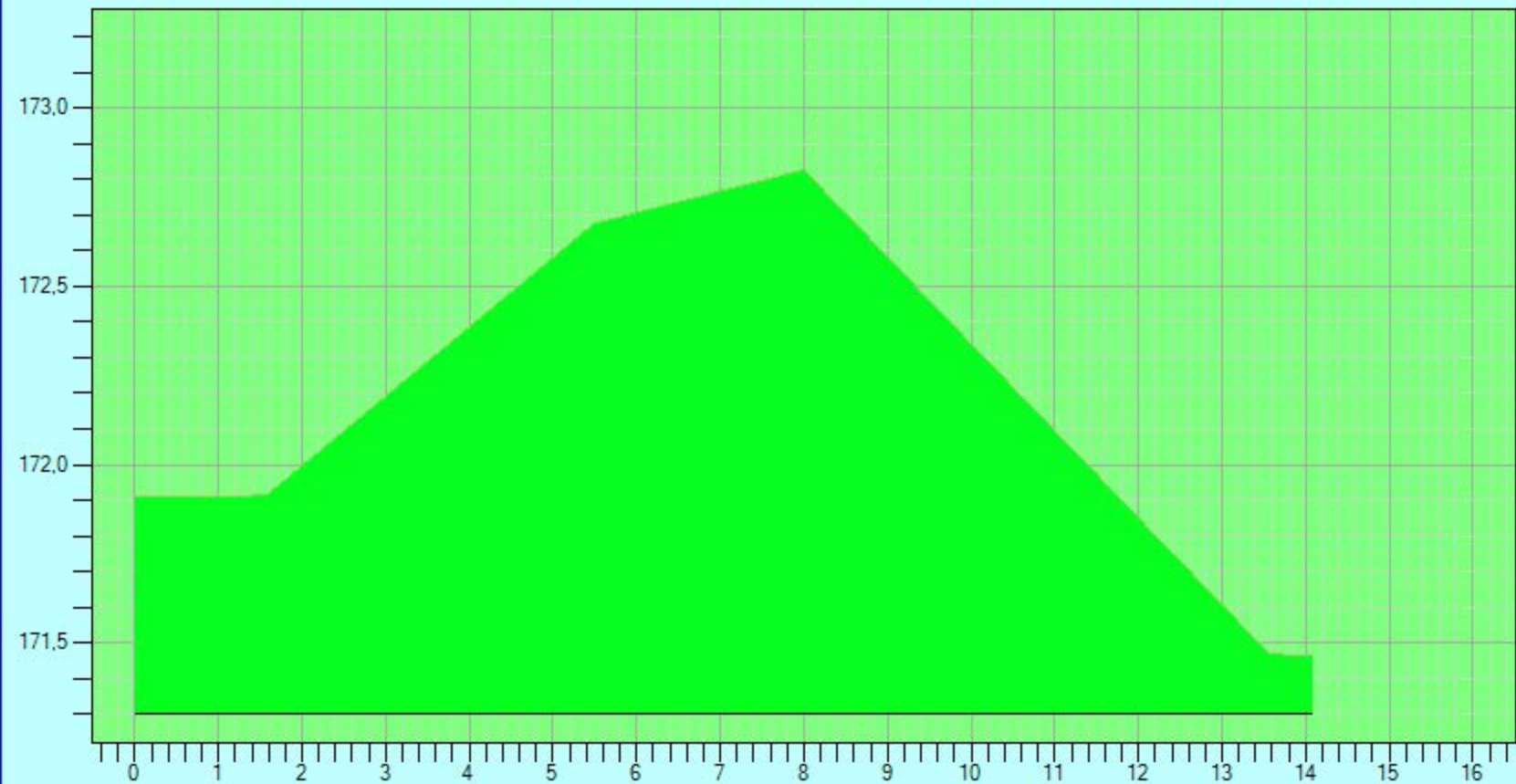
Formaat: A4 P
Schaal: 1:1000

OmniVerde BV
Houtstraat 137
6102 BH Echt
www.omniverde.nl

OmniVerde
Voor advies, ontwikkeling en realisatie van groenlandschap

Bijlage 5 Maatgevend dwarsprofiel

Dp6



Bijlage 6 Stabiliteitsberekeningen



Postbus 1097
6160 BB Geleen

Phone
Fax
+31 (0) 981 300600
+31 (0) 981 300669

D-Geo Stability 18.1 : GA180712 Dp6 WP172.5 MW170.9 sll

date
16-11-2018

drw.
PPN

GA180712

ctf.

Geotechnisch advies
Stabiliteit kades

Molenvijver Frankhofmolen a/d Weijerweg te Vaals

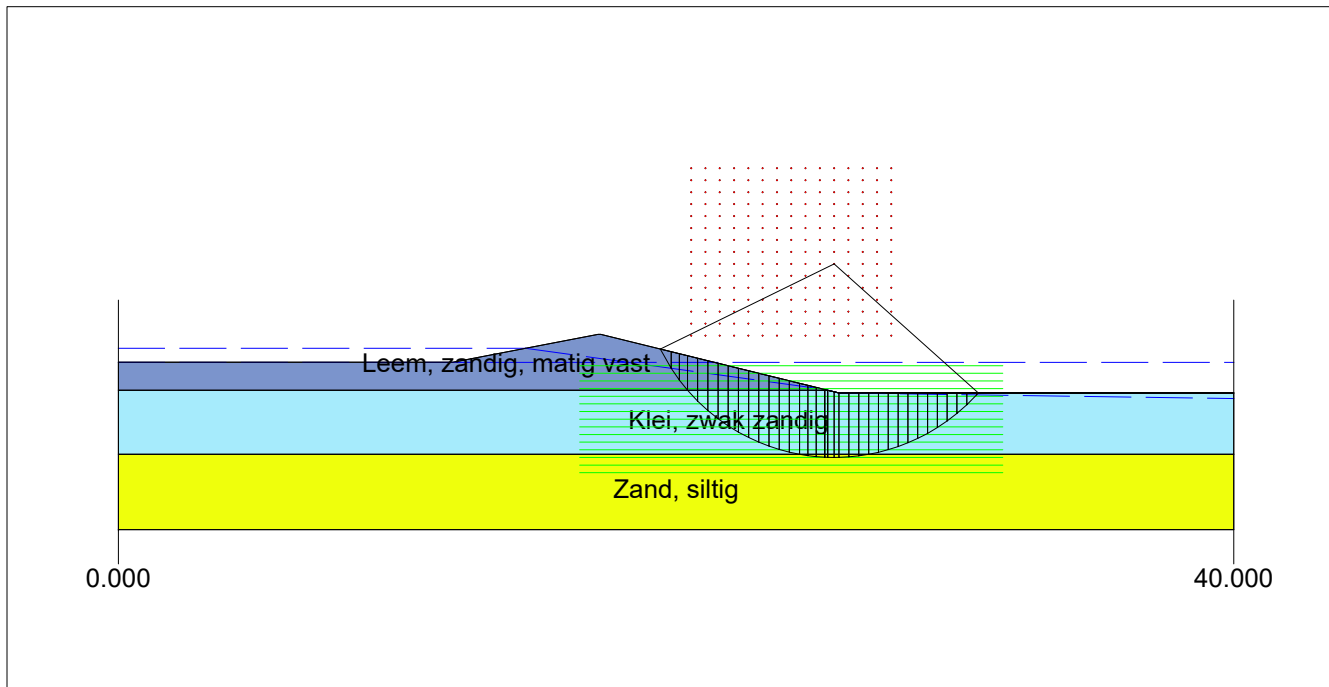
Annex

form.
A4

Critical Circle Bishop

Materials

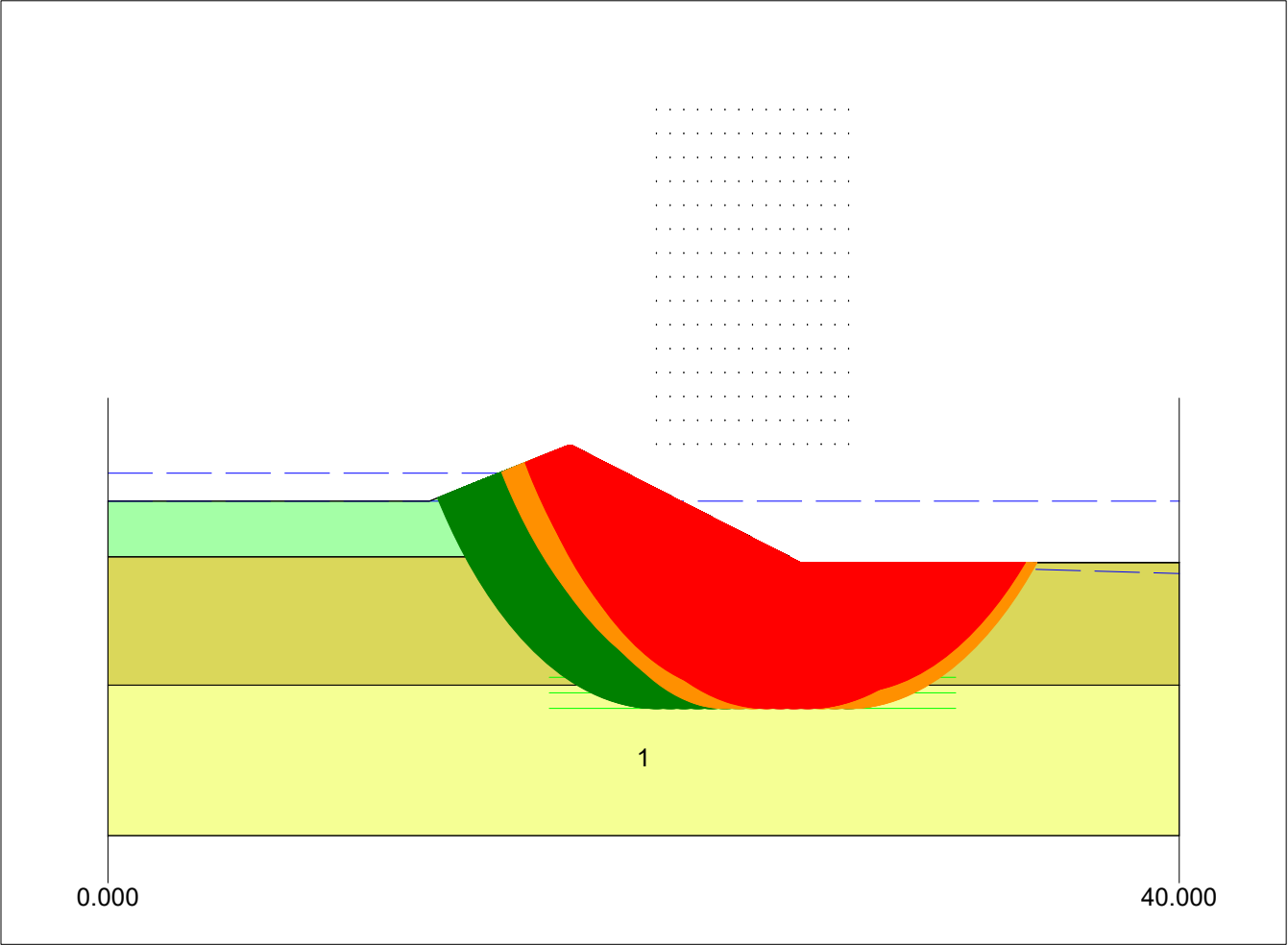
- Leem, zandig, matig vast
- Klei, zwak zandig
- Zand, siltig



Xm : 25.67 [m]
Ym : 175.53 [m]

Radius : 6.94 [m]
Safety : 0.77

Safety Overview



- Layers
- 3. Leem, zandig, matig vast
 - 2. Klei, zwak zandig
 - 1. Zand, siltig



Postbus 1097
6160 BB Geleen

Phone +31 (0) 981 300 060
Fax +31 (0) 981 300 069

D-Geo Stability 18.1 : GA180712 Dp6 WP172.5 MW170.9 stl

date
16-11-2018

drw.
PPN

Geotechnisch advies

Stabiliteit kades

GA180712

Annex

form.
A4

Molenvijver Frankhofmolen a/d Weijerweg te Vaals



Geotechnisch advies
Stabiliteit kades
Molenvijver Frankhofmolen a/d Weijerweg te Vaals

Postbus 1097
6160 BB Geleen

Phone
Fax
+31 (0) 981 300600
+31 (0) 981 300669

D-Geo Stability 18.1 : GA180712 Dp6 WP173 MW170.9 sfl

date
16-11-2018

drw.
PPN

GA180712

ctf.

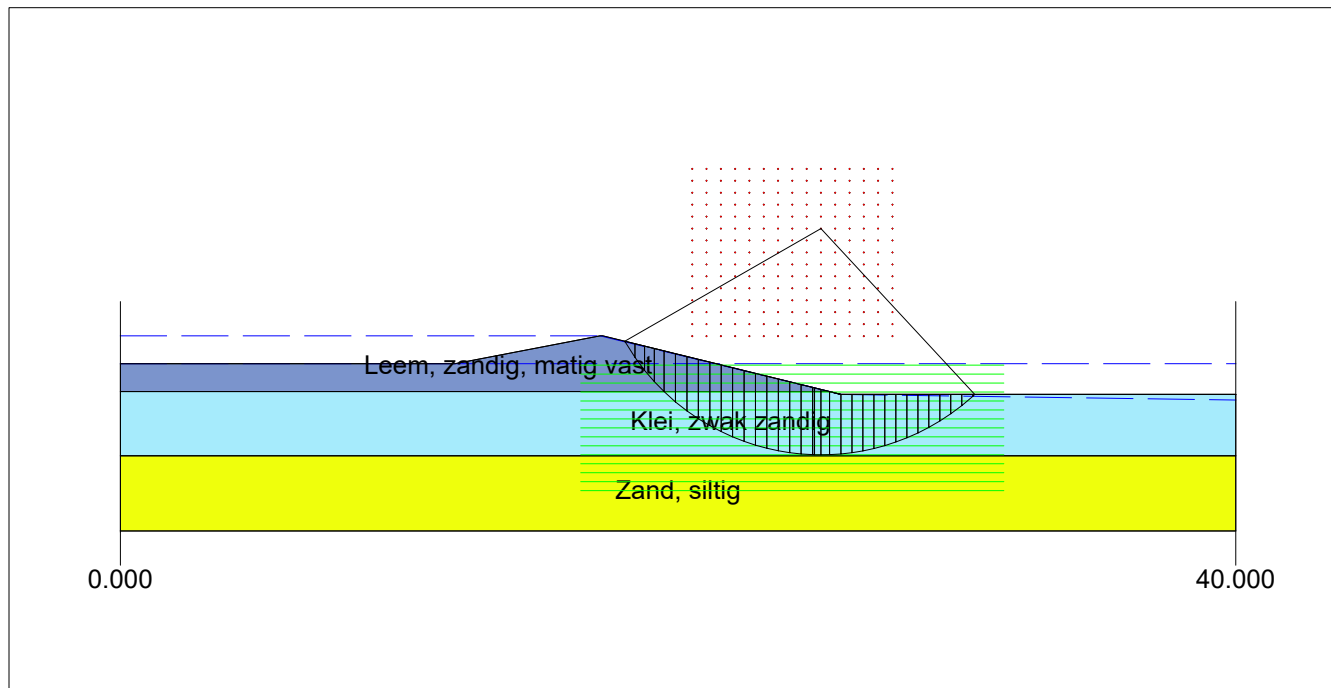
Annex

form.
A4

Critical Circle Bishop

Materials

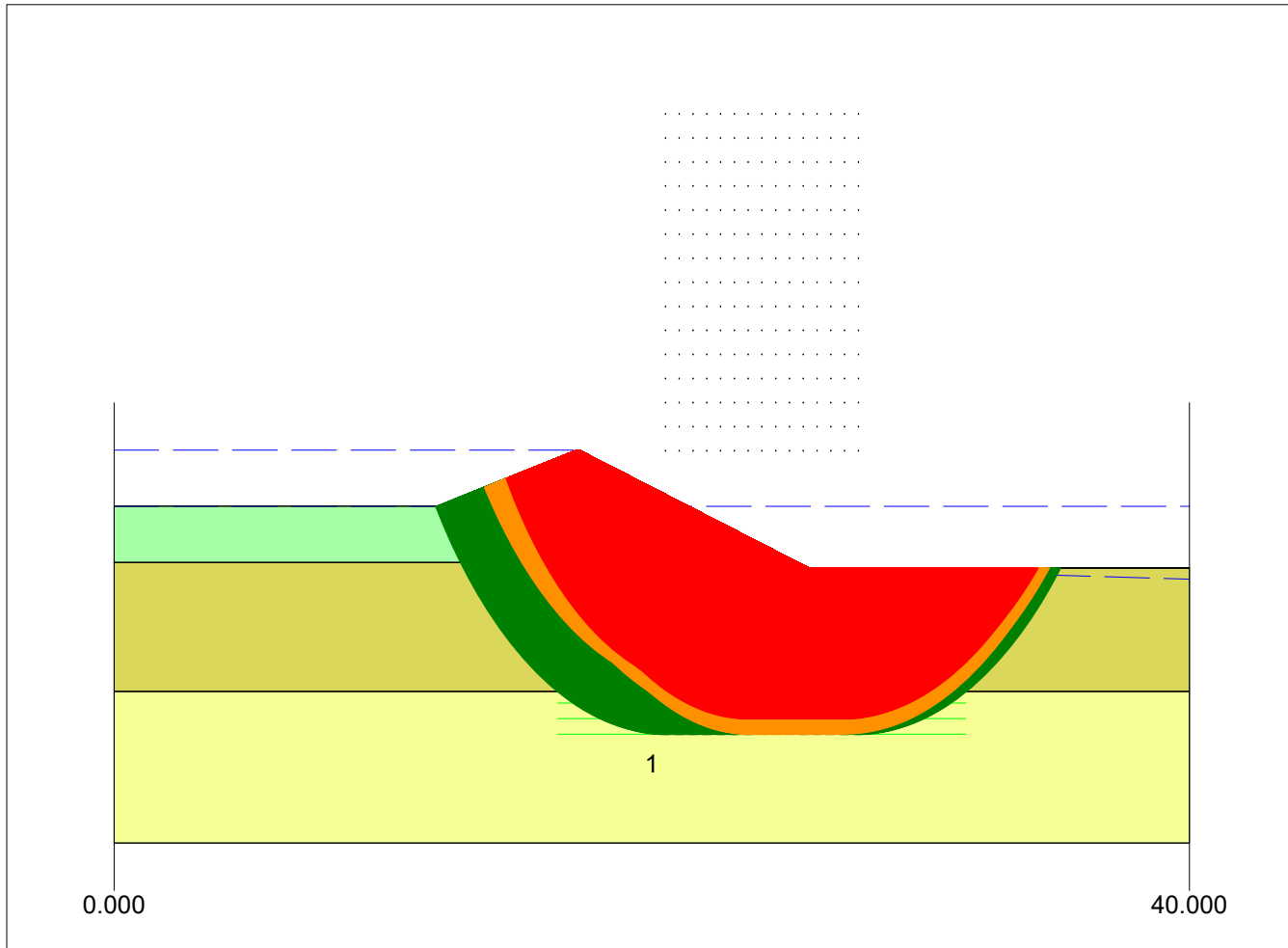
- Leem, zandig, matig vast
- Klei, zwak zandig
- Zand, siltig



Xm : 25.12 [m]
Ym : 176.85 [m]

Radius : 8.11 [m]
Safety : 0.67

Safety Overview



Layers

- 3. Leem, zandig, matig vast
- 2. Klei, zwak zandig
- 1. Zand, siltig



Postbus 1097
6160 BB Geleen

Phone +31 (0) 981 300 060
Fax +31 (0) 981 300 069

D-Geo Stability 18.1 : GA180712 Dp6 WP173 MW170.9 stl

date
16-11-2018

drw.
PPN

GA180712

ctf.

Geotechnisch advies
Stabiliteit kades

Molenvijver Frankhofmolen a/d Weijerweg te Vaals

Annex

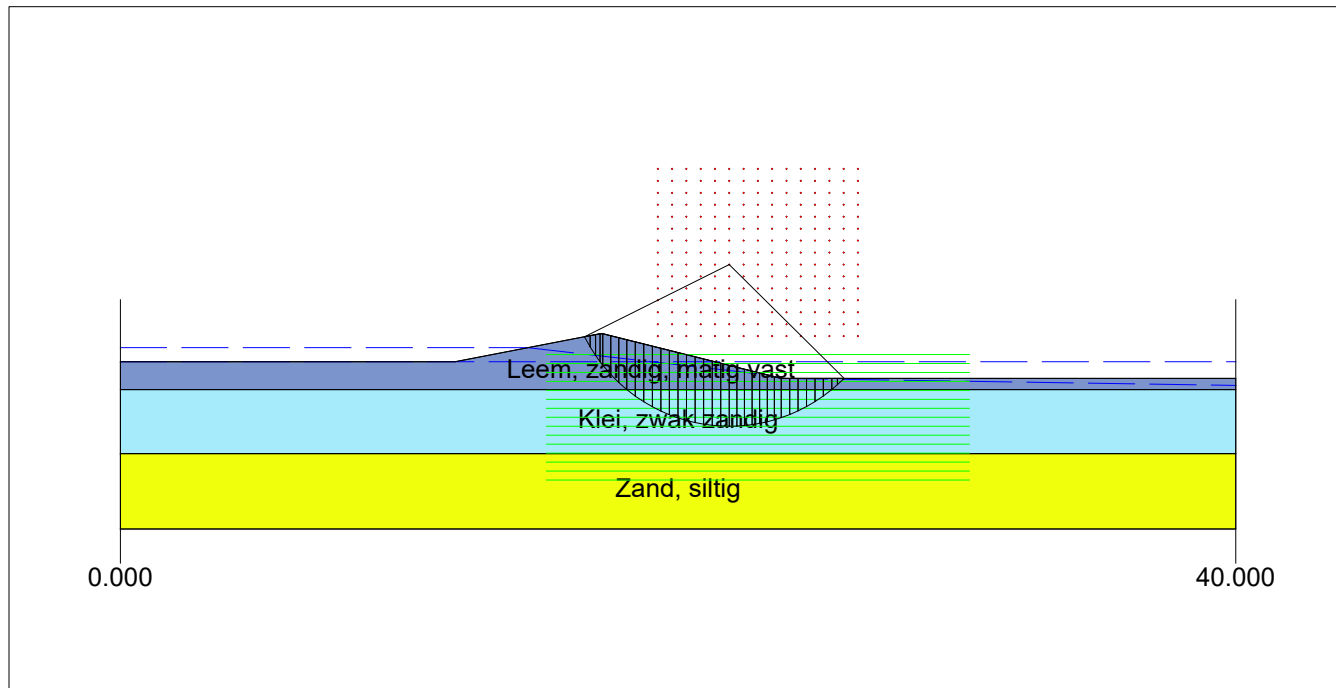
form.
A4



Critical Circle Bishop

Materials

- Leem, zandig, matig vast
- Klei, zwak zandig
- Zand, siltig

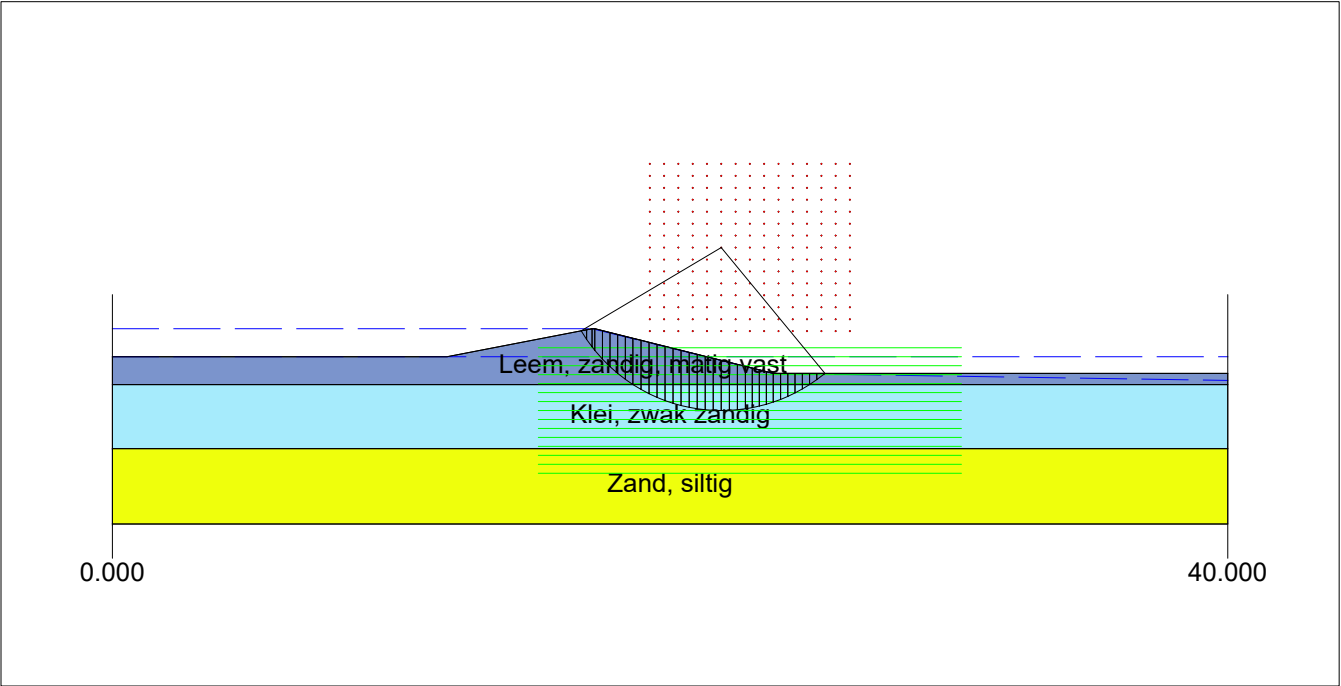


Xm : 21.84 [m]
Ym : 175.48 [m]

Radius : 5.80 [m]
Safety : 1.27

Critical Circle Bishop

- Materials
- Leem, zandig, matig vast
 - Klei, zwak zandig
 - Zand, siltig



Xm : 21.84 [m]
Ym : 175.91 [m]

Radius : 5.85 [m]
Safety : 1.06



Geotechnisch advies
Stabiliteit kades
Molenvijver Frankhofmolen a/d Weijerweg te Vaals

Postbus 1097
6160 BB Geleen
Phone +31 (0) 981 300600
Fax +31 (0) 981 300669

D-Geo Stability 18.1 : GA180712 Dp6 WP173 MW171.4.sil

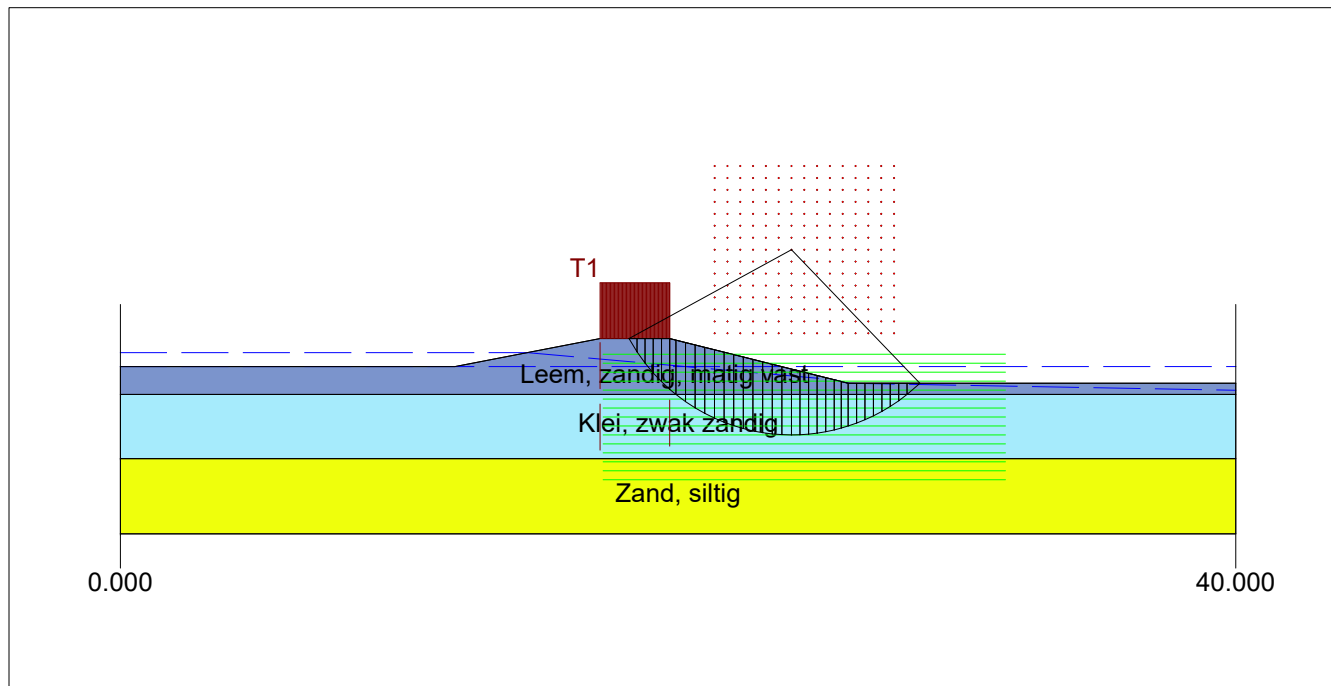
date		drw.
16-11-2018		PPN
GA180712		ctf.
Annex		A4
form.		



Critical Circle Bishop

Materials

- Leem, zandig, matig vast
- Klei, zwak zandig
- Zand, siltig



Xm : 24.07 [m]
Ym : 176.19 [m]

Radius : 6.64 [m]
Safety : 1.24



Geotechnisch advies
Stabiliteit kades

Molenvijver Frankhofmolen a/d Weijerweg te Vaals

Postbus 1097
6160 BB Geleen

Phone +31 (0)981300600
Fax +31 (0)981300669

D-Geo Stability 18.1 : GA180712.Dp6 WP173 MW171.4 +KB sil

date
16-11-2018

drw.
PPN

GA180712

ctf.

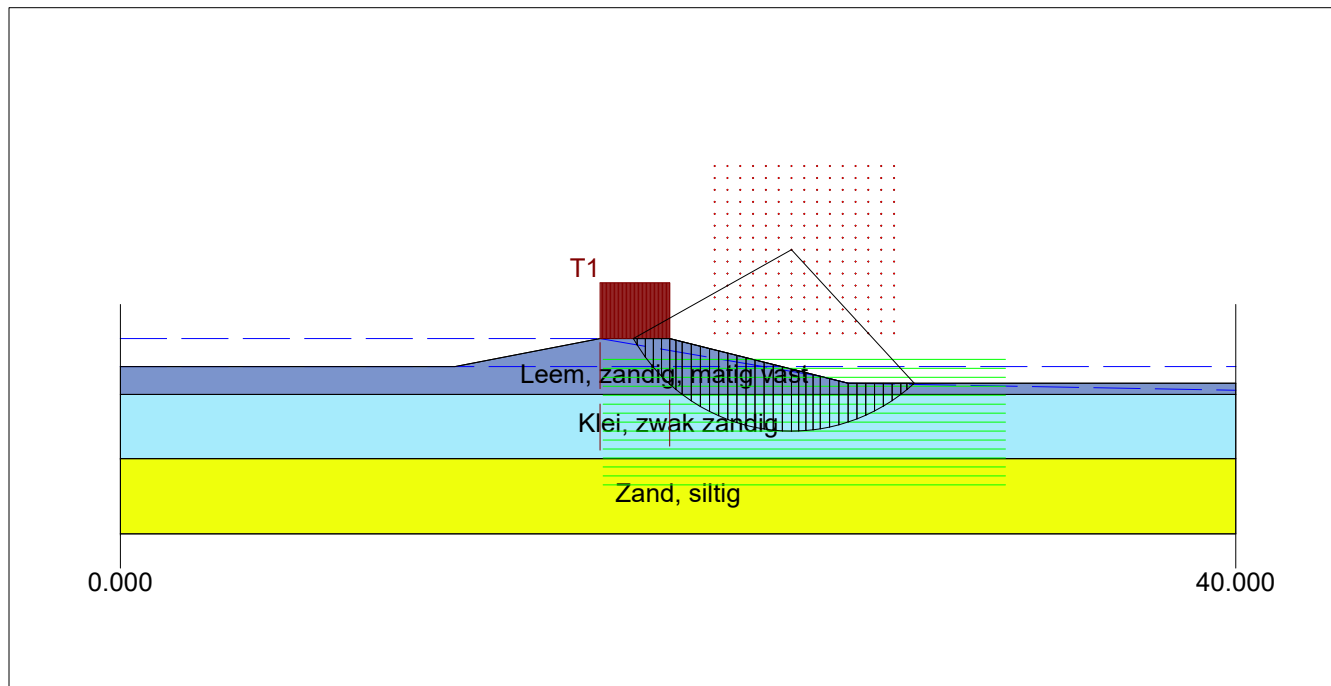
Annex

form.
A4

Critical Circle Bishop

Materials

- Leem, zandig, matig vast
- Klei, zwak zandig
- Zand, siltig



Xm : 24.07 [m]
Ym : 176.19 [m]

Radius : 6.50 [m]
Safety : 1.12

Geonius.nl

Geonius is een middelgroot interdisciplinair ingenieursbureau met brede expertise binnen de GWW- en bouwsector. Door onze unieke combinatie van vakkennis op het gebied van wegen, geotechniek, milieu, geodesie, water, ruimtelijke ontwikkeling, landschap, archeologie en ecologie zijn wij goed in staat mee te denken met de klant en projecten zelfstandig uit te voeren. Grenzen tussen de verschillende divisies vervagen, waardoor steeds meer projecten integraal door ons worden uitgevoerd.

Geonius hecht veel waarde aan een informele, positieve bedrijfscultuur, het welzijn van medewerkers en maatschappelijke betrokkenheid.



Wegen



Geotechniek



Milieu



Geodesie



Water



Ruimtelijke ontwikkeling



Landschap



Archeologie



Ecologie