



Nieuwbouwappartementen aan de Hagelaan te Nootdorp

Hydrologische effectenstudie | Nootdorp

6424-255452-R01 v1.0 | 11-7-2024

Definitief

Gemeente Pijnacker-Nootdorp

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Nieuwbouwappartementen aan de Hagelaan te Nootdorp
Documentnaam	Hydrologische effectenstudie
Fugro-projectnr.	6424-255452
Fugro-documentnr.	6424-255452-R01
Versienummer	v1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Pijnacker-Nootdorp
Adres klant	Postbus 1, 2640 AA, Pijnacker
Contactpersoon klant	De heer P. Bol

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	11-07-2024	Definitief	Initiële versie	MSR	VL	VL

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
VL	V. Lubbers	Vakgroepmanager Hydrologie
MSR	M. Shorachi	Adviseur hydrologie



Inhoudsopgave

1.	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Gebruikte gegevens	1
2.	Projectomschrijving	3
2.1	Ligging locatie	3
2.2	Afmetingen en ontgravingsniveaus	3
2.3	Uitvoeringswijze	5
2.4	Planning	5
3.	Geohydrologische inventarisatie	6
3.1	Grondonderzoek	6
3.2	Maaiveldhoogte	6
3.3	Bodemopbouw en geohydrologische schematisering	7
3.4	Open water	8
3.5	Grondwaterstand en stijghoogte	10
3.5.1	Projectlocatie	10
3.5.2	Peilbuizen omgeving	10
3.5.3	Uitgangsgroundwaterstand	11
3.6	Grond(water)kwaliteit	12
3.6.1	Milieukundig bodemonderzoek locatie	12
3.6.2	Lozingsparameters grondwater locatie	12
4.	Bemalingsberekening en effecten (bouwfase)	13
4.1	Benodigde verlagingen en te bemalen lagen	13
4.1.1	Benodigde verlaging	13
4.1.2	Benodigde verlaging van stijghoogte (laag 3)	13
4.1.3	Overzicht verlagingen	14
4.2	Berekende waterbezwaren	15
4.2.1	Open ontgraving	15
4.2.2	Damwand tot in een van nature aanwezige waterremmende laag	16
4.2.3	damwand in combinatie met onderwaterbeton	16
4.2.4	Algemeen	16
4.3	Vergunningsplicht/meldingsplicht onttrekking in kader Omgevingswet	16
4.4	Lozing van het bemalingswater	17
4.5	Verlagingen in omgeving	18
4.6	Omgevingsaspecten	21
4.6.1	Algemeen	22
4.6.2	Zettingen door bemaling (maaiveld, bebouwing en infrastructuur)	22
4.6.3	Droogstand houten palen	23

4.6.4	(Grondwater)verontreiniging	24
4.6.5	Groen en natuur	24
4.6.6	Overige onttrekkingen en WKO's	25
4.6.7	Waterkering	26
4.7	Samenvatting bouwfase	27
4.8	Conceptueel monitoringsplan	28
5.	Effecten kelder op de omgeving (permanente fase)	29
5.1	Definitie barrièrewerking	29
5.2	Barrièrewerking op de projectlocatie	30
6.	Advies en aandachtspunten bemaling	33
6.1	Algemeen	33
6.2	Halfverdiepte kelder	33
6.3	Volledig verdiepte kelder	34
6.4	Vervolgtraject	34

Bijlagen

Bijlage A Grondonderzoek

1. Inleiding

1.1 Algemeen

Fugro ontving van Gemeente Pijnacker-Nootdorp opdracht voor het uitvoeren van een grondonderzoek en het uitbrengen van een geohydrologisch advies. Het advies heeft betrekking op de aanleg van appartementen met een (gedeeltelijk) volledig of halfverdiepte parkeerkelder. Op dit moment staat op het terrein een schoolgebouw met schoolplein. Om de ondergrondse bouwlaag te realiseren dient de grondwaterstand verlaagd te worden en mogelijk kan deze bouwlaag in de gebruiksfase de grondwaterstand beïnvloeden (barrierewerking, opstuwing aan de bovenstroomse zijde en een verlaging aan de benedenstroomse zijde).

Geohydrologische effectenstudie

Door de aanleg van het (gedeeltelijke) ondergrondse bouwdeel kan de grondwaterstand tijdelijk en/of permanent veranderen. Het doel van het geohydrologisch advies is inzichtelijk te maken of het mogelijk is om het (gedeeltelijke) ondergrondse bouwdeel te realiseren zonder dat dit onaanvaardbare gevolgen heeft op de grondwaterstand(stroming) in de eindsituatie of op de omgeving als gevolg van een (tijdelijke) verandering van de grondwaterstand (bemaling in bouwfase). Effecten op de grondwaterstand worden beschouwd voor 2 varianten van het ondergrondse bouwdeel: half verdiept en 1 volledige ondergrondse bouwlaag. Hierbij wordt bij het beschouwen van het effect niet gevarieerd in het oppervlak waarover de verdiepte bouwdelen worden gerealiseerd. In dit rapport wordt inzicht verkregen in:

- de (geo)hydrologische uitgangspunten;
- de bemalingseffecten (kwantitatief);
- het effect van het ondergrondse bouwdeel in de gebruiksfase op de grondwaterstroming (kwalitatief);
- de omgevingsaspecten op basis van digitale bronnen;
- de aandachtspunten en vervolgtraject.

1.2 Gebruikte gegevens

Voor het uitwerken van onderhavige rapportage zijn de gegevens gebruikt zoals weergegeven in tabel 1.1.

Tabel 1.1: Gebruikte gegevens/bronnen

Nr.	Titel	Auteur	Referentie	Datum	Verstrekt/ opgevraagd door
1.	Totaalontwerp HvN fase 1	-	-	-	Gemeente Pijnacker- Nootdorp

Nr.	Titel	Auteur	Referentie	Datum	Verstrekt/ opgevraagd door
2.	Rapportage geotechnisch onderzoek	Fugro	6424-255452-21-R01	23-05-24	Fugro
3.	REGIS/Dino loket	TNO	www.dinoloket.nl	05-06-24*	Fugro
4.	Actueel Hoogtebestand Nederland	AHN	http://ahn.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=c3c98b8a4ff84ff4938fafe7cc106e88	05-06-24*	Fugro
5.	Atlas leefomgeving	Rijkswaterstaat Leefomgeving	www.atlasleefomgeving.nl	02-07-24*	Fugro
6.	Basisregistratie Adressen en Gebouwen	Kadaster	Bagviewer.kadaster.nl of via Atlas leefomgeving	02-07-24*	Fugro
7.	WKO-tool Nederland	Rijkswaterstaat Leefomgeving	www.wkool.nl	02-07-24*	Fugro
8.	Legger Delfland	Hoogheemraadschap van Delfland	https://experience.arcgis.com/experience/a316920536d94e7a90d5fb5edfe48134/page/Leggerkaart/?views=Legenda#data_s=id%3AdataSource_13-18aad25a9d1-layer-126%3A1310	05-06-24*	Fugro
9.	Waterschapsverordening	Hoogheemraadschap van Delfland	https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR705504/	02-07-24*	Fugro
*Datum van raadplegen					

2. Projectomschrijving

2.1 Ligging locatie

Het project betreft de aanleg van appartementen met een volledig of halfverdiepte ondergrondse bouwlaag aan de Hagelaan te Nootdorp. Binnen het Rijksdriehoeksnet heeft de projectlocatie globaal de coördinaten $X = 86.970$ m en $Y = 451.260$ m. De projectlocatie is in figuur 2.1 weergegeven.



Figuur 2.1: Projectlocatie (ondergrond: ESRI)

2.2 Afmetingen en ontgravingsniveaus

Op basis van de beschikbaar gestelde informatie zijn de volgende voor het rapport relevante afmetingen en niveaus afgeleid en gepresenteerd in tabel 2.1 (half verdiept) en tabel 2.2 (volledig verdiept). Voor de diepte van de kelder wordt gerekend met een begane grondvloerdikte van 0,5 m, een kelderhoogte van 2,3 m (verdiept) of 1,2 m (halfverdiept), en een keldervloerdikte van 0,5 m. De gekozen vloerdiktes zijn worst-case gekozen, om rekening te houden met enige onzekerheid in niveaus. De bovenkant begane grondvloer wordt aangenomen op NAP -2,8 m, overeenkomend met het gemiddelde maaiveldniveau. De extra diepte van de poeren en liftput zijn aangenomen op 0,3 en 1,2 m beneden onderkant keldervloer. Aangenomen wordt dat er integraal wordt ontgraven voor de poeren (worst-case uitgangspunt). De nieuwe gebiedsontwikkeling ter plaatse van de projectlocatie is weergegeven in figuur 2.2.

Tabel 2.1: Afmetingen en ontgravingsniveau half verdiepte kelder

Onderdeel	Afmetingen bodem: l x b [m x m]	Aanlegniveau		Ontgravingsniveau [NAP m]**
		[m t.o.v. bovenkant vloer]	[NAP m]*	
o.k. keldervloer (half verdiept)	Ca. 75 x 25 (2000 m²)	-1,7	-4,5	-5,0
Poeren		-2,2	-5,0	-5,1
Liftput	3 x 3	-2,9	-5,7	-5,8

* Uitgaande van een vloerpeil van NAP -2,8 m
** Inclusief zandbed van ca. 0,5 m dik onder de keldervloer en ca. 0,1 m onder lokaal verdiepte delen.

Tabel 2.2: Afmetingen en ontgravingsniveau volledig verdiepte kelder

Onderdeel	Afmetingen bodem: l x b [m x m]	Aanlegniveau		Ontgravingsniveau [NAP m]**
		[m t.o.v. bovenkant vloer]	[NAP m]*	
o.k. keldervloer (volledig verdiept)	Ca. 75 x 25 (2000 m²)	-2,8	-5,6	-6,1
Poeren		-3,3	-6,1	-6,2
Liftput	3 x 3	-4,0	-6,8	-6,9

* Uitgaande van een vloerpeil van NAP -2,8 m
** Inclusief zandbed van ca. 0,5 m dik onder de keldervloer en ca. 0,1 m onder lokaal verdiepte delen.



Figuur 2.2: Ontwerp ter plaatse van de projectlocatie [1]

2.3 Uitvoeringswijze

Voor de uitvoering van de kelder zijn er verschillende varianten mogelijk, waaronder:

1. Uitvoering in open ontgraving: Lage kosten maar meeste omgevingseffecten en meer ruimtebeslag;
2. Uitvoering binnen grond- en waterkerende damwanden tot in een van nature aanwezige laag: Gemiddelde kosten, minder (of soms verwaarloosbare) omgevingseffecten;
3. Uitvoering binnen grond- en waterkerende damwand in combinatie met een kunstmatig aangebrachte onderafdichting (onderwaterbeton of injectielaag): hoge kosten en vrijwel geen omgevingsaspecten.

Aangezien er relatief ondiep een van nature aanwezige waterremmende laag wordt aangetroffen van voldoende dikte (zie paragraaf 3.3), hebben de uitvoeringsvarianten met onder waterbeton en glasinjectie geen toegevoegde waarde. Deze varianten worden, behoudens getalsmatig, niet verder uitgewerkt.

2.4 Planning

Alvorens de aanleg van het appartementencomplex van start kan gaan, dient er eerst een nieuw schoolgebouw te worden gebouwd en het huidige pand te worden gesloopt. Het bouwrijp maken van de nieuwe locatie van het schoolgebouw is gepland vanaf juli 2024 en de werkzaamheden voor het nieuwe schoolgebouw zijn gepland vanaf november 2024. De verwachte start en duur van de aanleg van het appartementencomplex is Fugro onbekend.

3. Geohydrologische inventarisatie

3.1 Grondonderzoek

Op de projectlocatie is grondonderzoek uitgevoerd Fugro [2]. Het grondonderzoek heeft bestaan uit 4 sonderingen tot ca. 28 m (zie figuur 3.1). Volledigheidshalve is het uitgevoerde grondonderzoek in bijlage A opgenomen.

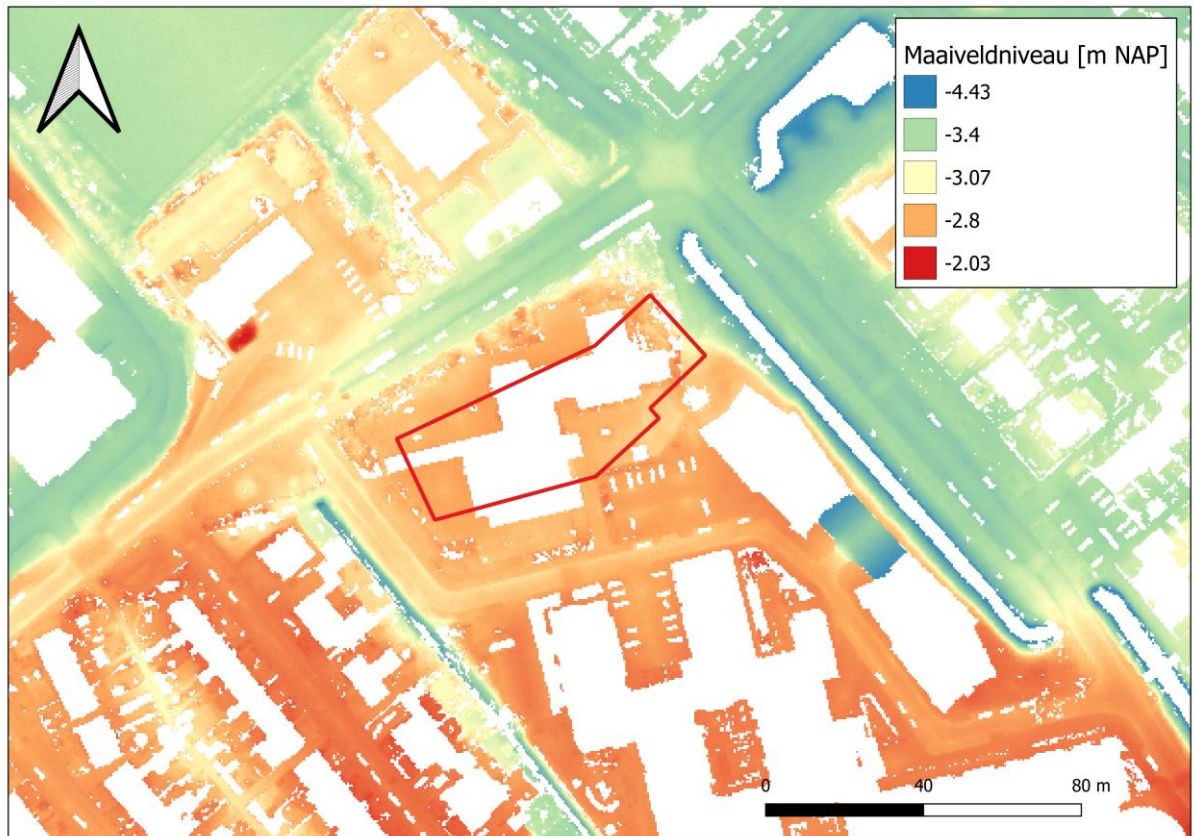


Figuur 3.1: Locatie uitgevoerde sonderingen [2]

3.2 Maaiveldhoogte

Op basis van het door Fugro uitgevoerde grondonderzoek [2] en het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN4) [4] varieert het maaiveld ter plaatse van de ontgraving tussen NAP -2,7 m en NAP -3,0 m.

In figuur 3.2 is de projectlocatie geprojecteerd in een kaart van AHN4 met globale maaiveldhoogtes in meters t.o.v. NAP.



Figuur 3.2: Projectlocatie geprojecteerd in kaart van Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN4) met globale maaiveldhoogtes [m NAP]

3.3 Bodemopbouw en geohydrologische schematisering

Op basis van het ter plaatse uitgevoerde grondonderzoek [2], gegevens uit het DINO-loket [3] en de grondwaterkaart van Nederland is de bodemopbouw geschematiseerd zoals is weergegeven in tabel 3.1. De parameterwaarden die behoren bij de geohydrologische schematisering zijn eveneens in de tabel opgenomen. Hierbij is de weerstand tegen verticale grondwaterstroming door een waterremmende laag weergegeven met een c-waarde en is het horizontaal doorlaatvermogen van een watervoerende laag weergegeven met een kD-waarde. Deze waarden zijn geraamd op basis van ervaring aan de hand van de beschikbare bodemgegevens, en niet op basis van praktijkgegevens.

Tabel 3.1: Bodemopbouw en geohydrologische schematisering

Laag	Diepte [ca. m NAP]	Bodem-beschrijving	Typering	Parameter c [dagen] / kD [m ² /dag]	
				c/kD	Waarde
0	-2,7 à -3,0	Maaiveld	Infiltratie-oppervlak	c	350
1a*	-2,7 à -3,0 tot -5,3 à -5,8	Klei/Veen, met lokaal zand vanaf maaiveld	waterremmend		
1b**	-5,3 à -5,8 tot -10,7 à -11,2	Zand	Watervoerend	kD	50
2a	-10,7 à -11,2 tot -13,7 à -14,5	Klei	waterremmend	c	400
2b	-13,7 à -14,5 tot -13,9 à -15,5	Veen			
3	-13,9 à -15,5 tot -40***	Zand (1 ^e WVP)	Watervoerend	kD	750

* Sonderingen DKM01 en DKM02 aan de westzijde tonen een (antropogene) zandlaag in de bovenste meter

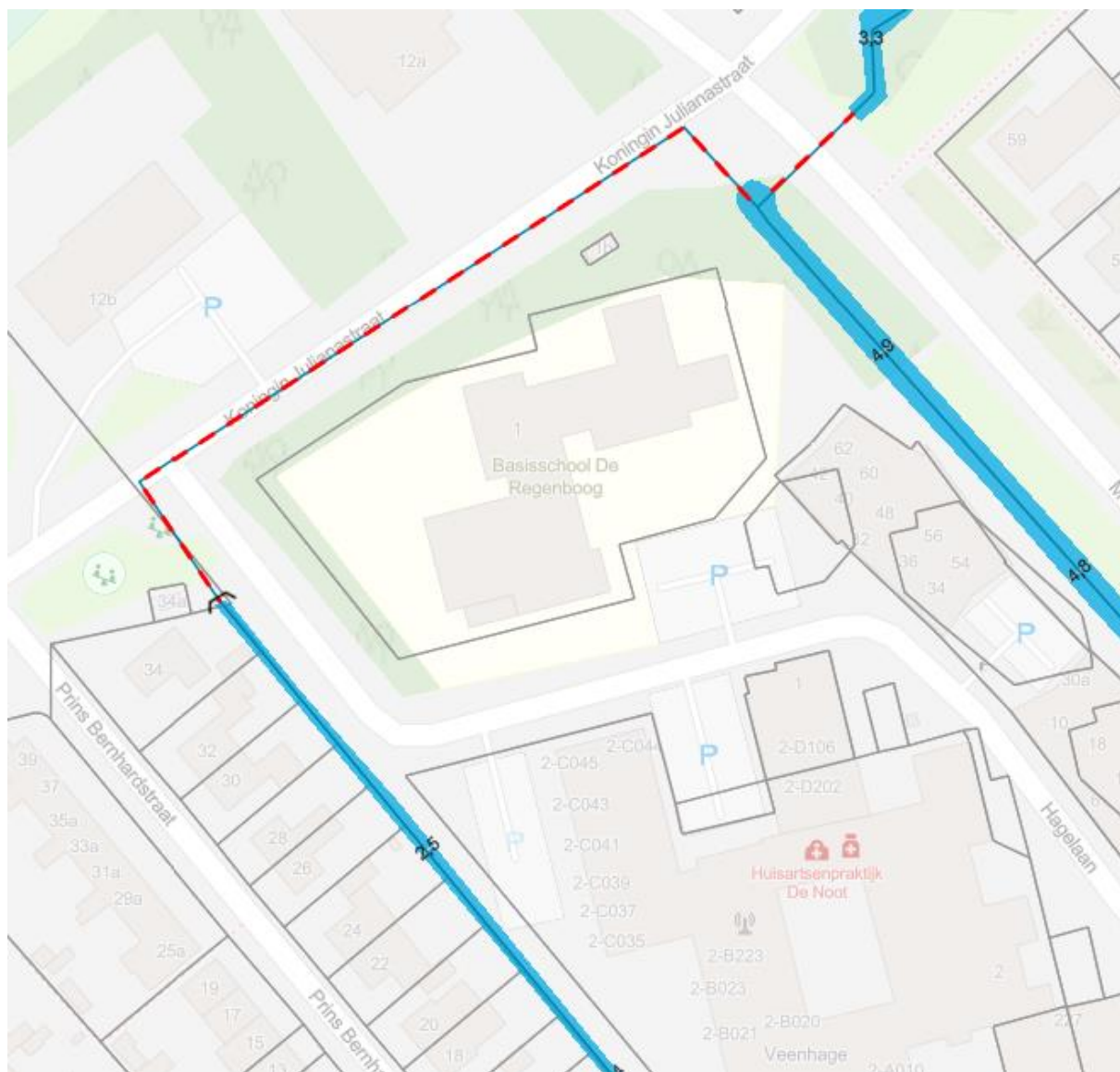
** In deze zandlaag bevinden zich (kleiige) stoorlagen.

*** Maximaal verkende diepte geotechnisch onderzoek: -NAP 28 m. Vanaf ca. NAP -40 m wordt op basis van REGIS II v2.2. [3] een waterremmende laag verwacht. Deze laag wordt in onderhavige rapportage als geohydrologische basis beschouwd.

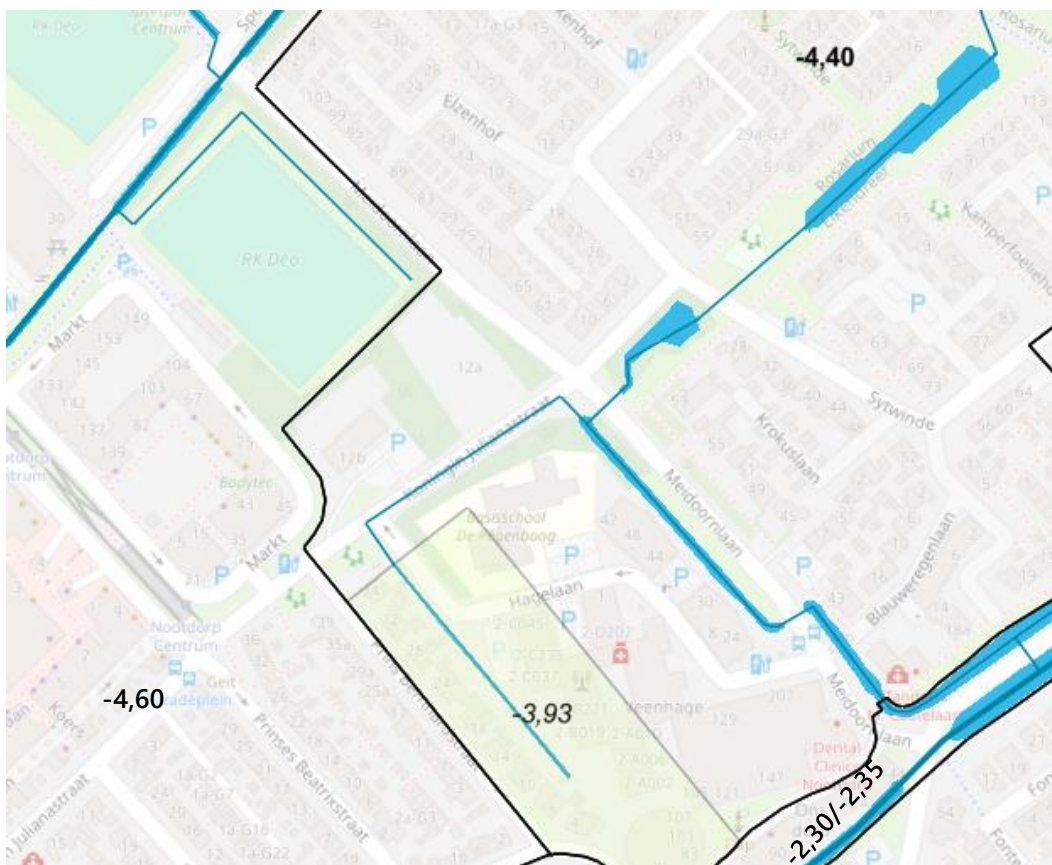
3.4 Open water

Ten zuidwesten en ten noordoosten van de projectlocatie bevindt zich open water. Deze watergangen zijn met elkaar verbonden door een stuw en een duiker (zie figuur 3.3). De watergang ten westen heeft een vast peil van NAP -3,39 m (peilgebied GPG2014PVN 18 a). De rest van de watergangen rondom de projectlocatie bevinden zich in een peilgebied met een vast peil van NAP -4,4 m (peilgebied GPG2014PVN 18), zie figuur 3.4.

In de toekomst wordt een deel van de duiker uitgevoerd als open water (zie figuur 2.2). Hierdoor ontstaat er aan de noordwestzijde van het nog te realiseren gebouw een watergang. Het waterpeil in deze watergang wordt beheerst op NAP -4,4 m.



Figuur 3.3: Open water en kunstwerken rondom de projectlocatie. Rode stippellijn betreft een duiker en het zwarte kunstwerk betreft een stuw.



Figuur 3.4: Peilgebieden rondom de projectlocatie

3.5 Grondwaterstand en stijghoogte

3.5.1 Projectlocatie

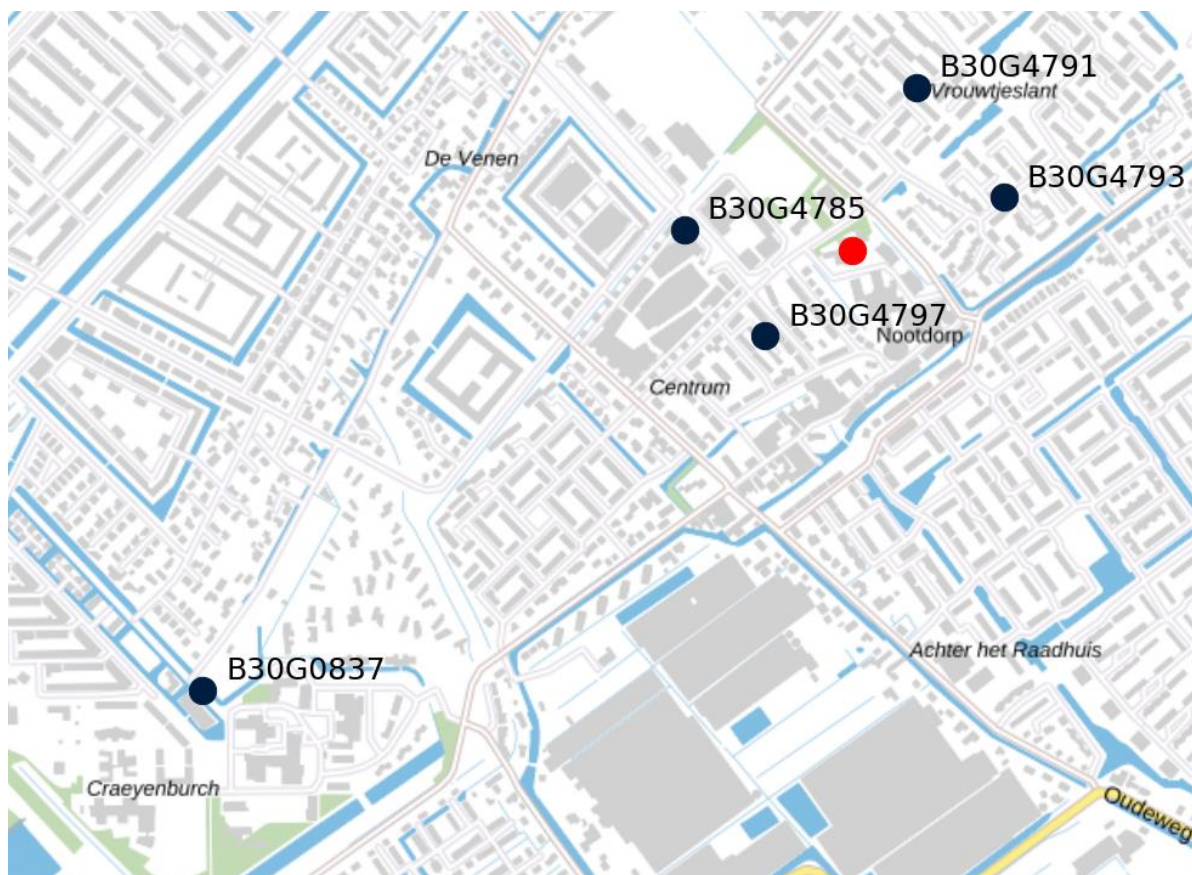
Op de projectlocatie zijn er ten tijde van het opstellen van dit rapport geen peilbuizen aanwezig. Wel is de grondwaterstand gemeten in de sondeergaten van sonderingen DKM01 en DKM03 op 21-05-2024. Deze betroffen ca. NAP –4,0 m en ca. NAP –4,1m.

Deze grondwaterstandsmeting betreft een éénmalige opname en is bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van de weersgesteldheid en de seizoenen. Bovendien betreft dit het aangetroffen grondwater in een sondeergat, wat ook onzekerheden met zich meebrengt.

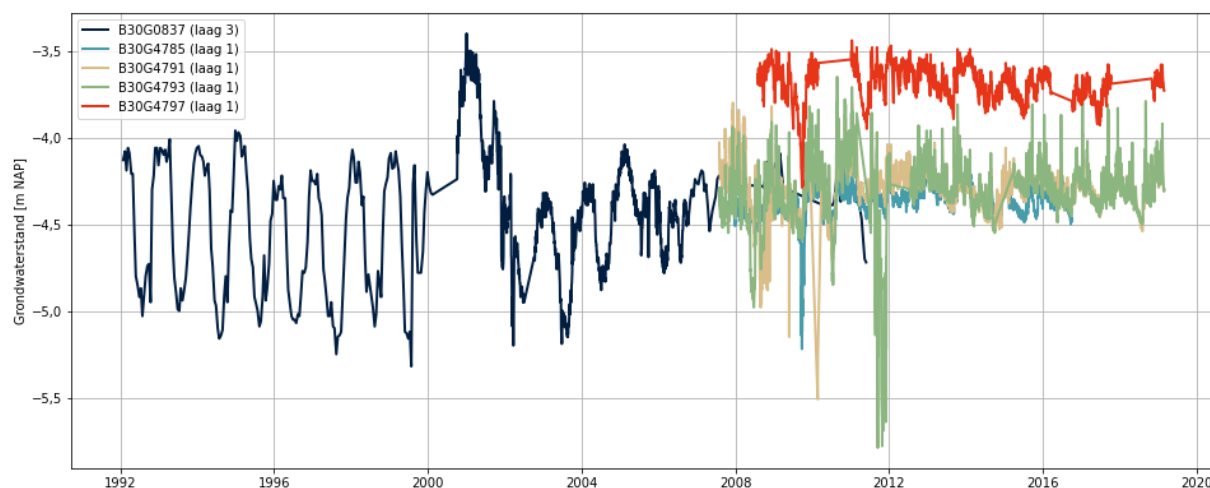
3.5.2 Peilbuizen omgeving

Om inzicht te krijgen in de (fluctuatie van de) grondwaterstand en stijghoogte in de omgeving van de projectlocatie zijn grondwaterstandsgegevens uit het DINO-loket [3] geraadpleegd. De locaties en de grondwaterstandgrafieken van de peilbuizen zijn in figuur 3.5 en Figuur 3.6 weergegeven. Er is geen peilbuis beschikbaar in de nabije omgeving die is afgesteld in het eerste watervoerend pakket (laag 3). Voor stijghoogtegegevens in deze laag is peilbuis B30G0837 is geraadpleegd, deze bevindt zich ca. 1,2 km ten zuidwesten van de projectlocatie. Voor de stijghoogte is ook de grondwaterkaart van Nederland en

isohypsen uit grondwatertools (www.grondwatertools.nl, Isohypsen, Metingen uit 2010+ LHM).



Figuur 3.5: Peilbuislocatie (rode stip) en locatie DINO peilbuizen



Figuur 3.6: Tijdreeksen DINO peilbuizen t.o.v. NAP

3.5.3 Uitgangsgroundwaterstand

Op basis van de beschikbare informatie zijn de voor de berekeningen representatieve grondwaterstanden/stijghoogten afgeleid zoals zijn weergegeven in tabel 3.2. De hoge grondwaterstand in laag 1 is gebaseerd op peilbuis B30G4797 en de lage grondwaterstand is

gebaseerd op peilbuizen B30G4785, B30G4791 en B30G4793. De stijghoogte is gebaseerd op de grondwaterkaart van Nederland en peilbuis B30G0837 op relatief grote afstand van de projectlocatie. Aangezien er geen peilbuizen op de projectlocatie zijn, wordt geadviseerd om peilbuizen te plaatsen in laag 1 en een peilbuis met het filter in laag 3. Met name in het eerste watervoerend pakket is de onzekerheid groot omdat de stijghoogte is gebaseerd op gegevens voor 2012. De grote onttrekking op het terrein van DSM in Delft is in de tussentijd verder afgebouwd, waardoor de stijghoogte mogelijk hoger is dan hier gerapporteerd. Als deze peilbuizen "slim" worden geplaatst, kunnen deze ook voor monitoring worden gebruikt tijdens de uitvoering.

Tabel 3.2: Raming grondwaterstand op projectlocatie

Laag	Hoog [ca. NAP m]	Laag [ca. NAP m]
1	-3,6	-4,4
2*	-4,0	-5,0

De in tabel 3.2 opgenomen waarden worden als uitgangsgrondwaterstand beschouwd voor de grondwaterstromingsberekeningen, maar mogen niet zonder meer worden gebruikt voor andere (ontwerp)doeleinden. De aangenomen, maatgevende waarden zijn niet tot stand gekomen met behulp van een statistische analyse.

3.6 Grond(water)kwaliteit

3.6.1 Milieukundig bodemonderzoek locatie

Bij Fugro zijn er geen gegevens van milieukundig bodemonderzoek op de projectlocatie bekend. In paragraaf 0 worden de milieukundige bodemonderzoeken in de omgeving uit openbare bronnen toegelicht.

3.6.2 Lozingsparameters grondwater locatie

De kwaliteit van het grondwater is niet bekend. Omdat de waterontvangende instantie graag voortijdig de kwaliteit van het te ontvangen water wil weten, wordt geadviseerd een grondwatermonster uit de te bemalen laag te nemen en deze in een laboratorium te laten analyseren op diverse lozingsparameters. Met deze gegevens kan tevens een (globaal) beeld worden verkregen of voorafgaand aan de lozing het water behandeld moet worden.

4. Bemalingsberekening en effecten (bouwfase)

In dit hoofdstuk worden alle, binnen de opdracht vallende berekeningen, gepresenteerd. Tevens wordt op basis van de berekeningen stilgestaan bij de effecten van de bemaling op de omgeving.

4.1 Benodigde verlagingen en te bemalen lagen

In hoofdlijnen wordt onderscheid gemaakt in het verlagen van de grondwaterstand en het eventueel moeten verlagen van de stijghoogte in dieperliggende watervoerende lagen.

4.1.1 Benodigde verlaging

Voor een droge en goed begaanbare bouwputbodem dient de grondwaterstand te worden verlaagd tot 0,5 m onder de keldervloer en tot 0,1 tot 0,3 m onder de onderzijde van eventuele andere verdiepte onderdelen (poeren, randbalken, liftput, etc).

Als de bouwputbodem wordt voorzien van een zandbed ter verbetering van de draagkracht, bijvoorbeeld voor zwaar materieel, dan dient de grondwaterstand tijdelijk verder te worden verlaagd. Hierbij wordt opgemerkt dat het verlagen van de grondwaterstand in een klei- of veenlaag moeilijk realiseerbaar is. Mede gezien de korte periode waarin deze extra verlaging noodzakelijk is, wordt voor de bemalingsberekening uitgegaan van een verlaging van de grondwaterstand tot aan de onderzijde van het zandbed.

Een overzicht van de benodigde grondwaterstandsverlaging, ten opzichte van de aangehouden hoge grondwaterstand, is opgenomen in Tabel 4.2.

4.1.2 Benodigde verlaging van stijghoogte (laag 3)

Conform de NEN 9997-1, hoofdstuk 10, dient ten opzichte van elk niveau sprake te zijn van verticale stabiliteit van de ontgraving. Door het ontgraven van de (bouw)putbodem en het verlagen van de grondwaterstand neemt de neerwaartse belasting af. Dit kan (bij onvoldoende veiligheid) leiden tot het opbarsten van de bodem of tot welvorming. Bij de stabiliteitsberekeningen dient de neerwaartse belasting van de grond te worden vermenigvuldigd met een (partiële materiaal)factor 0,9. De volumieke gewichten zijn gebaseerd op ervaring. De stabiliteitsberekening voor het diepste onderdeel (liftput bij een integrale ontgraving tot dit niveau) is weergegeven in tabel 4.1. De getallen weergegeven tussen haakjes betreft de situatie na aanleg zandbed. In de berekeningen is geen rekening gehouden met de beperkte omvang van de ontgraving, hetgeen een positief effect heeft op de verticale stabiliteit.

Tabel 4.1: Uitgangspunten stabiliteitsberekening liftput volledig verdiepte kelder

Bodemopbouw: Sondering DKM02				
Niveau [ca. NAP m]	Typering	Dikte laag [ca. m]	Volumiek gewicht γ [ca. kN/m ³]	Neerwaartse grondbelasting [ca. kN/m ²]
-6,8	Aanlegniveau liftput			
-6,8 tot -6,9	(ZANDBED)	0,1	18,0	(1,8)
-6,9	Ontgravingsniveau			
-6,9 tot -10,6	Zand	3,7	18,0	66,6
-10,6 tot -13,8	Klei	3,2	14,0	44,8
-13,8 tot -14,2	Veen	0,4	11,0	4,4
-14,2	Opbarstniveau			
TOTAAL				115,8 (117,6)
TOTAAL bij toepassing materiaalfactor 0,9:				104,2(105,8)
Maximaal toelaatbare stijghoogte (NAP m):				-3,8 (-3,6)
Verticaal stabiel bij hoge stijghoogte (NAP -4,0 m):				Ja (Ja)

Uit de verticale stabiliteitsberekeningen volgt dat er sprake is van verticale stabiliteit bij ontgraving t.b.v. de liftput, waarbij geen rekening is gehouden met de beperkte omvang van deze lokale ontgraving. Aangezien dit de diepste ontgraving betreft, is sprake van verticale stabiliteit voor alle ontgravingen. Derhalve is een spanningsbemaling in het 1^e watervoerend pakket niet benodigd voor de volledig verdiepte en half verdiepte kelder.

Wel wordt geadviseerd de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket te controleren door het plaatsen van een peilbuis. Mede omdat het niveau van de stijghoogte is gebaseerd op data op enige afstand en van ruim 10 jaar terug.

4.1.3 Overzicht verlagingen

Een overzicht van de benodigde grondwaterstands-/stijghoogteverlagingen ten opzichte van de hoge uitgangsgrondwaterstand en -stijghoogte is opgenomen in Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Benodigde verlagingen grondwaterstand en stijghoogte t.o.v. hoge waarden

Onderdeel	Grondwaterstand (laag 1)	
	Verlagen tot [ca. NAP m]	Verlaging [ca. m]
Keldervloer + poeren (halfverdiept)	-5,1	1,5
Liftput (halfverdiept)	-5,8	2,2
Keldervloer + poeren (volledig verdiept)	-6,2	2,6
Liftput (volledig verdiept)	-6,9	3,3

4.2 Berekende waterbezwaren

Het waterbezwaar is afhankelijk van de gekozen uitvoeringswijze. Per beschouwde uitvoeringswijze heb je met de volgende typen waterbezwaren te maken:

1. Uitvoering in open ontgraving: Horizontale toestroming grondwater, kwel en neerslag;
2. Uitvoering met een grond- en waterkerende damwand tot in een van nature aanwezige waterremmende laag: Eenmalig leegmalen, kwel en damwandlekage en neerslag;
3. Uitvoering met een grond- en waterkerende damwand in combinatie met onderwaterbeton: Eenmalig leegmalen, lekkage door de damwandsloten en neerslag.

4.2.1 Open ontgraving

Om inzicht te krijgen in het waterbezwaar/debiet en de grondwaterstandsverlagingen in de omgeving als gevolg van de bemaling zijn met het softwarepakket MicroFEM bemalingsberekeningen uitgevoerd. De stationair berekende waterbezwaren bij de aangehouden hoge grondwaterstand zijn opgenomen in tabel 4.3. In deze berekening is aangenomen dat de filters in boveninsteek van het talud zitten en in laag 1 (tussen keldervloer en bovenkant kleilaag) zijn afgesteld.

Tabel 4.3: Waterbezwaren open ontgraving t.o.v. hoge waarden

Onderdeel	Verlaging (laag 1)	Debiet* [ca. m³/uur]	Maatgevend debiet [ca. m³/week]	Duur [weken]	Maatgevend totaal debiet [ca. m³]
Keldervloer + poeren (halfverdiept)	1,5	20	3.360	-	-
Keldervloer + poeren (volledig verdiept)	2,6	35	5.880		
Extra debiet Liftput	0,7**	<5	840		
* Het debiet per uur is afgerond per 5 m³. ** relatieve verlaging t.o.v. verlaging t.b.v. keldervloer					

Afhankelijk van de grondwaterstand, de wijze van bemalen en de snelheid waarmee de benodigde verlaging wordt gerealiseerd kan het waterbezwaar in de instationaire beginfase van de bemaling hoger zijn.

4.2.2 Damwand tot in een van nature aanwezige waterremmende laag

De stationair berekende waterbezwaren bij de aangehouden hoge grondwaterstand zijn opgenomen in tabel 4.3. In deze berekening wordt aangenomen dat de damwand reikt tot in de waterremmende kleilaag (laag 2).

Tabel 4.4: Waterbezwaren damwandvariant t.o.v. hoge waarden

Onderdeel	Verlaging (laag 1)	Eenmalig [m3]	kwel en lekkagedebiet [m3/uur]	Maatgevend debiet [ca. m³/week] na leegmalen kuip	Duur [weken]	Maatgevend totaal debiet [ca. m³]
Keldervloer + poeren (halfverdiept)	1,5	1.200	<5	840	-	-
Keldervloer + poeren (volledig verdiept)	2,6	2.080	<5	840		
Extra debiet Liftput	0,7**	-	<5	840		

* Het debiet per uur is afgerond per 5 m³.

** relatieve verlaging t.o.v. verlaging t.b.v. keldervloer

4.2.3 damwand in combinatie met onderwaterbeton

De stationair berekende waterbezwaren bij de aangehouden hoge grondwaterstand zijn opgenomen in tabel 4.3.

Tabel 4.5: Waterbezwaren onderwaterbetonvariant t.o.v. hoge waarden

Onderdeel	Verlaging (laag 1)	waterbezwaar [ca. m ³] Eenmalig leegmalen*	Debiet [m ³] Damwandlekkage en kwel
Keldervloer + poeren + lift (halfverdiept)	2,2	4.400	<5
Keldervloer + poeren + lift (volledig verdiept)	3,3	6.600	<5

4.2.4 Algemeen

Voor al de varianten geldt dat neerslag afgevoerd moet worden. Als gevolg van neerslag kan het waterbezwaar bij maatgevende buien van ca. 10 mm/uur of ca. 30 mm/dag toenemen met respectievelijk 20 m³/uur of 60 m³/dag. Bij de dimensionering van de bemalingsinstallatie dient met dit extra waterbezwaar rekening te worden gehouden.

4.3 Vergunningsplicht/meldingsplicht onttrekking in kader Omgevingswet

De projectlocatie is gelegen in het beheersgebied van Hoogheemraadschap van Delfland. Tevens bevindt de locatie zich in een kwetsbaar gebied voor onttrekkingen. Hier geldt dat in het kader van de Omgevingswet een onttrekkingsvergunning voor een bronbemaling moet worden aangevraagd indien:

- meer dan 50 m³ grondwater per uur wordt onttrokken;
- meer dan 200.000 m³ grondwater in totaal wordt onttrokken.

De vergunningsplicht is afhankelijk van de gekozen uitvoeringswijze. Een uitvoering met damwanden tot in de van nature waterremmende laag of met een injectielaag of onderwaterbeton zal niet vergunningsplichtig zijn voor zowel de 1-laags als de half verdiepte variant.

Bij een open ontgraving met bemaling is de vergunningsplicht afhankelijk van de bemalingsduur. Indien bij een uitvoering in open ontgraving de bemalingsduur maximaal ca. 7,5 maanden (1-laags kelder) duurt is er geen sprake van vergunningplicht bij de in dit rapport gehanteerde uitgangspunten.

Voor de half verdiepte kelder mag de bemalingsduur nog langer duren (13,5 maanden). Gezien de geringere diepte zal de bemalingsduur bij deze variant korter zijn en is geen sprake van een vergunningplicht voor deze variant.

Voorts wijzen wij u erop dat het waterschap voorschriften zal verbinden aan de bemaling. Door deze voorschriften nauwkeurig op te volgen kunnen problemen tijdens en na de bemaling worden voorkomen. Tevens dient rekening te worden gehouden met een heffing, die per onttrokken m³ grondwater moet worden betaald. Voor zowel het onttrekken als het lozen van het grondwater is het in het kader van eventuele heffingen en belastingen noodzakelijk dat de hoeveelheden onttrokken grondwater worden gemeten met behulp van geijkte debietmeters en worden geregistreerd in een logboek.

4.4 Lozing van het bemalingswater

Vanuit het beleid van de overheid is de voorkeursvolgorde voor het lozen van grondwater als volgt:

1. Direct lozen in de bodem (retourbemaling);
2. Direct lozen in het oppervlaktewater;
3. Indirect lozen via het hemelwaterriool;
4. Indirect lozen via het vuilwaterriool (of gemengd stelsel);
5. Alleen wanneer een mogelijkheid niet toegepast kan worden kan de volgende mogelijkheid worden bekeken.

Gezien de bemaling zich bevindt in een stedelijk gebied en het relatief kleine debiet is ons inziens een retourbemaling niet doelmatig. Geadviseerd wordt om in overleg met het waterschap in eerste instantie de mogelijkheden voor lozing op de watergang ten noordoosten van de projectlocatie te lozen. Voor lozen op open water dient contact te worden opgenomen met het Hoogheemraadschap van Delfland.

Voor de uitvoering van de werkzaamheden waarbij een gesloten bouwkuip wordt gerealiseerd kan lozen op het riool nog een optie zijn. Met name bij de varianten

onderwaterbeton en injectielaag omdat het bemalingswater in deze situaties deeltjes kan bevatten afkomstig van het materiaal van de toegepaste onderafdichting.

Voor al de varianten geldt dat door het uitvoeren van milieukundig onderzoek vastgesteld moet worden of het grondwater geen verontreinigingen bevat die beperkingen opleveren voor lozing op open water en/of het riool.

Over het algemeen moet voor lozing doorgaans een bezinkbak (en beluchting) worden toegepast. De lozingsmogelijkheden en toestemmingen worden beoordeeld door de betreffende waterontvangende instantie. De melding voor de lozing moet bij voorkeur minimaal 4 à 8 weken voor de start via het Omgevingsloket bij de betreffende instantie worden gedaan. Bij een eventueel benodigd maatwerkvoorschrift moet namelijk rekening worden gehouden met een proceduretermijn van 8 weken.

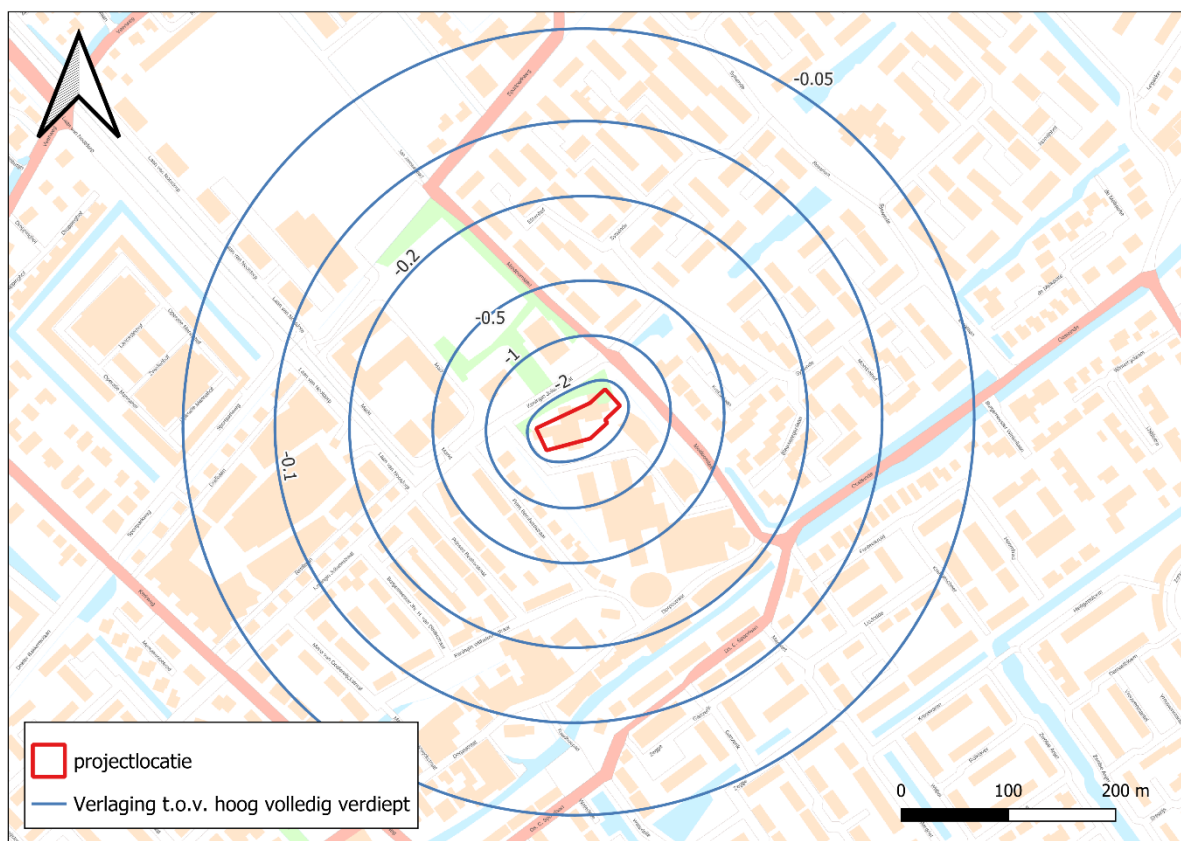
Conform de Waterschapsverordening mag het te lozen grondwater maximaal 50 mg/l onopgeloste bestanddelen bevatten. De specifieke zorgplicht schrijft voor dat het te lozen grondwater geen visuele verontreiniging tot gevolg mag hebben.

Het uitgangspunt is dat de kwaliteit van het oppervlaktewater niet verslechtert en/of verkleurt door de lozing. Voor de lozing kunnen significante kosten verschuldigd zijn aan de waterontvangende instantie. Rekening dient te worden gehouden met een verontreinigings- of zuiveringsheffing, die per te lozen 1.000 m³ grondwater moet worden betaald. Bovendien kan de waterontvangende instantie waterzuiverende maatregelen eisen als de gehalten van lozingsparameters te hoog zijn.

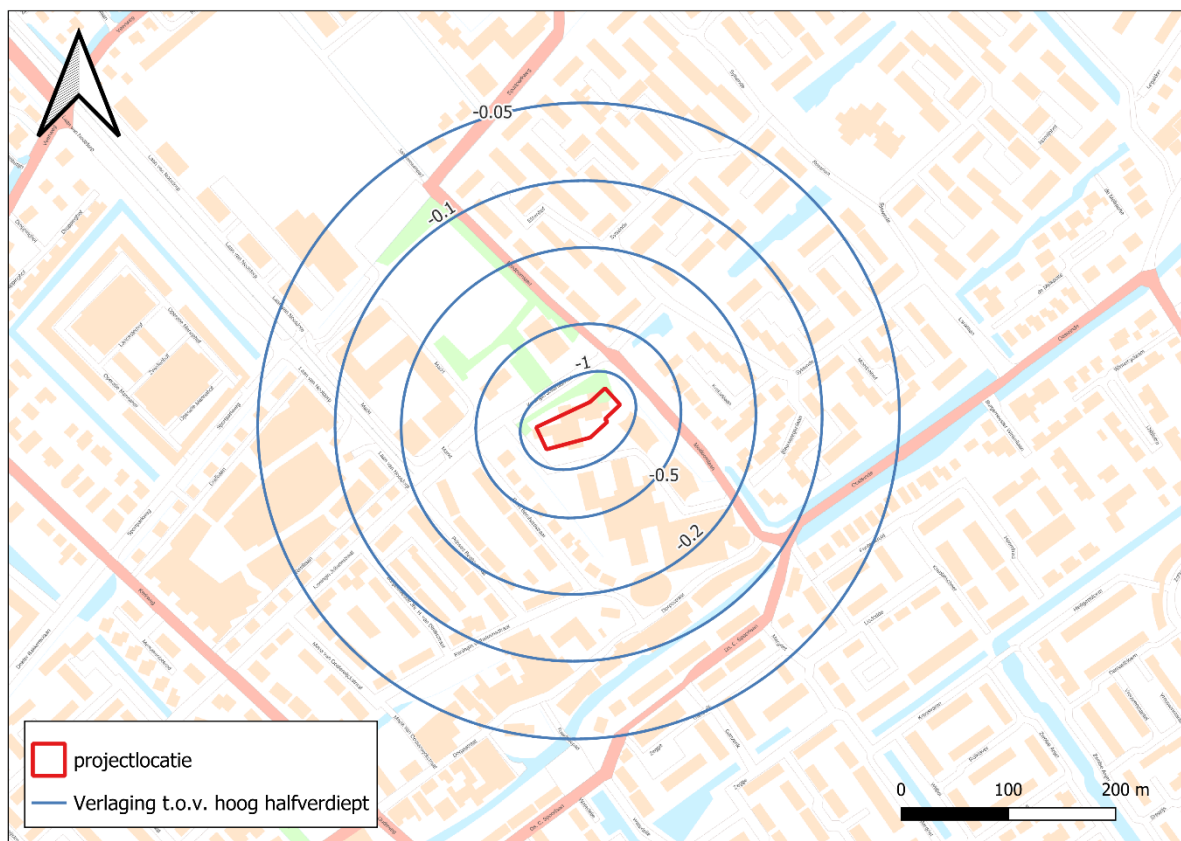
4.5 Verlagen in omgeving

De bemaling op de locatie leidt tot verlagingen van de grondwaterstand in de omgeving. De berekende stationaire verlagingen van laag 1 ten opzichte van de aangehouden hoge en lage grondwaterstand voor de halfverdiepte en volledig verdiepte kelder zijn weergegeven in figuur 4.1 t/m figuur 4.4. Het maatgevende invloedsgebied (0,05 m-verlagingslijn) bedraagt ca. 350 m. In de verlagingsberekeningen is er geen rekening gehouden met de invloed van open water, omdat er veel weerstand wordt verwacht door de sliblaag en de van nature aanwezige deklaag waar de bodem van de watergangen in liggen. In laag 3 is de stijghoogteverlaging door de bemaling verwaarloosbaar door de dikke waterremmende laag 2.

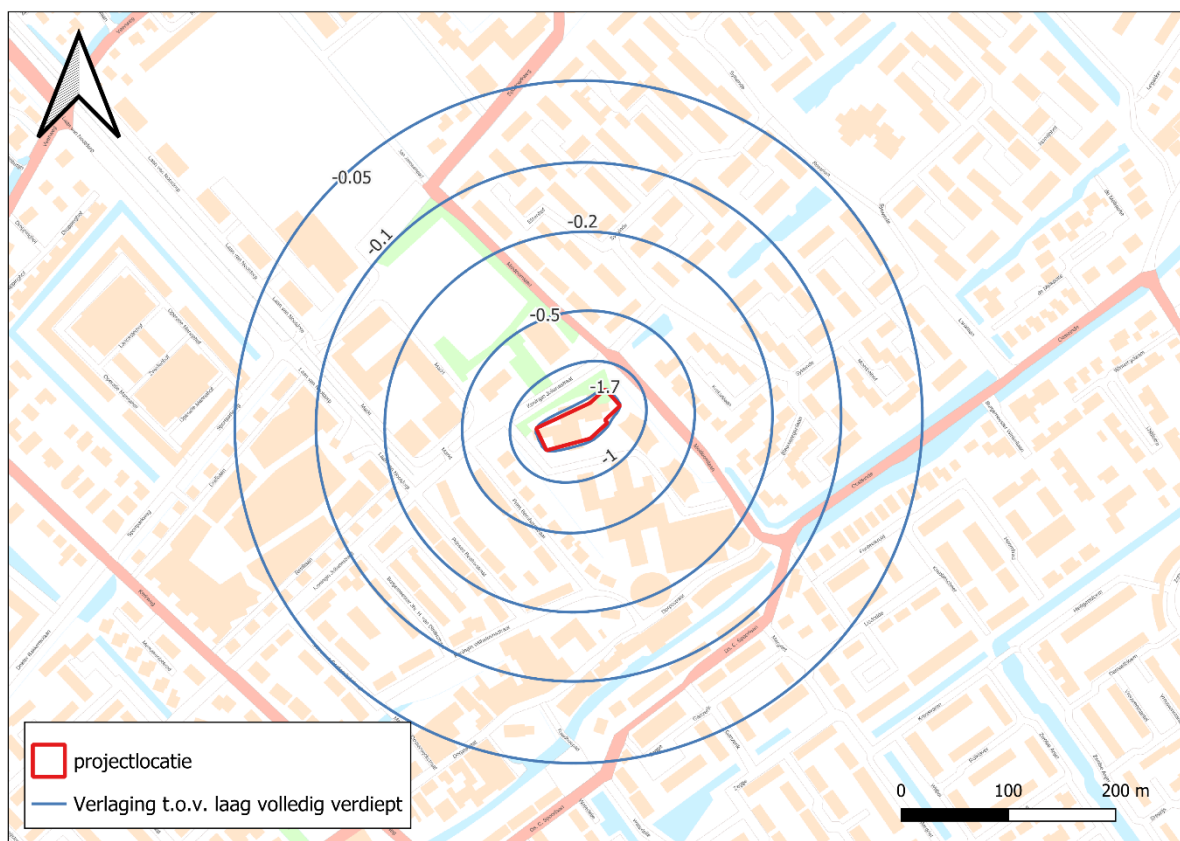
Bij de varianten met damwand tot in de van nature voorkomende waterremmende laag, met injectielaag of onderwaterbeton zullen de verlagingen in de omgeving verwaarloosbaar zijn. Hierbij is uitgegaan van goed in het slotzittende damwandplanken.



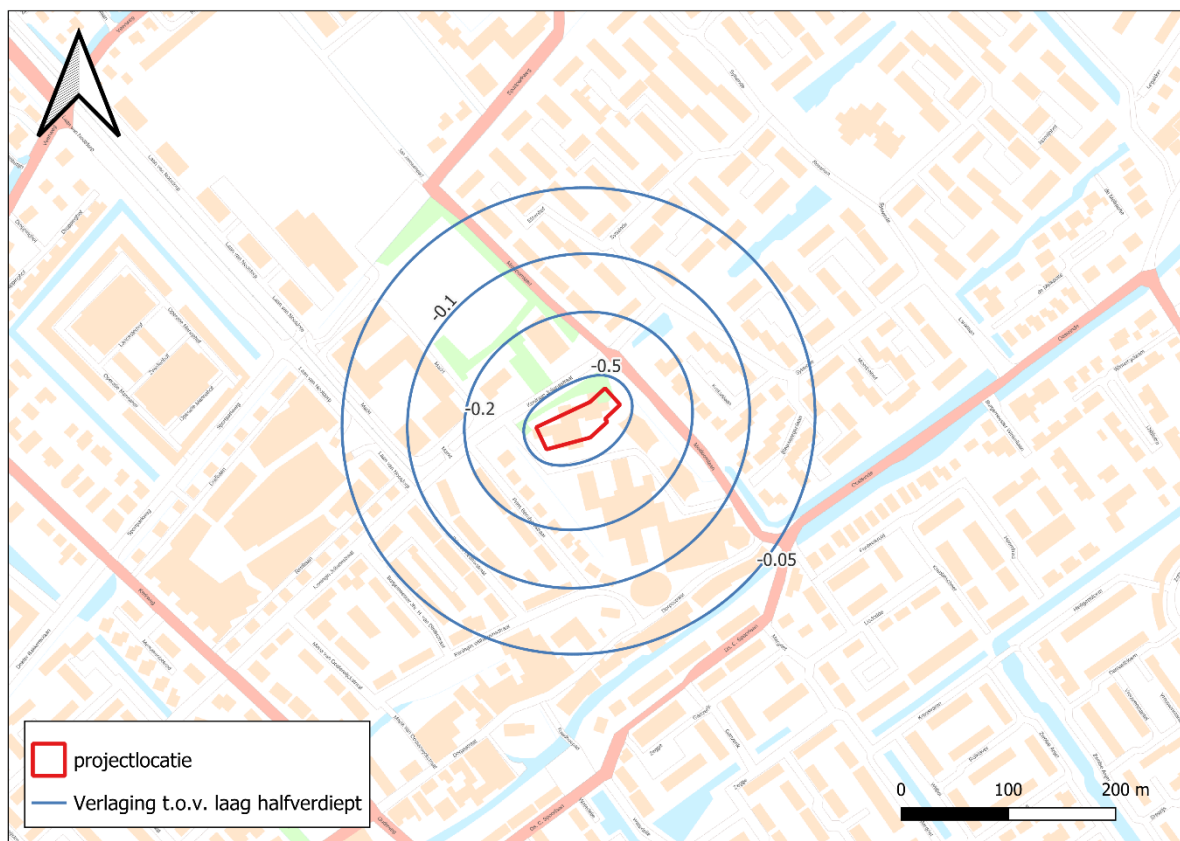
Figuur 4.1: Grondwaterstandsverlaging t.o.v. hoog bij een volledig verdiepte kelder



Figuur 4.2: Grondwaterstandsverlaging t.o.v. hoog bij een halfverdiepte kelder



Figuur 4.3: Grondwaterstandsverlaging t.o.v. laag bij een volledig verdiepte kelder



Figuur 4.4: Grondwaterstandsverlaging t.o.v. laag bij een halfverdiepte kelder

Door de invloed van de bemalingsduur, eventuele neerslag en een andere bodemopbouw buiten de projectlocatie kunnen de werkelijk optredende verlagingen anders zijn.

4.6 Omgevingsaspecten

Bij diverse bronnen (zie tabel 1.1) zijn gegevens opgevraagd omtrent omgevingsaspecten zoals (grondwater)verontreinigingen, (beschermde) natuurgebieden, archeologie, WKO bronnen en Rijksmonumenten. De relevante omgevingsaspecten binnen het (maatgevende) invloedsgebied van de bemaling zijn vastgesteld zoals weergegeven in tabel 4.6 (zie ook bijlage D.1).

Tabel 4.6: Relevante omgevingsaspecten binnen invloed gebied bemaling [ca. 350 m]

Aspect	Bron	Aanwezig	Afstand en richting
(ondergrondse) infrastructuur	KLIC-melding / Google Earth	Ja	Op en nabij locatie: altijd vooraf KLIC-melding doen!
Bebouwing / objecten op staal	BAG kaartviewer	Onbekend	30 m ten ZO
Bebouwing op houten palen	BAG kaartviewer	Onbekend	30 m ten ZO
Bebouwing op betonnen palen	BAG kaartviewer	Ja	20 m ten Z
Kelders onder gebouwen in omgeving	-	Onbekend	-
Monumentale bebouwing	Atlas leefomgeving	Ja	280 m ten Z
Grond(water)verontreiniging op locatie	-	Onbekend	-
Grondwaterverontreiniging in omgeving	Bodemloket	Nee	-
(tijdelijke) grondwateronttrekkingen/ bemalingen in omgeving	-	onbekend	
WKO-systemen in omgeving	WKO-tool Nederland	Ja	280 m ten ZW
Overige onttrekkingen (o.a. industrieel, beregening, brandblusputten e.d.)	WKO-tool Nederland	Ja	150 m ten NW
Grondwaterbeschermings-/ provinciaal milieubeschermingsgebied (PMV)	Atlas leefomgeving / Provincie / WKO-tool Nederland	Nee	-
Waterwingebied	WKO-tool Nederland	Nee	-
Boringsvrije zone	WKO-tool Nederland	Nee	-
Beschermde gebied voor grondwateronttrekkingen	WKO-tool Nederland	Nee	-
(primaire / regionale) waterkering	Legger waterschap	Ja	180 m ten ZO
Stedelijk groen zoals (monumentale) bomen, struiken, gras, tuinen	Google Earth	Ja	Rondom projectlocatie, waaronder 3 treurwilgen en 3 momnumentale lindes

Aspect	Bron	Aanwezig	Afstand en richting
Natuurgebieden (EHS / Natura2000)	Atlas leefomgeving	Nee	-
Landbouw	Google Earth	Nee	-
Archeologisch waardevol terrein (met mogelijke organische archeologische resten)	WKO-tool Nederland	Nee	-
Gebieden van aardkundige waarden	WKO-tool Nederland	Nee	-

4.6.1 Algemeen

Voor de uitvoeringsvarianten waarbij een gesloten bouwkuip wordt gerealiseerd (grond- en waterkerende damwanden tot in de van nature aanwezige waterremmende laag, met een injectielaag of met onderwaterbeton) worden als gevolg van de grondwaterstandsverlagingen geen noemenswaardige effecten verwacht. Hierbij wordt uitgegaan van goed in het slotzittende damwanden.

De berekende verlaging t.o.v. de lage grondwaterstand is hier 0,15 m (volledig verdiepte kelder) of 0,1 à 0,05 (halfverdiept). De berekende eindzetting is hier maximaal 5 mm. In de praktijk worden hier echter geen noemenswaardige zettingen verwacht.

Hierna worden de omgevingseffecten voor de varianten in open ontgraving behandeld.

4.6.2 Zettingen door bemaling (maaiveld, bebouwing en infrastructuur)

Door grondwaterstandverlagingen kunnen cohesieve grondsoorten zoals klei, leem en veen worden samengedrukt, met zettingen in de omgeving van de bouwput tot gevolg. Hierbij kan worden gedacht aan maaiveldzakkingen en zetting (en deformatie) van op staal gefundeerde panden en (ondergrondse) infrastructuur. Dit is met name het geval wanneer de grondwaterstand gedurende langere tijd wordt verlaagd tot beneden de in het verleden opgetreden lage waarde.

De dichtstbijzijnde panden (die niet op betonnen palen zijn gefundeerd) zijn de woningen aan de Prins Bernhardstraat ca. 30 m ten westen van de projectlocatie. Deze panden hebben een bouwjaar van ca. 1955. Deze panden zijn mogelijk gefundeerd op staal of op houten palen. Ten opzichte van de lage grondwaterstand is de berekende verlaging 0,9 m voor de volledig verdiepte kelder en 0,3 m voor de halfverdiepte kelder ter plaatse van de panden.

Bij de aanleg van een 1-laags kelder wordt een onderschrijding van de lage grondwaterstand berekend van 0,9 m. Bij deze verlaging worden eindzettingen berekend in de orde van grootte van ca. 40 à 60 mm. Bij een halfverdiepte kelder wordt een verlaging van 0,3 m berekend t.o.v. de lage grondwaterstand. Hieruit wordt een eindzetting berekend in de orde van grootte van ca. 10 à 20 mm. In de praktijk zullen de zettingen naar verwachting kleiner zijn door voorbelasting van eerdere bemalingen en door de (positieve) invloed van open water.

Op basis van de berekende zettingen wordt uitvoering van de 1-laags kelder in open ontgraving afgeraden.

Voor de half verdiepte kelder lijkt uitvoering in open ontgraving mogelijk, maar wordt geadviseerd meer onderzoek te doen naar de funderingswijze van de panden aan de Prins Bernardstraat (archiefonderzoek), de zettingsparameters en te voorzien in de monitoring van de grondwaterstanden (grond- en laboratoriumonderzoek, aangevuld met monitoring). Mogelijk kan door het toepassen van een retourbemaling de zettingen worden voorkomen of tot acceptabele niveaus worden gereduceerd.

Op ca. 180 ten zuidwesten van de projectlocatie bevindt zich een rijksmonument (monument nr. 30777). De maximaal berekende verlaging t.o.v. laag betreft 0,1 à 0,05 m bij een volledig verdiepte kelder. Bij een halfverdiepte kelder ligt het rijksmonument buiten het invloedsgebied.

4.6.3 Droogstand houten palen

Houten paalfunderingen zijn kwetsbaar voor verlagingen van de grondwaterstand tot onder het paalkopniveau. De paalkoppen kunnen in dat geval gaan rotten of worden aangetast door schimmels. Droogstand van de houten funderingspalen dient dan ook tot een minimum te worden beperkt. Op ca. 30 m afstand worden de meest nabij gelegen woningen aangetroffen die mogelijk op houten palen zijn gefundeerd. Op deze locatie wordt voor de 1-laags kelder een grondwaterstandsverlaging van ca. 0,9 m en voor de half verdiepte kelder een grondwaterstandsverlaging van 0,3 m.

Als gevolg van deze verlaging wordt voor de 1-laags kelder mogelijke droogstand verwacht. Geadviseerd wordt de funderingswijze en het niveau van de paalkop vast te stellen.

Voor de half verdiepte kelder wordt een verlaging berekend van 0,3 m. Als gevolg van deze verlaging kan droogstand niet geheel worden uitgesloten. Geadviseerd wordt de funderingswijze en het niveau van de paalkop vast te stellen.

Als het paalkopniveau is vastgesteld, de staat van de palen en de bemalingsduur bekend zijn kan hierover een meer nauwkeurige uitspraak worden gedaan. Mogelijk dat bij de half verdiepte kelder droogstand voorkomen kan worden door het toepassen van een retourbemaling.

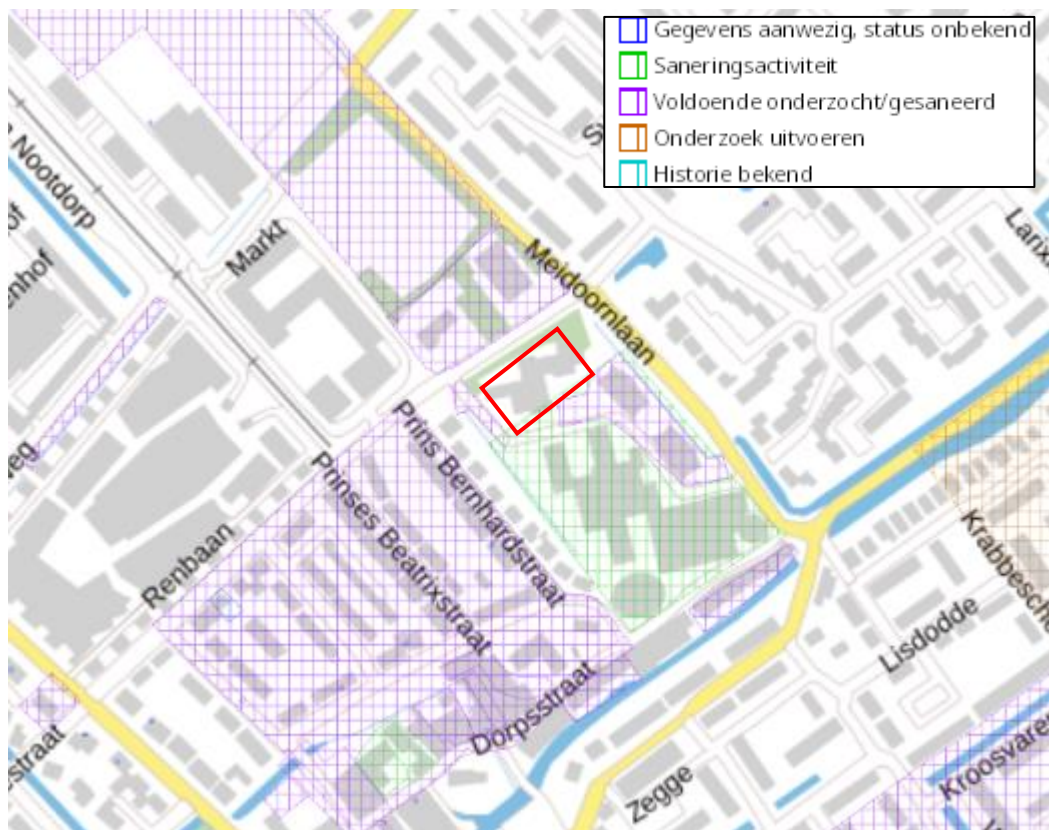
4.6.4 (Grondwater)verontreiniging

Projectlocatie

Bij Fugro zijn er geen gegevens van milieukundig bodemonderzoek op de projectlocatie bekend. Dit dient in een latere fase te worden uitgevoerd.

Omgeving

Uit gegevens van het bodemloket volgt dat er in de omgeving van de bemaling Uit het rapport volgt dat de onderzoekslocaties in de omgeving die in het invloedsgebied vallen voldoende onderzocht of gesaneerd zijn. Er wordt geen negatief effect verwacht met betrekking tot verontreinigingen op de locatie en de omgeving, ongeacht de uitvoeringsvariant.



Figuur 4.5: Omgeving projectlocatie geprojecteerd op bodemloket

4.6.5 Groen en natuur

Begroeiing kan schade ondervinden door een tekort aan vocht bij een verlaging van de grondwaterstand. Dit speelt met name in de periode van bladvorming (voorjaar) een rol. Voor het groeiseizoen wordt uitgegaan van de periode maart-oktober. Later in het jaar is begroeiing veelal beter bestand tegen (extra) vochttekort.

Er is geen Natura-2000 gebied of ander natuurgebied in het invloedsgebied van de bemaling. Wel zijn er speciale aandacht te worden besteed aan 3 waardevolle lindes en

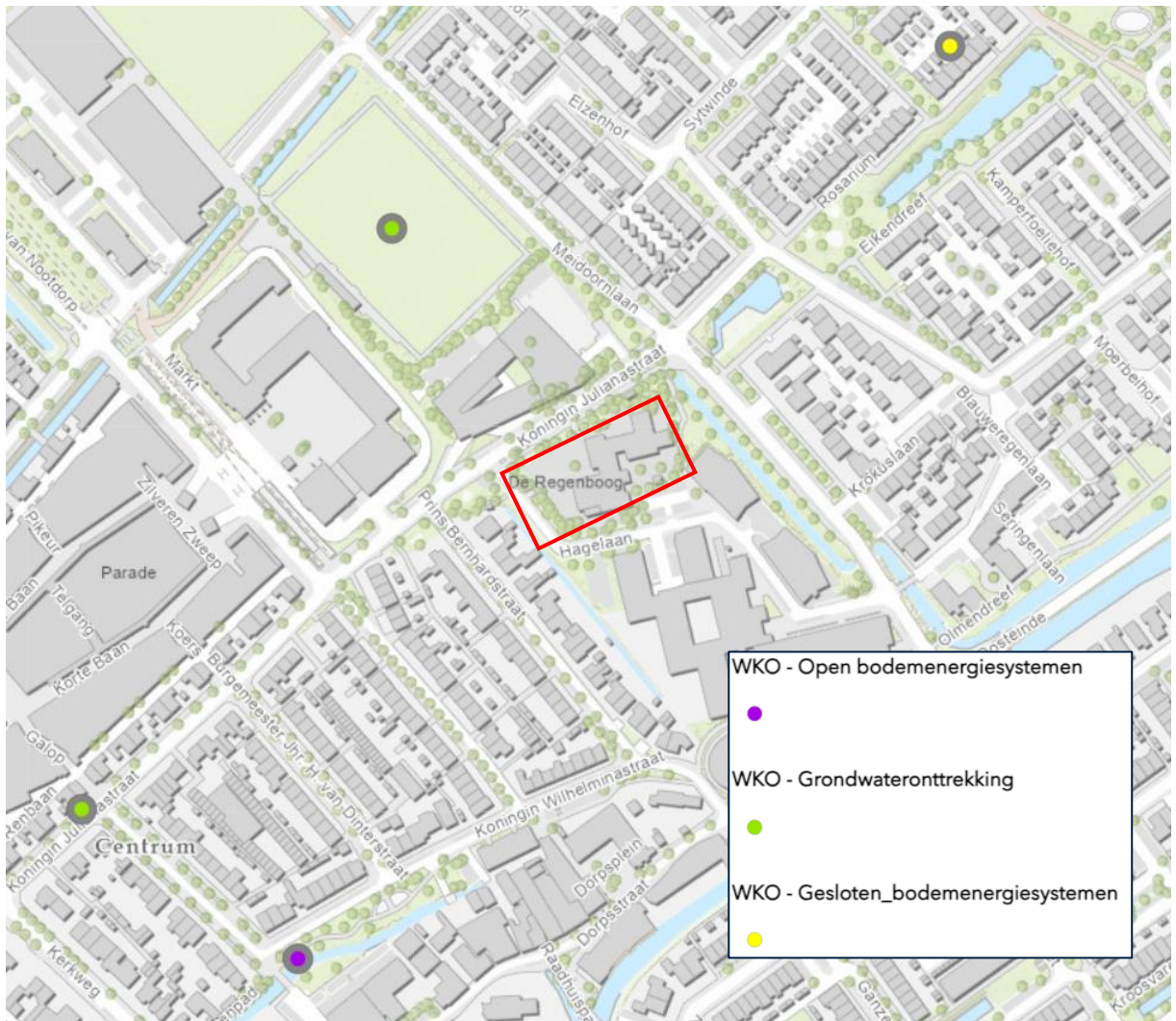
3 grote treurwilgen. De 3 treurwilgen staan aan de zijde van de Meidoornlaan tussen de toekomstige nieuwbouw en al aanwezige watergang. De lindes staan langs de Koningin Julianalaan. De afstand tussen de keldercontour en de stam van de bomen lijkt minimaal ca. 10 m te bedragen.

Voor de 1-laags kelder dient bij uitvoering in open ontgraving rekening gehouden te worden met 1,4 m verlaging. Gezien de aanzienlijke verlaging, wordt het lastig om droogteschade bij de bomen te voorkomen. Indien de 1-laags kelder binnen grond- en waterkerende damwanden wordt aangelegd wordt geen noemenswaardig effect op de grondwaterstand verwacht. Wel dient bij het aanbrengen van de damwanden rekening gehouden te worden met het wortelstelsel en de kroon. Beschadiging dient voorkomen te worden.

Bij de half verdiepte kelder worden ter plaatse van de bomen maximale verlagingen berekend van ca. 0,5 m. Indien deze bomen tekenen vertonen van droogte, kan water worden toegediend om verdroging tegen te gaan. Verwacht wordt dat met het toedienen van water, er geen negatieve effecten zullen zijn.

4.6.6 Overige onttrekkingen en WKO's

Ca. 150 m ten noordwesten van de projectlocatie bevindt zich een grondwateronttrekking (zie figuur 4.6). Deze onttrekking is gelegen op het terrein van voetbalvereniging RKDEO en is vermoedelijk bedoelt voor beregening. De maximale verlaging die hier wordt berekend (t.o.v. de hoge waarde en t.b.v. de volledig verdiepte kelder) bedraagt ca. 0,30 m. Ook is er een open bodemenergiesysteem 280 m ten zuidwesten van de projectlocatie (zie figuur 4.6). De maximaal berekende verlaging is hier 0,1 m. Gezien deze kleine verlaging en de tijdelijke aard van de bemaling worden er geen negatieve effecten verwacht op deze onttrekkingen, ongeacht de uitvoeringsvariant.



Figuur 4.6: Overige onttrekkingen en WKO's rondom de projectlocatie

4.6.7 Waterkering

Op ca. 180 m ten zuidoosten van de projectlocatie bevindt zich de beschermingszone van een regionale waterkering [8]. De berekende verlaging t.o.v. de lage grondwaterstand is hier 0,15 m (volledig verdiepte kelder) of 0,1 à 0,05 (halfverdiept). De berekende eindzetting is hier maximaal 15 mm. In de praktijk worden hier echter geen noemenswaardige zettingen verwacht en kan ons inziens worden volstaan met monitoring tijdens de uitvoering.



Figuur 4.7: Waterkering ten zuiden van de projectlocatie [8]

4.7 Samenvatting bouwfase

Op basis van het voorgaande kan worden gesteld dat voor de half verdiepte kelder:

- Uitvoering in open ontgraving haalbaar lijkt, maar aanvullend onderzoek naar zettingen (bodempopbouw, zettingsparameters, grondwaterstand en zettingsanalyse), de funderingswijze en mogelijke mitigerende maatregelen (retourbemaling) noodzakelijk is.
- Uitvoering binnen een gesloten kuip (damwanden tot in de waterremmende laag op ca. NAP -12 m, met een injectielaag of onderwaterbeton) is haalbaar. Echter lijkt deze variant voor een half verdiepte kelder economisch niet optimaal.

Op basis van het voorgaande kan worden gesteld dat voor de 1-laags kelder:

- Uitvoering in open ontgraving lijkt gezien het risico op omgevingseffecten (met name zettingen) niet haalbaar.
- Uitvoering binnen een gesloten kuip met damwanden tot in de waterremmende laag op ca. NAP -12 m is haalbaar en is de voorkeursvariant. Het toepassen van een injectielaag of onderwaterbetonvloer heeft geen meerwaarde ten opzichte van de variant met damwanden tot in de van nature voorkomende kleilaag.

4.8 Conceptueel monitoringsplan

Het monitoren van de effecten van de (bemalings)werkzaamheden op de omgeving vormt een belangrijk onderdeel van de kwaliteitsborging en risicobeheersing van het werk. Door een goede monitoring kunnen vertragingen tijdens de aanleg worden voorkomen. Tevens kunnen onvolkomenheden of het risico van overschrijding van de vergunde hoeveelheden worden gesignaleerd. Voorts kan achteraf worden beoordeeld of eventueel gemelde schades door de bemaling kunnen zijn veroorzaakt.

De wijze en frequentie van monitoren hangt sterk af van de aanwezigheid van de uitvoeringswijze, kwetsbare objecten in de omgeving en van eisen van het bevoegd gezag. Hieronder wordt per uitvoeringswijze de relevante monitoringsonderdelen

Gesloten bouwkuip (damwanden in de klei, onderwaterbeton of injectielaag)

- Het monitoren van de grondwaterstand direct naast de bemaling om de waterdichtheid van de damwanden te verifiëren;
- Visuele inspectie lozingspunt op visuele verkleuring (bij lozing op open water);
- Het functioneren van de bemalingsinstallatie en het registreren van de hoeveelheid onttrokken grondwater.

Open ontgraving bij halfverdiepte kelder

- Het monitoren van de grondwaterstand direct naast de bemaling ter controle of niet te veel verlaagd wordt;
- Monitoren van de grondwaterstand nabij de panden aan de Prins Bernhardstraat om de berekende verlagingen te verifiëren;
- Monitoring van de verlagingen nabij de 3 lindes en 3 treurwilgen en indien nodig op basis van deze metingen het toedienen van water;
- Meten van de hoogteligging van enkele (maaiveld)punten in de omgeving ter controle van eventuele zettingen;
- Visuele inspectie lozingspunt op visuele verkleuring (bij lozing op open water);
- Het functioneren van de bemalingsinstallatie en het registreren van de hoeveelheid onttrokken grondwater (elke werkdag).

Open ontgraving bij volledig verdiepte kelder

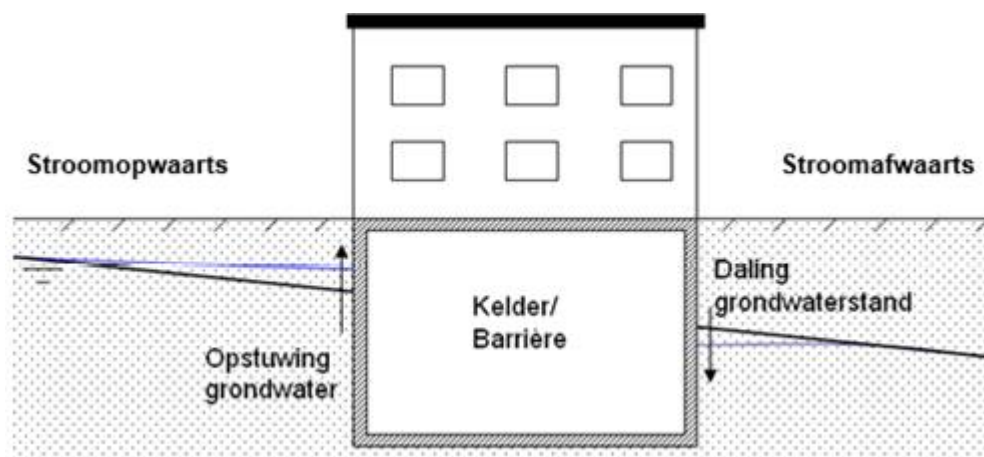
Gezien het risico op het optreden van omgevingseffecten, met name zettingen, wordt deze variant afgeraden.

Om de effecten op de omgeving in de tijd te volgen en te registreren wordt geadviseerd een definitief monitoringsplan, met toetsingscriteria en een actieplan, op te laten stellen.

5. Effecten kelder op de omgeving (permanente fase)

5.1 Definitie barrièrewerking

Barrièrewerking is het fenomeen waarbij de grondwaterstand (of stijghoogte) wordt beïnvloed door een ondergrondse waterdichte of slecht doorlatende constructie. Grondwater stroomt. Dit kan zijn op lokale schaal, waarbij regenwater infiltreert en afstroomt richting de omliggende watergangen, of op grotere schaal, waarbij regenwater na infiltratie in diepere grondlagen tientallen kilometers stroomt richting de zee. Door de aanleg van de (waterdichte) kelder, kan die stroming in een bepaalde zone worden gehinderd. Het hinderen van de grondwaterstroming leidt tot hogere grondwaterstanden aan de bovenstroomse zijde (linkerzijde figuur 5.1) en lagere grondwaterstanden aan de benedenstroomse zijde (rechterzijde figuur 5.1).



Figuur 5.1: Principe barrièrewerking

De mate waarin barrièrewerking optreedt, is afhankelijk van een viertal factoren:

1. De omvang van de barrière die gerealiseerd wordt in relatie tot de stromingsrichting van het grondwater;
2. De diepte van de barrière die gerealiseerd wordt in relatie tot de bodemgesteldheid en de mate waarin de ondergrondse bouwdelen watervoerende lagen doorsnijden;
3. De bodemgesteldheid (de verticale doorlatendheid) van de lagen onder de barrière;
4. De mate van de horizontale grondwaterstroming.

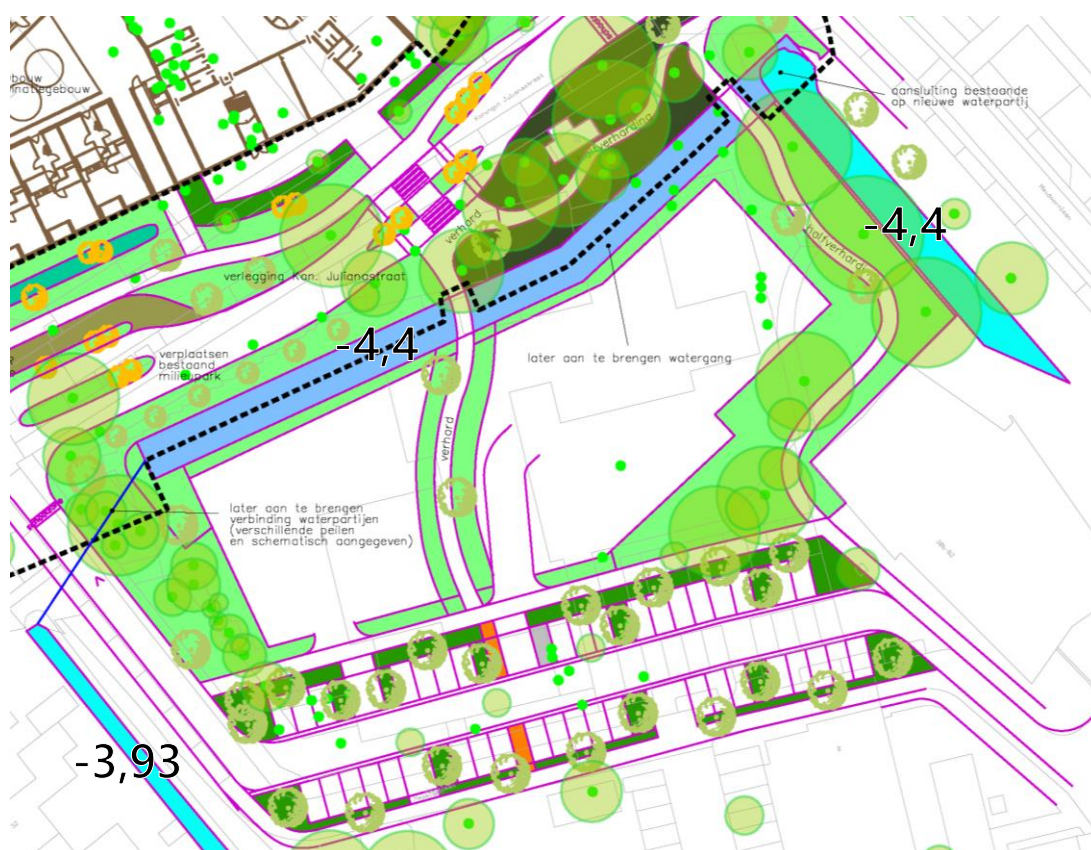
Pas wanneer alle vier de factoren ongunstig zijn, zal significante opstuwing en daling van de grondwaterstand optreden in de omgeving van de ondergrondse constructie. In de volgende paragraaf worden deze 4 factoren bekeken voor de projectlocatie.

5.2 Barrièrewerking op de projectlocatie

Grondwaterstandsverhang, stroomrichting en mate van horizontale grondwaterstroming

De open waterpeilen t.o.v. NAP rondom de projectlocatie in de permanente fase zijn weergegeven in figuur 5.2. Aan de noordzijde van de projectlocatie wordt een nieuwe watergang gegraven. Aangenomen wordt dat deze behoort tot peilgebied GPG2014PVN 18 met een vast peil van NAP -4,4 m.

Op basis van deze open waterpeilen stroomt het water dus richting het noordoosten, richting de lagere waterpeilen. Het grootste verhang betreft ca. 0,02.

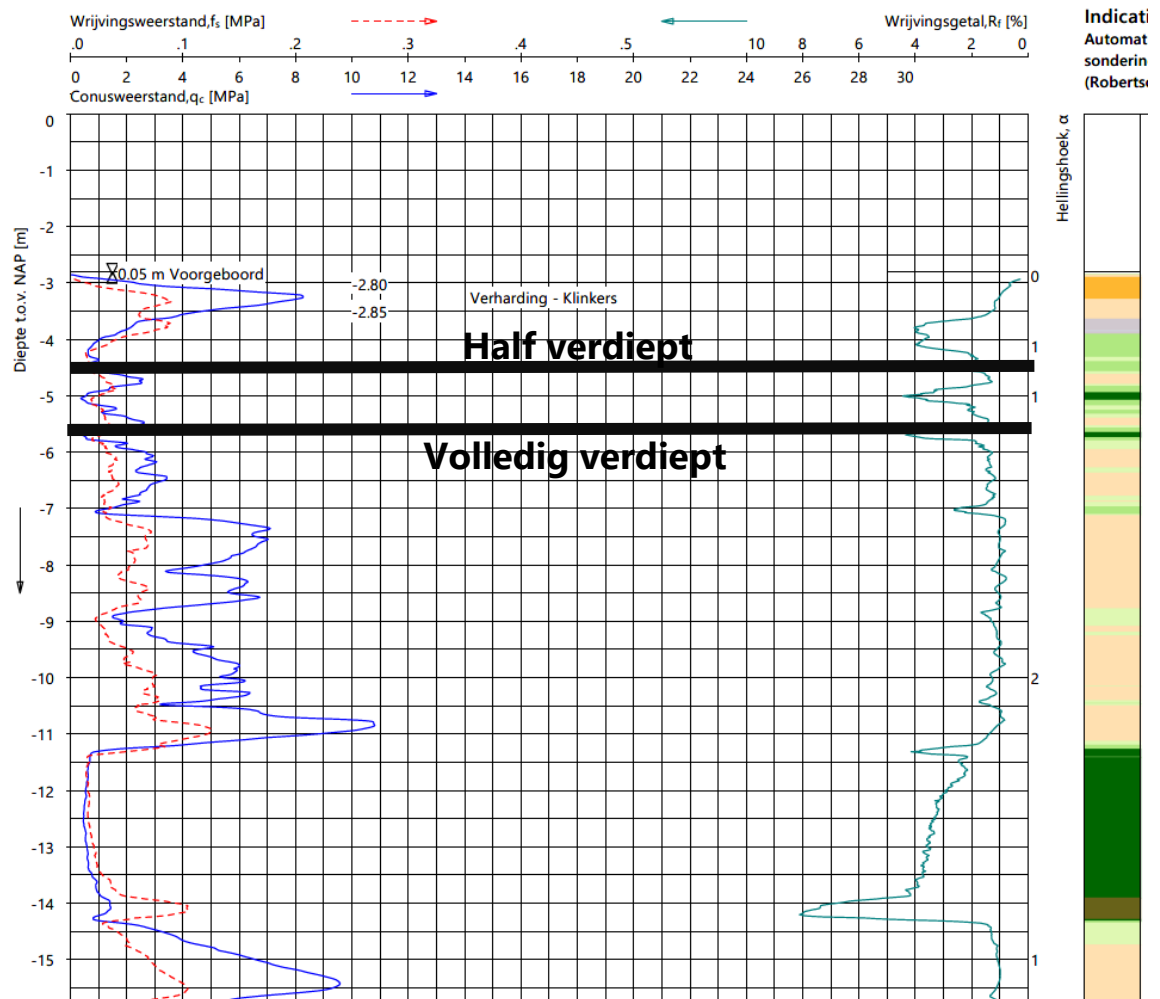


Figuur 5.2: Open waterpeilen t.o.v. NAP rondom de projectlocatie in de permanente fase

Diepte barrière en bodemgesteldheid

Uitgangspunt is dat de damwanden worden getrokken zodat enkel de kelder barrièrewerking kan veroorzaken. De diepte van de onderkant van de halfverdiepte en volledig verdiepte kelder zijn in sondering DKM01 ingetekend in figuur 5.3. Te zien is dat het topzandlaagje (maaiveld tot ca. NAP -3,6 m volledig wordt afgesloten door beide de half verdiepte en volledig verdiepte kelder. In deze laag zal dus barrièrewerking plaatsvinden. Opgemerkt wordt dat deze zandlaag niet aan de oostzijde in DKM03 en DKM04 is aangetroffen.

Tijdens de bouwfase kan met toepassing van damwanden tot in de waterremmende laag op ca. NAP -12 m enige barrierewerking optreden in de zandlaag tussen ca. NAP -6 m en ca. NAP -12 m. Enige verandering in deze laag leidt niet tot noemenswaardige effecten.



Figuur 5.3: Sondering DKM01 met onderkant halfverdiepte en volledig verdiepte kelder

Conclusie

Gezien de diepte en de ligging van de half verdiepte en 1-laags kelder, de grondwaterstromingsrichting en de bodemopbouw zal er barrierewerking optreden in de topzandlaag (zandlaag tussen maaiveld en ca. NAP -4 m, niet overal aangetroffen). De mate van opstuwing en daling van de grondwaterstand als gevolg van barrierewerking is onbekend. Op basis van een grove inschatting wordt het effect voor deze locatie geraamd op ca. 0,05-0,10 m (dit is een inschatting op basis van ervaring en is niet onderbouwd met berekeningen). Uitgaande van een huidig maaiveldniveau van ca. NAP -2,8 m en een gemiddeld hoge grondwaterstand van NAP -3,6 m neemt de ontwateringdiepte af tot ca. 0,7 m. Dit is voor een openbare ruimte/schoolplein relatief beperkt, echter was ook in de huidige/oude situatie al sprake van een relatief beperkte ontwateringdiepte. Door de impact van de aanleg van de nieuwe watergang kan de ontwateringsdiepte worden verbeterd en zal het effect van de kelder deels worden gecompenseerd. Om de effecten van barrierewerking

te minimaliseren wordt geadviseerd om rondom de kelder goed doorlatend zand aan te brengen. Dit zal het grondwater met minder weerstand rondom de kelder laten stromen richting het open water.

6. Advies en aandachtspunten bemaling

6.1 Algemeen

De geadviseerde uitvoeringswijze hangt af van de gekozen kelderdiepte (halfverdiept of volledig verdiept). Aangezien er relatief ondiep een van nature aanwezige waterremmende laag wordt aangetroffen van voldoende dikte (zie paragraaf 3.3), hebben de uitvoeringsvarianten met onder waterbeton en glasinjectie geen toegevoegde waarde.

Aangezien er geen peilbuizen op de projectlocatie zijn, wordt geadviseerd om peilbuizen te plaatsen in laag 1 en een peilbuis met het filter in laag 3. Met name in het eerste watervoerend pakket is de onzekerheid groot omdat de stijghoogte is gebaseerd op gegevens voor 2012. De grote onttrekking op het terrein van DSM in Delft is in de tussentijd verder afgebouwd, waardoor de stijghoogte mogelijk hoger is dan hier gerapporteerd. Als deze peilbuizen verstandig worden geplaatst, kunnen deze ook voor monitoring worden gebruikt tijdens de uitvoering.

Hieronder wordt inzicht gegeven in de geadviseerde uitvoeringswijze per variant, waarbij zoals hiervoor al is aangegeven uitvoering met grond- en waterkerende damwanden in combinatie met een injectie- of onderwaterbetonlaag als niet zinvol worden beschouwd.

6.2 Halfverdiepte kelder

- Aanleg binnen grond- en waterkerende damwanden tot in de van nature voorkomende kleilaag op ca. NAP -12 m is haalbaar. Echter lijkt uitvoering in open ontgraving te leiden tot beperkte omgevingseffecten, waardoor deze variant mogelijk haalbaar is.
- Om de haalbaarheid van uitvoering in open ontgraving nader vast te stellen is aanvullend onderzoek nodig naar de funderingswijze van de panden aan de Prins Bernardstraat, de bodemopbouw en zettingsparameters ter plaatse, de grondwaterstanden en het uitvoeren van een zettingsanalyse. Daarnaast dient vastgesteld te worden of mitigerende maatregelen de effecten kunnen reduceren tot acceptabele niveaus.
- De bemaling kan, mits de bemalingsduur minder dan ruim 1 jaar bedraagt, worden uitgevoerd onder een melding.
- In de gebruiksfase dient rekening gehouden te worden met barrièrewerking in de topzandlaag voorkomend vanaf maaiveld tot ca. NAP -4 m. Door de aanleg van open water zal dit deels worden gereduceerd. Maar rekening dient te worden gehouden met de aanleg van een strook goed doorlatend zand rondom de kelder.

6.3 Volledig verdiepte kelder

- Aanleg binnen grond- en waterkerende damwanden tot in de van nature voorkomende kleilaag op ca. NAP -12 m is haalbaar.
- Uitvoering in open ontgraving wordt gezien het risico op omgevingseffecten afgeraden.
- De bemaling kan, mits de bemalingsduur minder dan ruim 7 maanden bedraagt, worden uitgevoerd onder een melding.
- In de gebruiksfase dient rekening gehouden te worden met barrièrewerking in de topzandlaag voorkomend vanaf maaiveld tot ca. NAP -4 m. Door de aanleg van open water zal dit deels worden gereduceerd. Maar rekening dient te worden gehouden met de aanleg van een strook goed doorlatend zand rondom de kelder.

6.4 Vervolgtraject

Nadat een keuze is gemaakt in de diepte van de kelder en de plannen verder zijn uitgewerkt dienen de volgende werkzaamheden uitgevoerd te worden:

- Uitvoeren sondeonderzoek volgens de norm voor opstellen geotechnische adviezen (grondkering en fundering);
- Uitvoeren boringen en plaatsen peilbuizen voor de monitoring van grondwaterstanden en stijghoogte;
- Indien een half verdiepte kelder in open ontgraving wordt aangelegd dient eveneens aanvullend onderzoek uitgevoerd te worden naar de funderingswijze van de woningen aan de Prins Bernardlaan, de bodemopbouw, grondwaterstand en zettingsparameters nabij deze woningen, het uitvoeren van een zettingsanalyse en indien nodig uitwerken van mitigerende maatregelen (retourbemaling);
- Opstellen definitieve adviezen:
 - Funderingsadvies
 - Advies grondkering/open ontgraving
 - Bemalingsadvies
 - Barrièrewerking en eventuele maatregelen
 - Monitorings- en actieplan

Bijlage A

Grondonderzoek



Nieuwbouw appartementen aan de Hagelaan te Nootdorp

Rapportage geotechnisch onderzoek | Nootdorp

6424-255452 | 23-05-2024

Definitief

Gemeente Pijnacker-Nootdorp

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Nieuwbouw appartementen aan de Hagelaan te Nootdorp
Documentnaam	Rapportage geotechnisch onderzoek
Fugro-projectnr.	6424-255452
Fugro-documentnr.	6424-255452-21-R01
Versienummer	1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10, 2264 SG, Leidschendam
Telefoonnummer	+31 70 311 1422

Klantgegevens

Klant	Gemeente Pijnacker-Nootdorp
Klant adres	Postbus 1, 2640 AA, Pijnacker
Contact klant	

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	23-05-2024	Definitief	Initiële versie	LM	PJW	SVD

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
SVD	ing. S. van Dorp	Adviseur Geotechniek

Inhoudsopgave

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

Rapportageoverzicht

Projectnaam: Nieuwbouw appartementen aan de Hagelaan te Nootdorp

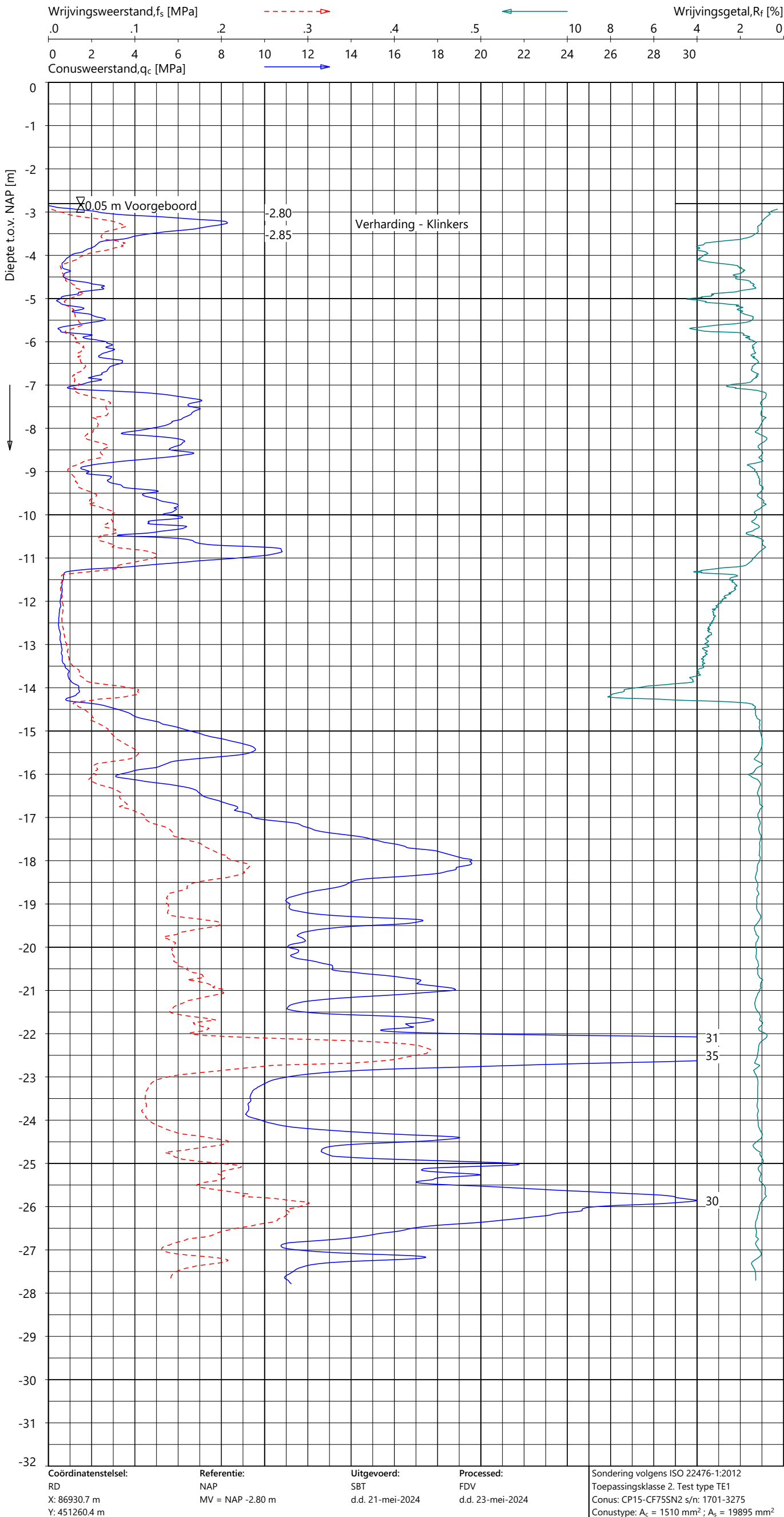
Fugro-projectnr.: 6424-255452

Naam	RD Coördinaten (m)		Hoogte (m) t.o.v. NAP	Grondwater- stand (m) t.o.v. NAP	Opmerkingen
	X	Y			
DKM01	86930.7	451260.4	-2.80	-4.00	
DKM02	86945.0	451239.1	-2.70		
DKM03	86993.5	451256.8	-2.92	-4.12	
DKM04	86990.9	451285.4	-3.09		
PUT	87000.8	451227.8	-2.81		22-05-2024

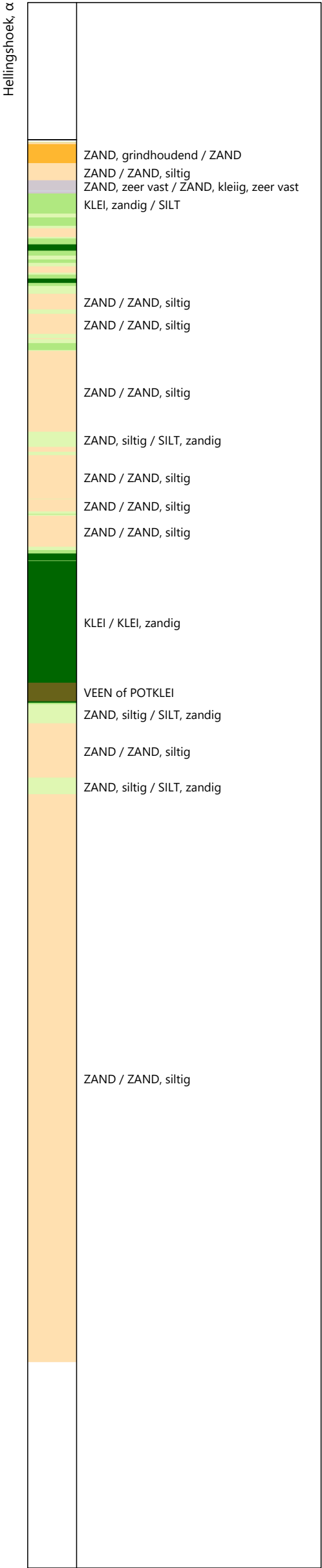


Situatie
Nieuwbouw appartementen aan de Hagelaan te Nootdorp

Opdr.: 6424-255452
Bijl.: 1



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

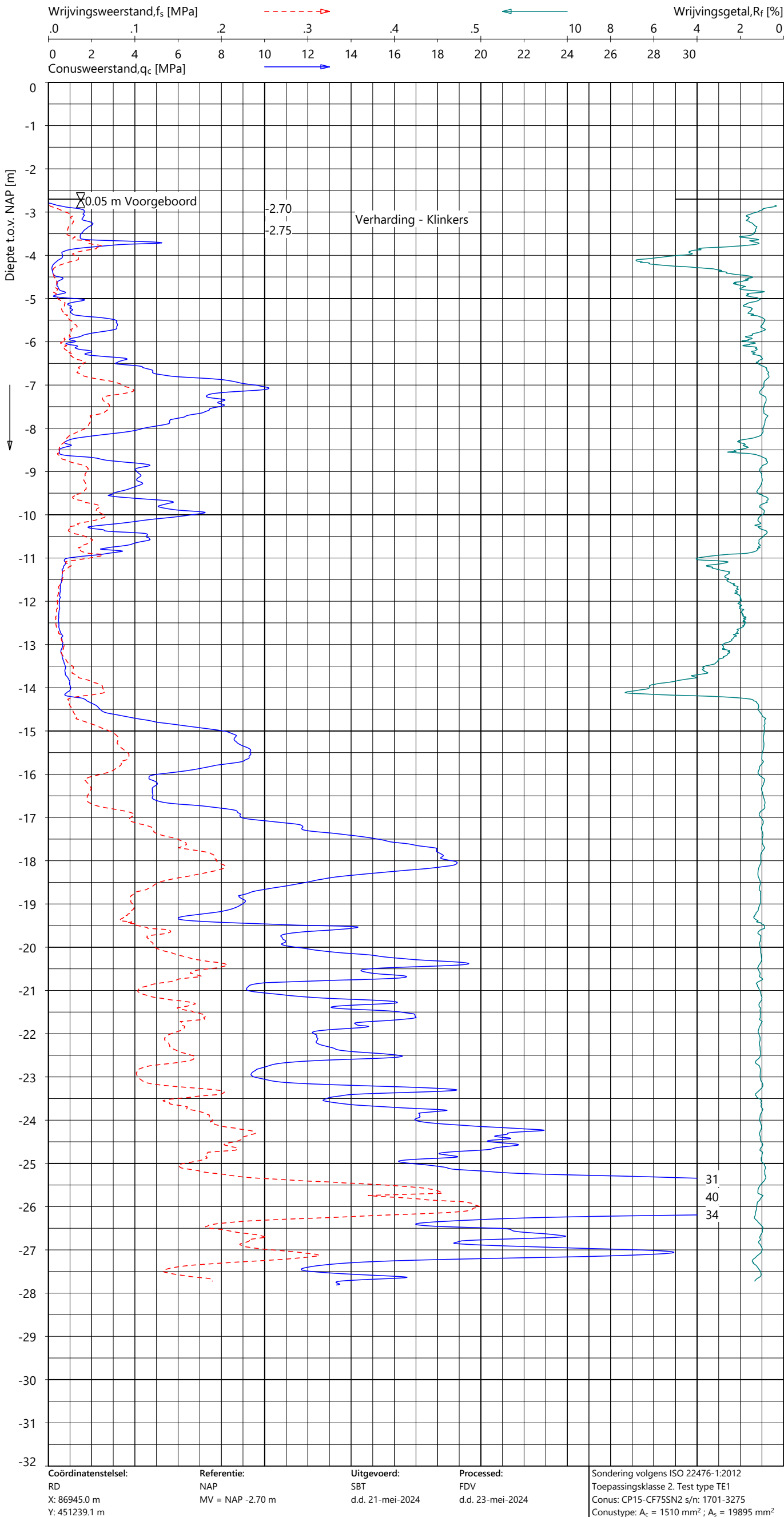


SONDERING MET PLAATSELIJK KLEEFMETING

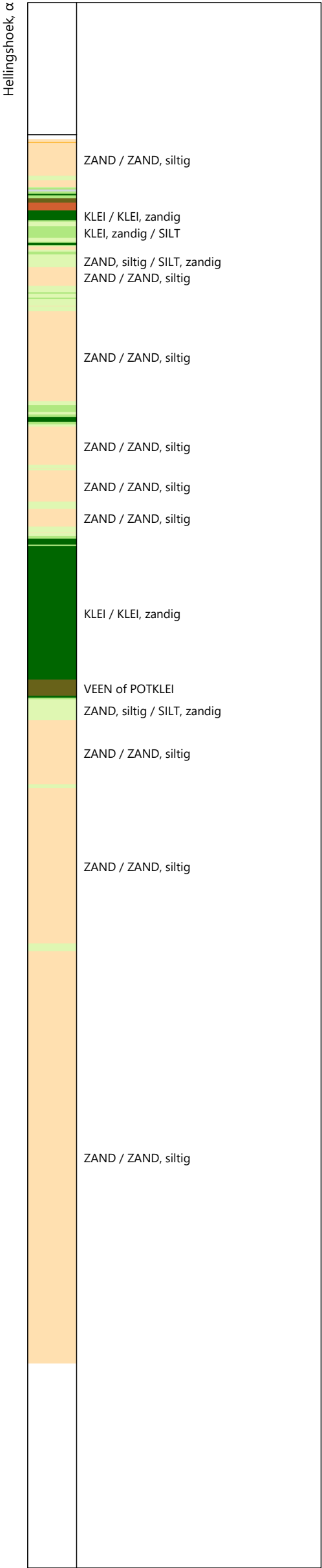
NIEUWBOUW APPARTEMENTEN AAN DE HAGELAAN TE NOOTDORP

Opdracht 6424-255452
Sondering DKM01





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

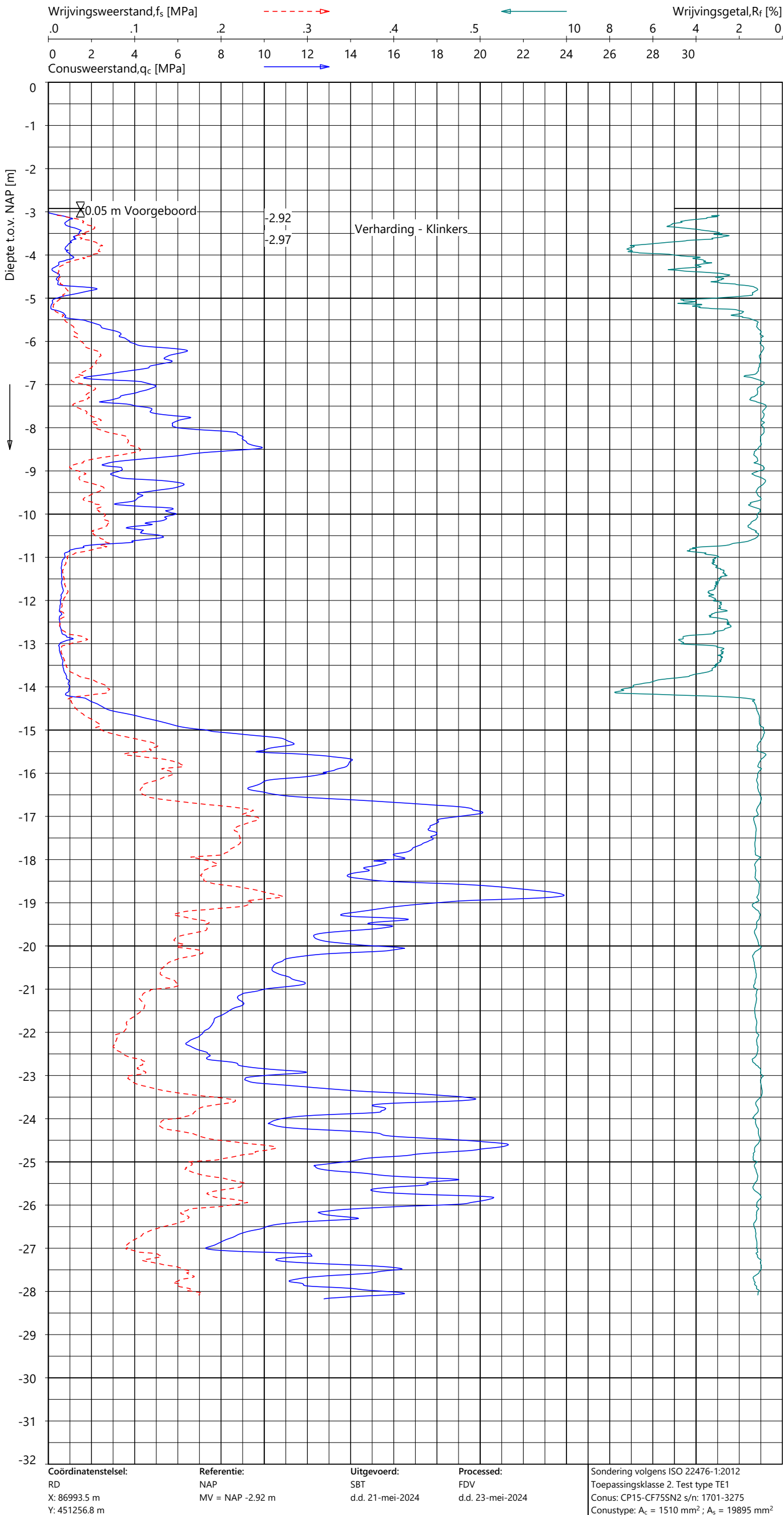


SONDERING MET PLAATSELIJK KLEEFMETING

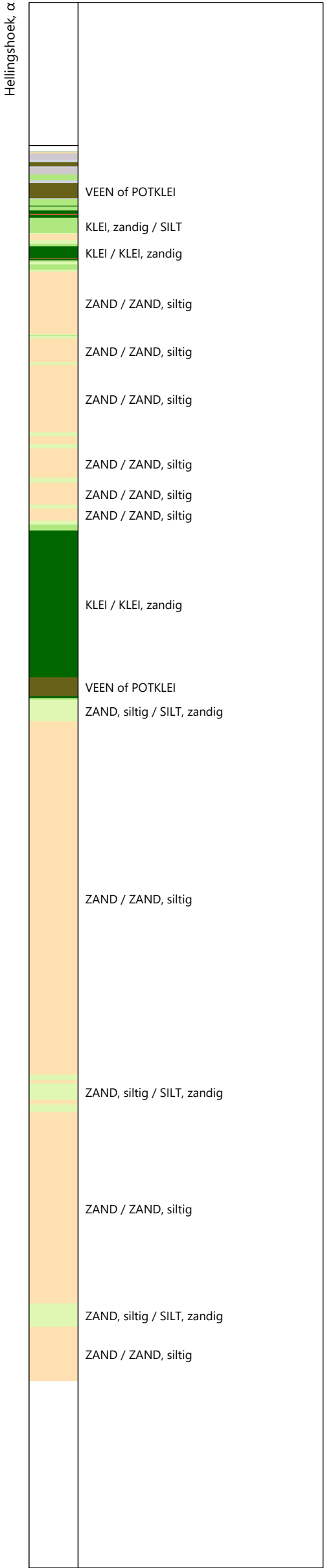
NIEUWBOUW APPARTEMENTEN AAN DE HAGELAAN TE NOOTDORP

Opdracht 6424-255452
Sondering DKM02





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

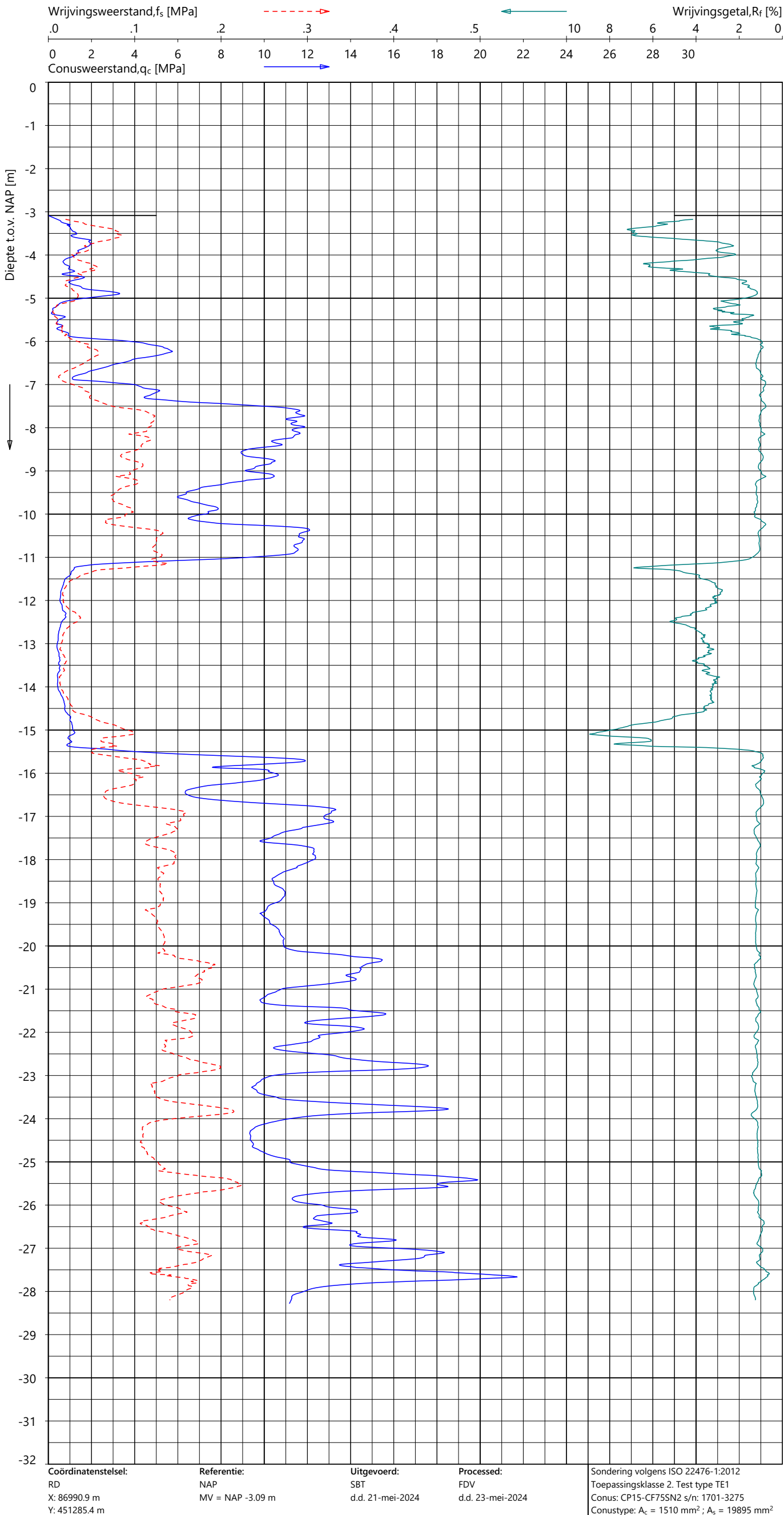


SONDERING MET PLAATSELIJK KLEEFMETING

NIEUWBOUW APPARTEMENTEN AAN DE HAGELAAN TE NOOTDORP

Opdracht 6424-255452
Sondering DKM03





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



SONDERING MET PLAATSELIJK KLEEFMETING

NIEUWBOUW APPARTEMENTEN AAN DE HAGELAAN TE NOOTDORP

Opdracht 6424-255452
Sondering DKM04



Toelichting geotechnisch onderzoek

Coördinaten en hoogte van de onderzoekspunten

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

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

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

Sonderen

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

Boren

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

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

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

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

Ongeroerde monsternamen bij het mechanisch boren kan plaatsvinden door:

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

Bij handboren worden ongeroerde monsters genomen met een Van der Horst-steekapparaat.

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

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

(Grond)waterstand

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

Kwaliteitsborging

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

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

Continu elektrisch sonderen

Meettechniek

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

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

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

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

Afwijking van de conus met de verticaal worden continu geregistreerd, waarmee bij de uitwerking de diepte wordt gecorrigeerd en zo een onjuiste 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

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

plaatselijke wrijving en de op gelijke diepte gemeten conusweerstand in procenten. Hierbij wordt rekening gehouden met laagscheidingen ter hoogte van de mantel.

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

Tabel 1: Wrijvingsgetal per grondsoort

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

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

Presentatie sondeergegevens

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

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

Genormaliseerde conusweerstand:

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

Vergelijking 1

Genormaliseerd wrijvingsgetal

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

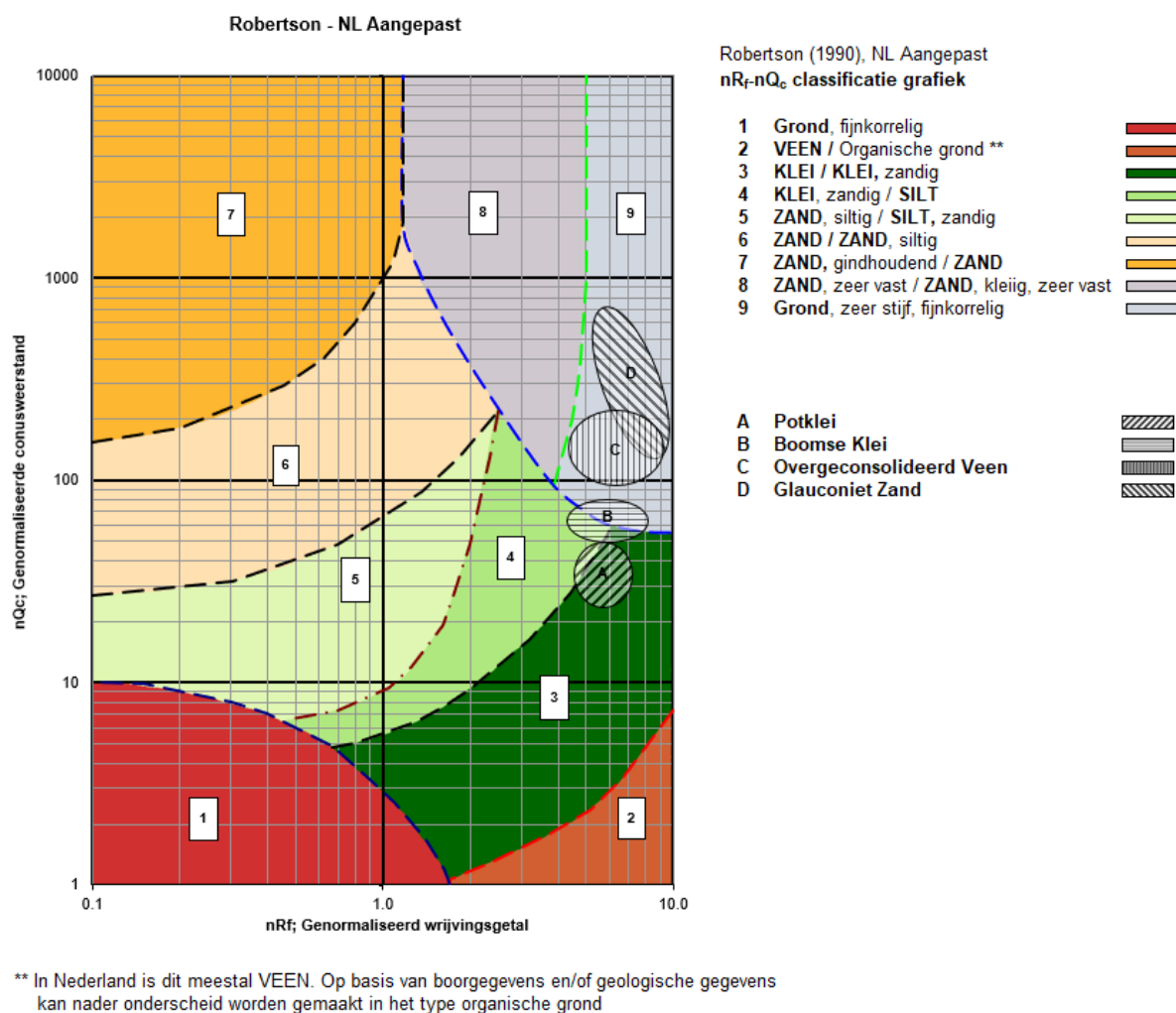
Vergelijking 2

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

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

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

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



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

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

De identificatie is indicatief en alleen geldig voor lagen onder de grondwaterstand. De resultaten dienen te worden geverifieerd met boringen of geologische informatie. Uitgedroogde cohesieve 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.

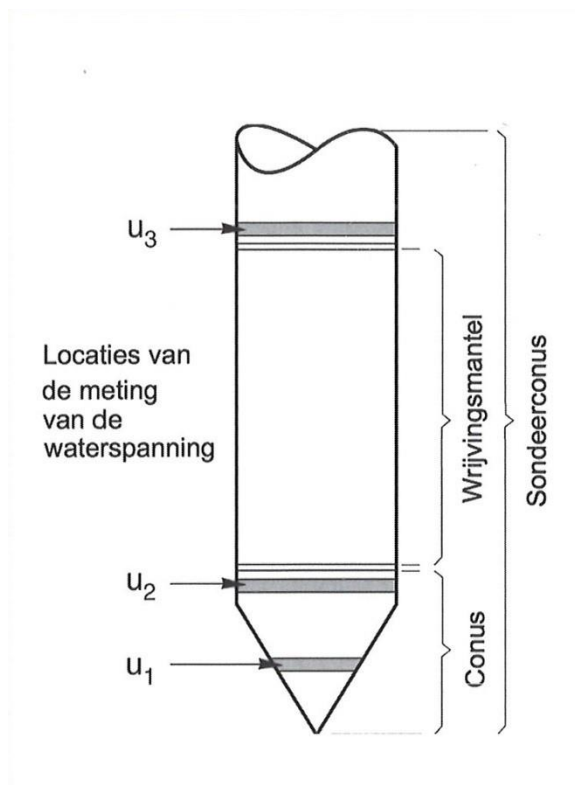
Tabel 2: Overzicht andere conustypen met toepassingsmogelijkheden

Type meting	Meetresultaten	Toepassingsmogelijkheden
Waterspanning	Waterspanning ter plaatse van de punt	■ registreren waterremmende lagen; ■ indicatie stijghoogte grondwater; ■ classificatie / gelaagdheid bodem.
Magnetometer	Magnetische veldsterkte in 3 orthogonale richtingen (X,Y,Z)	■ blindgangeronderzoek; ■ onderzoek ligging obstakels (stalen leidingen, grondankers); ■ onderzoek paalpuntniveau / schoorstand funderingspalen; ■ onderzoek ligging onderzijde stalen damwanden.
Geleidbaarheid	Elektrische geleiding grond en grondwater	■ indicatie waterkwaliteit / zoet - zout water grens; ■ onderzoek verspreiding verontreiniging.
Temperatuur	Temperatuurmeting op verschillende diepten	■ warmteoverdracht in de bodem; ■ bepaling temperatuurgradiënt.
Schuifgolfsnelheid (seismisch)	Dynamische bodemparameters op verschillende diepten	■ machinefunderingen; ■ windturbinefunderingen.
Versnelling	Versnellingen op verschillende diepten	■ heittrillingen; ■ verkeerstrillingen
MIP (Membrane Interface Probe)	Verticale verspreiding van vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen	■ bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (gechloreerde) koolwaterstoffen
ROST (Rapid Optical Screening Tool)	Verticale verspreiding van (aromatische) koolwaterstoffen	■ bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (aromatische) koolwaterstoffen
HPT (Hydraulic Profiling Tool)	Doorlatendheid	■ niet-stationaire grondwatermodellen ■ ontwerp bemalingen; ■ onderzoek infiltratiecapaciteit (DSI); ■ beoordeling pipinggevoeligheid dijken.

Waterspanningssonderingen

Naast registratie van conusweerstand en plaatselijke wrijvingsweerstand wordt bij een groot deel van de sonderingen waterspanning geregistreerd. Een waterspanningsconus (piëzo-conus) is voorzien van een ingebouwde druksensor, waarmee de waterdruk tijdens het sonderen wordt gemeten.

Een filter voorkomt het contact van grond met de druksensor. De waterdruk kan op drie locaties in de conus worden gemeten waarbij de posities u_1 en u_2 veelvuldig voorkomen (zie figuur 1). Positie u_3 wordt zelden toegepast. Slechts een kleine hoeveelheid water ($0,2 \text{ mm}^3$) is nodig om een nauwkeurige waterdruk te meten. Het meetbereik kan worden gekozen afhankelijk van de te verwachten wateroverspanning. In stijve kleien kan deze oplopen tot meer dan 3 MPa.



Figuur 1: Schematische weergave sondeerconus met meting van waterspanning

Uitvoeringswijze

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

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

Interpretatie

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

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

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

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

Wateroverspanningsindex B_q

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

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

Vergelijking 3

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

Vergelijking 4

Waarin:

- β = factor voor de verschillende grondsoorten voor omrekening van u_1 naar u_2 . Standaard wordt hiervoor aangehouden 0,8, zijnde normaal geconsolideerde kleien (zie hierna volgende tabel);
- q_{net} = $q_t - \sigma_{v0}$ = netto conusweerstand
- q_t = $q_c + (1 - a) \cdot \{\beta(u_1 - u_o) + u_o\}$ voor een filter in de conuspunt
- = $q_c + (1 - a) \cdot u_2$ voor een filter direct achter de conuspunt
- σ_{v0} = de verticale grondspanning; standaard wordt hierbij uitgegaan van een gemiddeld volumiek gewicht van de bodemlagen van 14 kN/m³ en een grondwaterstand op 1 m beneden maaiveld;
- a = netto oppervlakteverhoudingscoëfficiënt van de conus i.v.m. de spleet achter de conuspunt;
- u_1 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing in de punt;
- u_2 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing achter de punt;
- u_o = de hydrostatische stijghoogte; standaard wordt hiervoor in de berekening een niveau uitgegaan van 1 m beneden maaiveld.

Voor andere grondsoorten zijn de β -factoren in tabel 3 gegeven.

Tabel 3: β -factor per grondsoort

Grondgedrag	β -factor
Normaal geconsolideerde klei	0,6 – 0,8
Licht overgeconsolideerde klei	0,5 – 0,7
Sterk overgeconsolideerde klei	0,0* – 0,3
Silt, samendrukbaar	0,5 – 0,6
Silt, vast en dilatant gedrag	0,0* – 0,2
Zand, siltig, los gepakt	0,2 – 0,4
Opmerking: * = Bij meting van de waterspanning achter de conuspunt worden in bepaalde gevallen negatieve waterspanningen gemeten. Deze waarden geven nauwelijks een indicatie van de doorlatendheid, doch alleen over het materiaalgedrag.	

Dissipatietest

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

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

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

Klassenindeling EN-ISO 22476-1

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

Door invoering van de Eurocode is op Europees niveau de internationale sondeernorm *EN-ISO 22476-1 'Electrical cone and piezocone testing'* ontwikkeld. In de norm *EN-ISO 22476-1* is de nauwkeurigheid van de meetresultaten gekoppeld aan het toepassingsgebied met bijbehorend bodemkenmerken / geschiktheid voor interpretatie en afleiding van bodemparameters. Verder is de meting van de waterspanning genormeerd. In de Europese tabel van sondeerclassen worden de sondeerclassen ingedeeld naar de toepassing van de sondering, zie tabel 4.

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

Toepassing-klasse	Test type	Gemeten parameter	Toegestane minimum nauwkeurigheid ^a	Maximum lengte tussen metingen	Gebruik	
					Grondsoort	Interpretatie
1	TE2	■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Waterspanning ■ Helling ■ Sondeerlengte	35 kPa of 5 % 5 kPa of 10 % 10kPa of 2 % 2° 0,1 m of 1%	20 mm	A	G,H
2	TE1 TE2	■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Waterspanning ■ Helling ■ Sondeerlengte	100 kPa of 5 % 15 kPa of 15 % 25 kPa of 3 % 2° 0,1 m of 1 %	20 mm	A B C D	G, H* G, H G, H G, H
3	TE1 TE2	■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Waterspanning ^d ■ Helling ■ Sondeerlengte	200 kPa of 5 % 25 kPa of 15 % 50 kPa of 5 % 5° 0,2 m of 2 %	50 mm	A B C D	G G, H* G, H G, H
4	TE1	■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Sondeerlengte	500 kPa of 5 % 50 kPa of 20 % 0,2 m of 1 %	50 mm	A B C D	G* G* G* G*

Opmerking:

Uiterst slappe gronden maken soms nog hogere nauwkeurigheden noodzakelijk.

- a De toegestane minimum nauwkeurigheid van de gemeten parameters is de grootste van de twee genoemde. De relatieve nauwkeurigheid geldt voor de gemeten waarde en niet voor het meetbereik.
- b Volgens ISO 14688-2:
- A homogene gronden bestaande uit zeer slappe tot stijve kleien (en silt) (typische gronden met $q_c < 3$ MPa);
 - B gemengde bodemprofielen met slappe tot stijve kleien ($q_c \leq 3$ MPa) en matig vaste tot vaste zanden (conusweerstand 5 MPa $\cdot$ $q_c < 10$ MPa);
 - C gemengde bodemprofielen met stijve kleien (conusweerstand 1,5 MPa $\cdot$ $q_c < 3$ MPa) en zeer dichte zanden ($q_c > 20$ MPa);
 - D zeer stijve tot harde kleien ($q_c \geq 3$ MPa) en zeer vaste grove gronden ($q_c \geq 20$ MPa).
- c G Vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een laag niveau van onzekerheid.
 G* Indicatieve vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een hoog niveau van onzekerheid.
 H Interpretatie met betrekking tot ontwerp met een laag niveau van onzekerheid.
 H* Interpretatie met betrekking tot ontwerp met een hoog niveau van onzekerheid.
- d Waterspanning kan alleen worden gemeten als TE2 wordt toegepast.

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

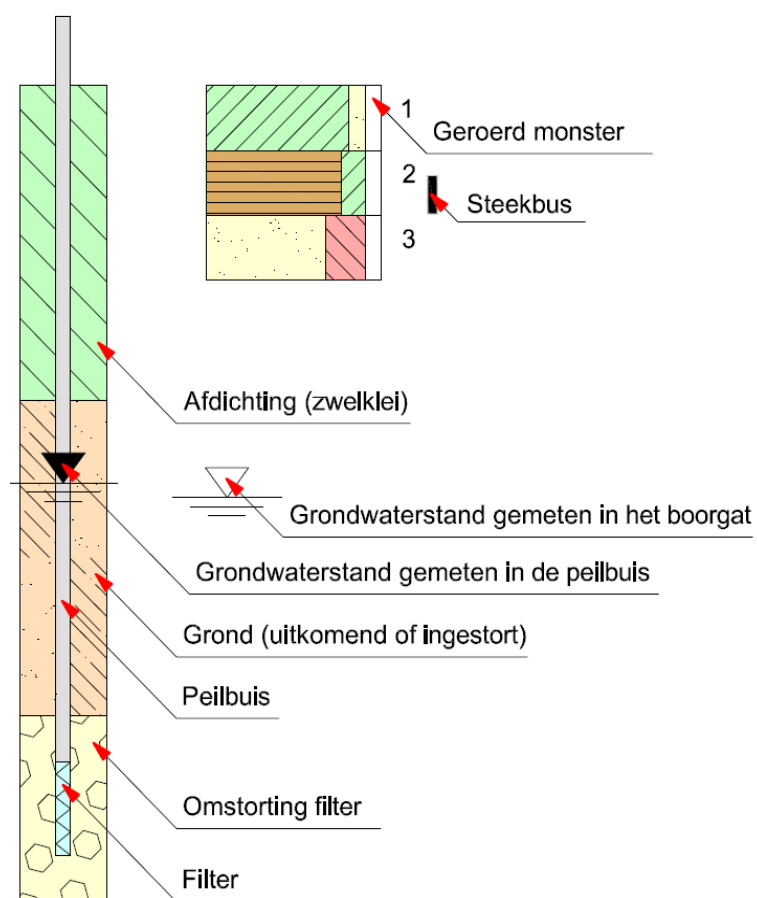
Voor sondering in toepassingklasse 1 worden speciale gevoelige conussen met een beperkt meetbereik toegepast. De enige praktische indicatie over de bereikte sondeerklasse is controle van recente kalibraties en 0-puntsverlopen tussen het begin en eind van de sondering.

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

Legenda terreinproeven

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

Peilbuis





—