



MATERS EN DE KONING
INGENIEURS EN ADVISEURS

Fietsonderdoorgang IABC-Leursebaan

Breda

Bemalingsadvies

Projectnummer:	20009
Kenmerk:	BER-007
Versie:	2.0
Datum:	04-05-2021
Fase:	Definitief Ontwerp
Status:	Definitief
Opsteller:	

Adviseur

Ingenieursbureau Maters en De Koning B.V.

Multatulilaan 8

4707 LZ Roosendaal

tel.: +31 (0)165 524 524

email: info@matersendekoning.nl

Hoofdweg 64

3067 GH Rotterdam

tel.: +31 (0)10 258 18 20

www.matersendekoning.nl

Opdrachtgever

Gemeente Breda – Directie Ruimtelijk en Economisch Domein

Afdeling Stadsingenieurs Breda

Claudius Prinsenlaan 10

4811 DJ BREDA

Document verantwoording

Opsteller	Paraaf	Controleur	paraaf	Projectleider	Paraaf

Document historie

Versie	Status	Datum	Omschrijving	Auteur	Controle
1.0	Definitief	31-03-2021	Definitieve versie	GHL	VD
2.0	Definitief	30-04-2021	2 ^e Definitieve versie (met fasering bemaling)	GHL	VD

Inhoudsopgave

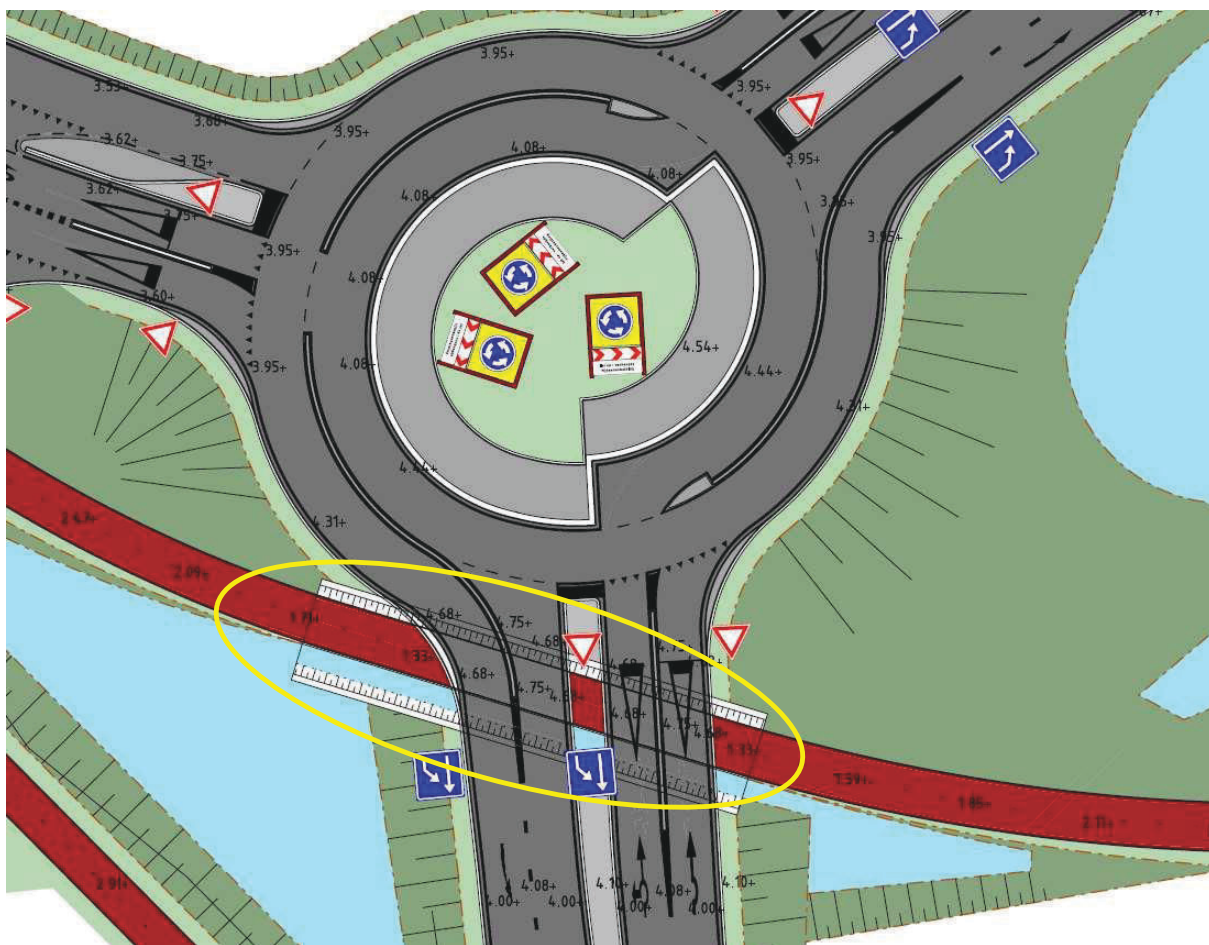
1. ALGEMEEN	4
1.1. PROJECTOMSCHRIJVING	4
1.2. DOEL VAN DIT DOCUMENT	4
1.3. REFERENTIEDOCUMENTEN	5
2. UITGANGSPUNTEN	6
2.1. NORMEN	6
2.2. GEBRUIKTE SOFTWARE	6
2.3. OMGEVINGSRANDVOORWAARDEN	6
2.4. CONSTRUCTIE TUNNELBAK EN TOERITTEN	7
2.5. FASERING	7
2.6. OPBARSTEN BOUWPUT	7
3. BEMALINGSADVIES	8
3.1. UITGANGSPUNTEN DEBIETBEREKENING	8
3.2. DEBIETBEREKENING	9
3.3. VOORSTEL UITVOERINGSMETHODE BEMALING	11
3.4. INVLOED OP DE OMGEVING	11
3.5. STUWING GRONDWATER TER PLAATSE VAN DAMWAND	11
4. CONCLUSIES	12
BIJLAGE A GRONDONDERZOEK	13
BIJLAGE B GRONDWATERSTANDEN	14
BIJLAGE C DEBIETBEREKENING	15

1. Algemeen

1.1. Projectomschrijving

De gemeente Breda is voornemens om een turborotonde op het kruispunt IABC – Leursebaan te realiseren. Hiermee wordt het bestaande voorrangskruispunt vervangen. Tegelijkertijd met de realisatie van de turborotonde wordt een ongelijkvloerse passage voor de fietsers gerealiseerd.

Het schetsontwerp van deze nieuwe rotonde en de locatie van de fietsonderdoorgang (*geel omcirkeld*) is in onderstaande figuur gegeven.



Figuur 1-1: Overzicht nieuwe rotonde met de locatie van de fietstunnel

1.2. Doel van dit document

Doel van dit document is het presenteren van een bemalingsadvies voor de aanleg van de fietstunnel. Hierin wordt de debietberekening voor de bemaling en de invloed van de bemaling op de omgeving beschreven.

1.3. Referentiedocumenten

Voor eigen stukken Maters en De Koning, zie documentenlijst.

Ref.	Naam	Omschrijving	Opsteller	Versie	Datum
[R1]	1320-165830	Rapportage geotechnisch onderzoek	Fugro	1	21-04-2020

2. Uitgangspunten

In dit hoofdstuk worden de algemene uitgangspunten voor de bemalingsberekeningen weergegeven.

2.1. Normen en Richtlijnen

Het constructief ontwerp moet voldoen aan het Bouwbesluit 2012. De volgende Eurocodes zijn van toepassing:

Ref.	Norm	Publicatie		Omschrijving
		Norm	NB	
[N1]	NEN-EN 1997			Geotechnisch ontwerp
[N2]	NEN-EN 1997-1+C1+A1 + NB	2016	2018	Algemene regels
[N3]	NEN-EN 1997-2 + NB	2007	2011	Grondonderzoek en beproeving
[N4]	CROW-CUR Handboek 4	2020		Bemaling van bouwputten en sleuven

2.2. Gebruikte software

Office Word / Excel

2.3. Omgevingsrandvoorwaarden

2.3.1 Bodem opbouw en grondparameters

Door Fugro zijn op 20-4-2020 zeven sonderingen uitgevoerd langs het tracé van de fietstunnel. De sonderingen tonen vanaf maaiveld en doorgaand matig vast zandpakket tot ca NAP-12 m. Tussen NAP-12 m en NAP-15 m is een leemlaag met plaatselijke veeninsluitingen aangetroffen. Onder de leem laag is tot de maximaal verkende diepte een vast zandpakket aangetoond. De sonderingen zijn weergegeven in bijlage A.

Tabel 2-1: Grondopbouw (representatieve grondparameters)

Laag	Bovenzijde [m t.o.v. NAP]	Grondsoort	γ_{droog} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]
1	2,18	Zand	18	20
2	-12,0	Leem/klei	19	19
3	-15,0	Zand	18	20

2.3.2 Hydraulische randvoorwaarden

De grondwaterstanden ter plaatse van de projectlocatie zijn met twee peilbuizen gemeten van mei 2018 tot januari 2020. Het verloop van de grondwaterstanden is in de beide peilbuizen vrijwel identiek. De GHG is vastgesteld op NAP+2,0 m en de GLG op NAP+1,0 m. De grafieken met grondwaterstanden zijn weergegeven in bijlage B.

2.4. Constructie tunnelbak en toeritten

De tunnelbak en de toeritten worden op staal gefundeerd. Om de ontgraving te realiseren in de beperkte ruimte worden damwanden aangebracht. Een bovenaanzicht van de bouwput met damwanden is gegeven in de onderstaande afbeelding.

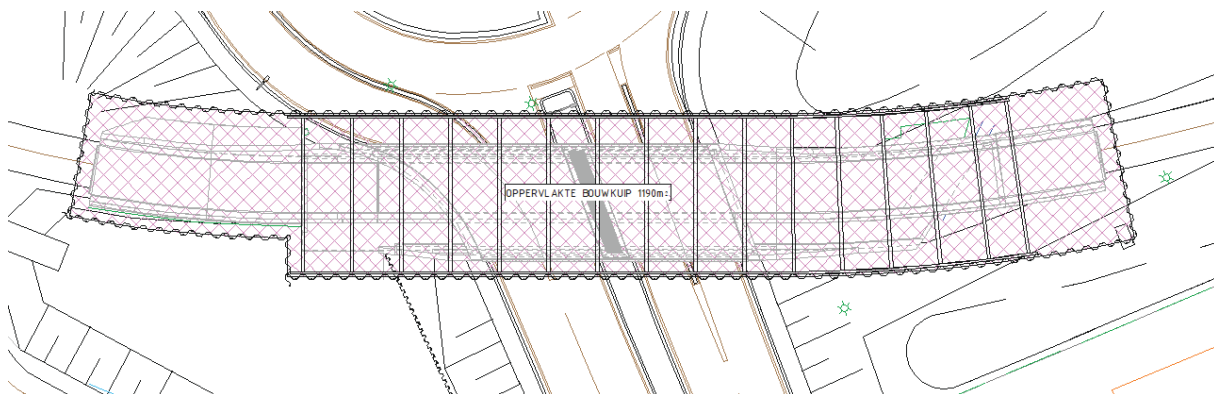


Fig:2.1: Uitsnede uit tekening Mdek2009-TEK-104_DO

De lengte van de bouwkuip bedraagt 91 m en de breedte 10,5 m en 13,3 m resp.

2.5. Fasering

De volgende fasering is aangehouden in de debietberekening.

- Aanbrengen damwand
- Aanbrengen bemalingsfilters
- Ontgraven
- Aanleg tunnel
- Verwijderen damwanden*

*Een deel van de damwanden op de grens tussen tunnel en rotonde wordt niet verwijderd en zal dus achterblijven.

2.6. Opbarsten bouwput

Het verlagen van de grondwaterstand betreft een verlaging van de freatische grondwaterstand in een doorgaand zandpakket. Er is geen gevaar voor opbarsten van de bouwputbodem. De waterremmende leemlaag op NAP-12 m heeft hier geen invloed op.

3. Bemalingsadvies

In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op het benodigde debiet voor de waterstandverlaging, de uitvoeringsmethode en invloed op de omgeving.

3.1. Uitgangspunten debietberekening

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij de debietberekening.

- Freatische grondwaterstand: NAP+2,0 m
- Verlaagde niveau: NAP-0,5 m (ca 0,5 m onder aanlegniveau onderdoorgang)
- Verlaging Δh : 2,5 m
- Oppervlak bouwputbodem: ca. 91 m x 13,3 m omgeven door damwanden.

De debietberekening is gebaseerd op een door damwanden omsloten bouwput met afmetingen van 91 m x 13,3 m breed. De verlaging van de grondwaterstand vindt plaats in een pakket vast zand. Door de aanwezigheid van een damwand zal de toestroom uit het zandpakket worden belemmerd. Als gevolg hiervan wordt een geringer debiet verwacht. De invloed op het debiet is afhankelijk van de dimensies van de damwand.

3.1.1 Geohydrologische schematisatie

Ten behoeve van het berekenen van het waterbezwaar alsmede het verlagingenpatroon van het grondwater in de omgeving kan de opbouw van de ondergrond als volgt worden geschematiseerd :

Watervoerend pakket

Vanaf maaiveld tot NAP-12 m is een watervoerend zandpakket aanwezig. Dit pakket wordt aan de onderzijde door een waterremmende leemlaag afgesloten. Het zandpakket behoort volgens informatie uit dinoloket tot de Formatie van Stramproy 3^e zandige eenheid. (model Regis 2.2) De afsluitende laag aan de onderzijde behoort tot de formatie van Waalre. Het grondwater van het watervoerende pakket kan als freatisch water worden gekarakteriseerd.

3.1.2 Geohydrologische parameters

In Dinoloket is voor de formatie van Stramproy een range van de doorlatendheid van het verzadigde zandpakket weergegeven (zie onderstaande afbeelding fig.3-1. Voor de projectlocatie wordt een doorlatendheid van 25-50 m²/dag gegeven, hetgeen resulteert in een k van 1,6 tot 3,6 m/dag. Op basis van deze gegevens wordt in de berekeningen een k waarde van 3,6 m/dag aangehouden.

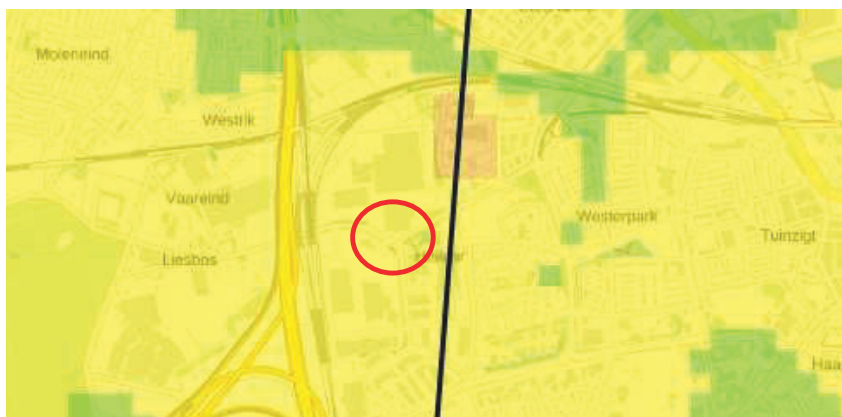


Fig 3.1: transmissiviteit formatie van Stramproy rond de projectlocatie (rode ellips)

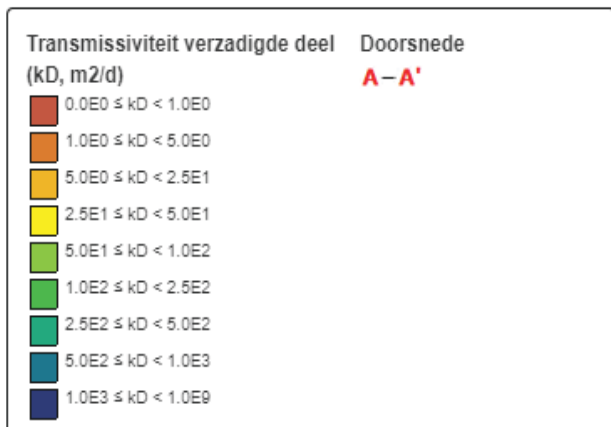


Fig 3.2: legenda transmissiviteit behorende bij Fig 3.1

De freatische bergingscoëfficiënt μ en meewerkend poriënvolume p zijn gebaseerd op fijn zand waarbij de waarden van 0,28 resp. 38% horen..

3.2. Debietberekening

De debietberekening is opgedeeld in twee delen waarbij niet stationair wordt gerekend bij de verlaging van de grondwaterstand bij aanvang van het bemalen en stationair wanneer de grondwaterstand verlaagd is en constant moet worden gehouden.

3.2.1 Theorie debietformules

In deze paragraaf worden de toegepaste formules benoemd.

Niet stationair

De berekening van het niet-stationaire debiet is gebaseerd op de formule van Theis-Jacob Edelman.

$$Q_o = \Delta h_w \cdot \frac{4\pi \cdot k \cdot H}{W(u)}$$

met:

$$W(u) = \ln \frac{0,561}{u}$$

En:

$$u = \frac{\mu \cdot r^2}{4k \cdot H \cdot t}$$

Waarin:

Δh_w	= verlaging van de stijghoogte of potentiaaldaling
Q_o	= hoeveelheid per tijdseenheid onttrokken water (m³/dag)
k	= doorlatendheidscoëfficiënt van het watervoerend pakket (m/dag)
H	= dikte van het watervoerend pakket (grondwaterstand tot basis watervoerende laag)
μ	= freatische bergingscoëfficiënt
r	= afstand van het hart van de bemaling tot het punt waar de potentiaal verlaging wordt berekend

t = bemalingsduur

De reikwijdte R (invloedsgebied) van een kort durende bemaling is afgeleid uit:

$$R = 3000 \cdot \Delta h \cdot \sqrt{k}$$

Stationair

De berekening van het stationaire debiet is gebaseerd op de formule van Thiem.

Volgens de gebruikelijke theorieën blijkt, dat de beweging van het grondwater in een freatische pakket zich goed laat beschrijven met de theorie van Thiem:

$$\Phi(x) = \frac{Q_o}{2\pi \cdot kH} \cdot \ln \left[\frac{R}{r} \right]$$

waarin :

$\Phi(x)$	= verlaging van de stijghoogte of potentiaaldaling
Q_o	= hoeveelheid per tijdseenheid onttrokken water (m ³ /dag)
k	= doorlatendheidscoëfficiënt van het watervoerend pakket (m/dag)
H	= dikte van het watervoerend pakket (grondwaterstand tot basis watervoerende laag)
R	= Reikwijdte bemaling
r	= afstand van het hart van de bemaling tot het punt waar de potentiaal verlaging wordt berekend

De reikwijdte R (invloedsgebied) voor een langdurige bemaling is afgeleid uit:

$$R = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot H \cdot t}{p}}$$

Waarin:

k	= doorlatendheidscoëfficiënt van het watervoerend pakket (m/dag)
H	= dikte van het watervoerend pakket (grondwaterstand tot basis watervoerende laag)
R	= Reikwijdte bemaling
P	= meewerkend porienvolume

3.2.2 Berekening

Voor het verlagen van de grondwaterstand naar het gewenste niveau wordt een periode van 7 dagen aangehouden. Afgesproken is om voor deze berekening uit te gaan van een grondwaterstand van NAP+2,00 m (bemaling begin augustus tot eind januari 2022)

Op basis van bovenstaande formule voor niet stationair debiet en de in §3.1 genoemde uitgangspunten wordt een debiet van ca. 54,5 m³/uur berekend voor een periode van 7 dagen waarin de verlaging van de grondwaterstand plaatsvindt (zie bijlage C). Voor de rest van de maand wordt een stationair debiet van 13,2 m³/uur berekend. Voor de eerste maand wordt een totaal debiet van 35573 m³/maand berekend. Dit blijft ruim onder de door het Waterschap gehanteerde vergunningsgrens van 50.000 m³/maand.

Voorts dient er rekening te worden gehouden met extra debiet door een neerslaghoeveelheid van 10 mm per dag.

Uit de bovenstaande berekeningen volgt, dat het debiet in de eerste maand $35573 \text{ m}^3/\text{maand}$ is. Bij een gekozen periode waarin de gewenste verlaging wordt bereikt van 7 dagen bedraagt het maximale uurdebiet $54,5 \text{ m}^3/\text{uur}$. Indien de periode waarin de gewenste verlaging wordt gerealiseerd korter wordt gekozen zal zowel het uurdebiet als het maanddebiet toenemen. Dit vergt dan ook een grotere pompcapaciteit.

3.3. Voorstel uitvoeringsmethode bemaling

Om de in § 3.2 berekende debieten te kunnen verwerken wordt een bemaling met filters geadviseerd.

Deze filters dienen in de damwandkassen h.o.h. 2 m te worden geplaatst tot NAP-5 m, geperforeerd tussen NAP-2,0 m en NAP-5 m met inhangers. Een regelkraan op zuigzijde pomp dient om minimaal te onttrekken.

De bemaling kan worden stopgezet als de constructie voldoende gewicht heeft om opdrijven te voorkomen en er geen kans is op instroom van grondwater in de tunnelbak. Indien de bemaler een alternatief bemalingsplan heeft, zijn wij gaarne bereid om dit te beoordelen.

Het lozen van het opgepompte water kan deels gebeuren op de waterpartij aan de oostkant van de t-kruising, Verwacht wordt, dat hier niet het hele debiet geloosd kan worden. Derhalve zal deels op de riolering moeten worden geloosd. Indien er retourbemaling moeten worden toegepast, dient dit buiten het invloedsgebied van de bemaling plaats te vinden.

3.4. Invloed op de omgeving

De reikwijdte R van de verlaging van de grondwaterstand in de omgeving wordt op basis van de berekening in bijlage C op ca 45 m geschat. De reikwijdte geldt voor de Niet-stationaire fase. In de stationaire fase is de reikwijdte/beïnvloedsgebied beduidend groter. De grens van 0,05 m waterstandverlaging ligt op circa 225 m vanuit het midden van de bouwput. De invloed van de damwand niet is meegenomen in deze schatting.

Door de verlaging van de grondwaterstand kan er zetting optreden in de leem/kleilaag tussen NAP-12 en NAP-15m. Echter door de diepte van deze laag zal het effect gering zijn (ca 1 cm). Binnen de reikwijdte van de bemaling bevinden zich alleen enkele bedrijfspanden. De funderingswijze van deze panden is niet bekend.

Afhankelijk van de duur van de grondwaterstandsverlaging kan er in de directe omgeving van de projectlocatie verdroging optreden welke nadelig is voor planten en bomen.

De verandering van de grondwaterstand in de omgeving tijdens de bemaling dient te worden gemonitord middels peilbuizen. Desgewenst kan rond kritische punten een voedingsdrain worden aangelegd om lokaal de grondwaterstand op peil te houden.

3.5. Stuwung grondwater ter plaatse van damwand

De damwand in de lengterichting van de bouwput zal deels achterblijven na realisatie van de onderdoorgang. Op basis van het verloop van de grondwaterstanden in de omgeving van de projectlocatie is de grondwaterstroming globaal noord-noordwest. De aanwezigheid van de achterblijvende damwand ongeveer loodrecht op de stromingsrichting belemmert de grondwaterstroming. Gelet op het geringe verval van de grondwaterstand in de omgeving van de projectlocatie en de doorlatendheid van het zandpakket wordt slechte een beperkte (10-20 cm) van grondwaterstuwing bij de damwand verwacht. Deze geringe grondwaterstuwing heeft geen negatieve invloed op de omgeving.

4. Conclusies

Ten behoeve van de aanleg van een fietsonderdoorgang IABC-Leursebaan te Breda is een gesloten bouwput ontworpen. Voor het verlagen van de grondwaterstand in de bouwput is een bemalingsadvies. Het maximale verwachte maanddebiet voor deze verlaging bedraagt 35573 m³, hetgeen ruim onder de toegestane 50.000 m³/maand blijft. Daarbij wordt opgemerkt, dat het berekende debiet geldt voor de periode waarin de grondwaterstand wordt verlaagd. De bemaling om de verlaging op peil te houden is beduidend minder.

BIJLAGE A

GRONDONDERZOEK



Milon NL IABC - Leursebaan Breda

Rapportage geotechnisch onderzoek | Breda

1320-165830 | 21-04-2020

Definitief

Milon B.V.

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Milon NL IABC - Leursebaan Breda
Documentnaam	Rapportage geotechnisch onderzoek
Fugro-projectnr.	1320-165830
Fugro-documentnr.	1320-165830-21-R01
Versienummer	1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro Entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Prismastraat 2 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Milon B.V.
Adres klant	,
Contactpersoon klant	Coomans

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	21-04-2020	Definitief	Initiële versie	UGU	PVW	PMI

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
PMI		

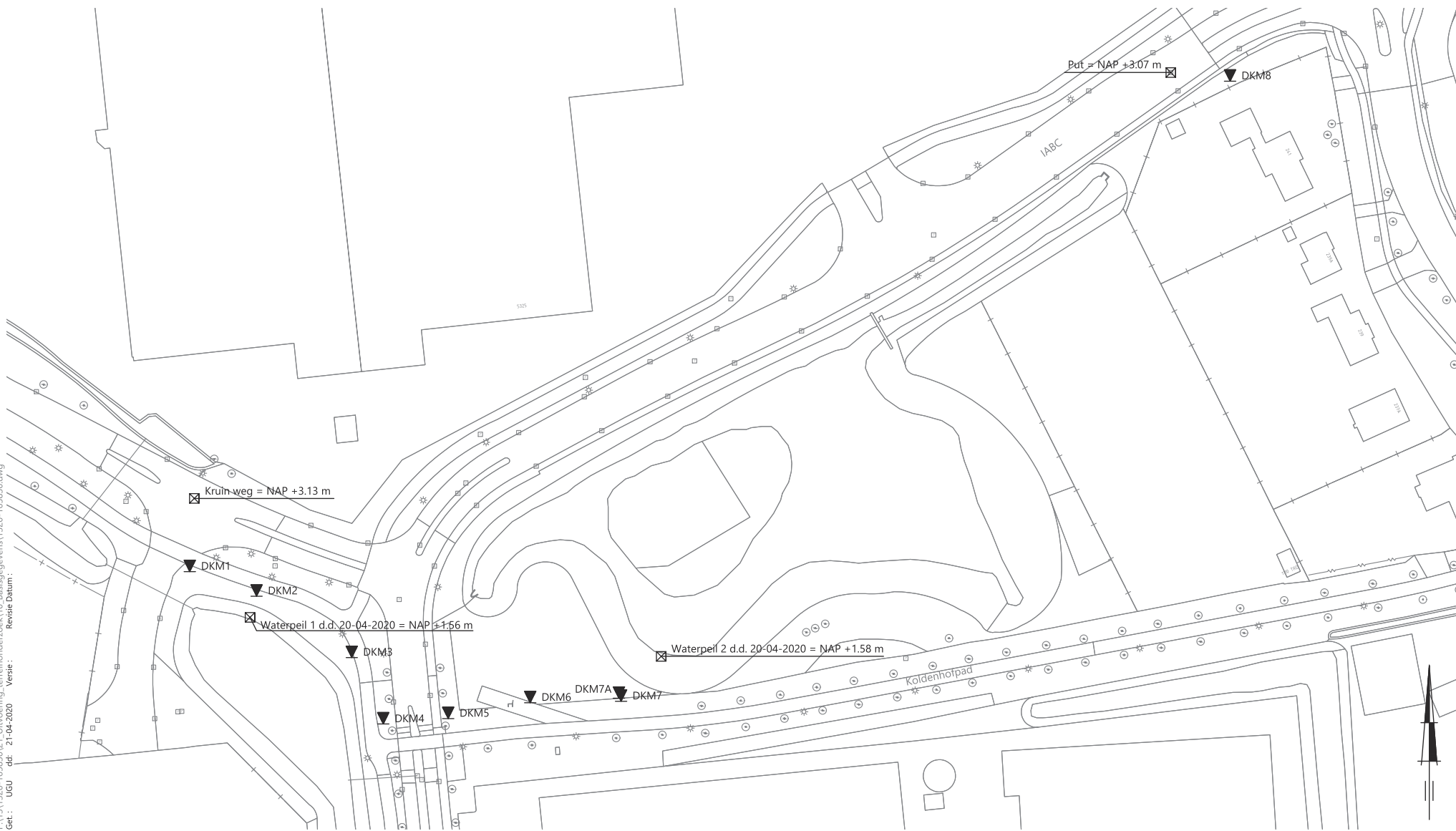
Inhoudsopgave

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

Rapportageoverzicht

Projectnaam: Milon NL IABC - Leursebaan Breda
Fugro-projectnr.: 1320-165830

Naam	RD Coördinaten (m)		Hoogte (m) t.o.v. NAP	Grondwater- stand (m) t.o.v. NAP	Opmerking
	X	Y			
DKM1	109490.5	400005.7	+3.05		
DKM2	109508.0	399999.2	+3.11	+1.57	
DKM3	109532.9	399983.2	+3.22	+1.68	
DKM4	109541.1	399965.8	+3.24	+1.48	
DKM5	109558.1	399967.2	+3.40	+1.65	
DKM6	109579.5	399971.4	+3.31	+1.31	
DKM7	109603.3	399971.7	+3.33		Gestaakt, obstakel(s)
DKM7A	109602.7	399972.5	+3.39		
DKM8	109762.5	400133.9	+2.87	+0.87	Gestaakt, max. totaaldruk
Kruin weg	109491.7	400023.1	+3.13		
Waterpeil 1 d.d. 20-04-'20	109506.2	399992.0	+1.56		
Waterpeil 2 d.d. 20-04-'20	109613.7	399981.8	+1.58		
Put	109747.0	400134.5	+3.07		



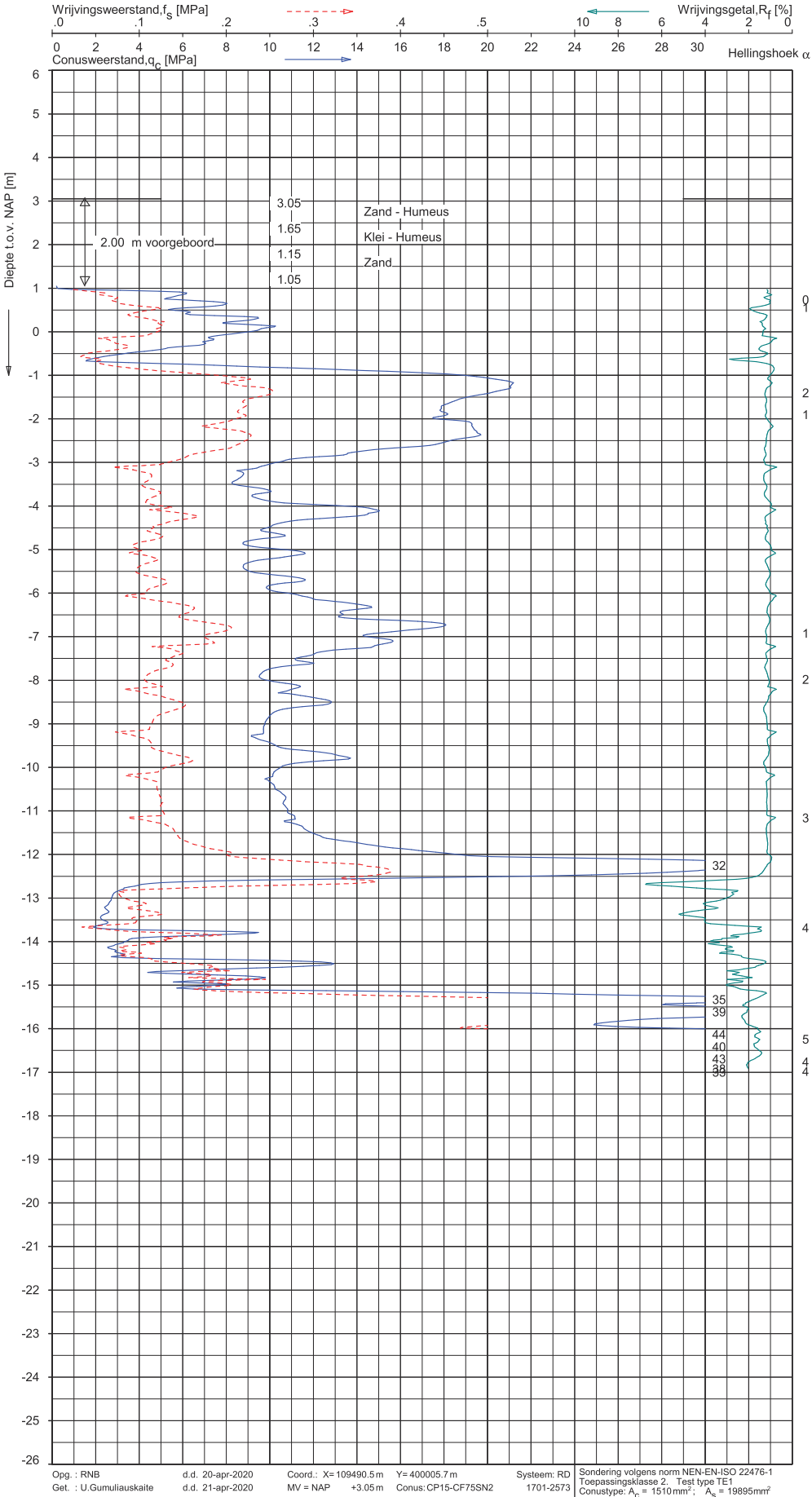
0 10.0 20.0 30.0 40.0 50.0 m
Schaal 1 : 1000

SITUATIE

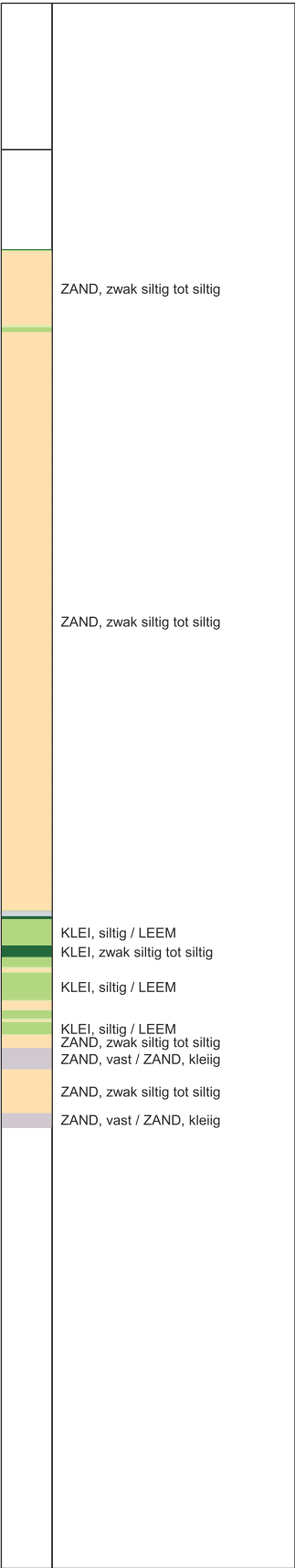
MILON NL IABC - LEURSEBAAN BREDA

Opdr.: 1320-165830

Bijl. : 1



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

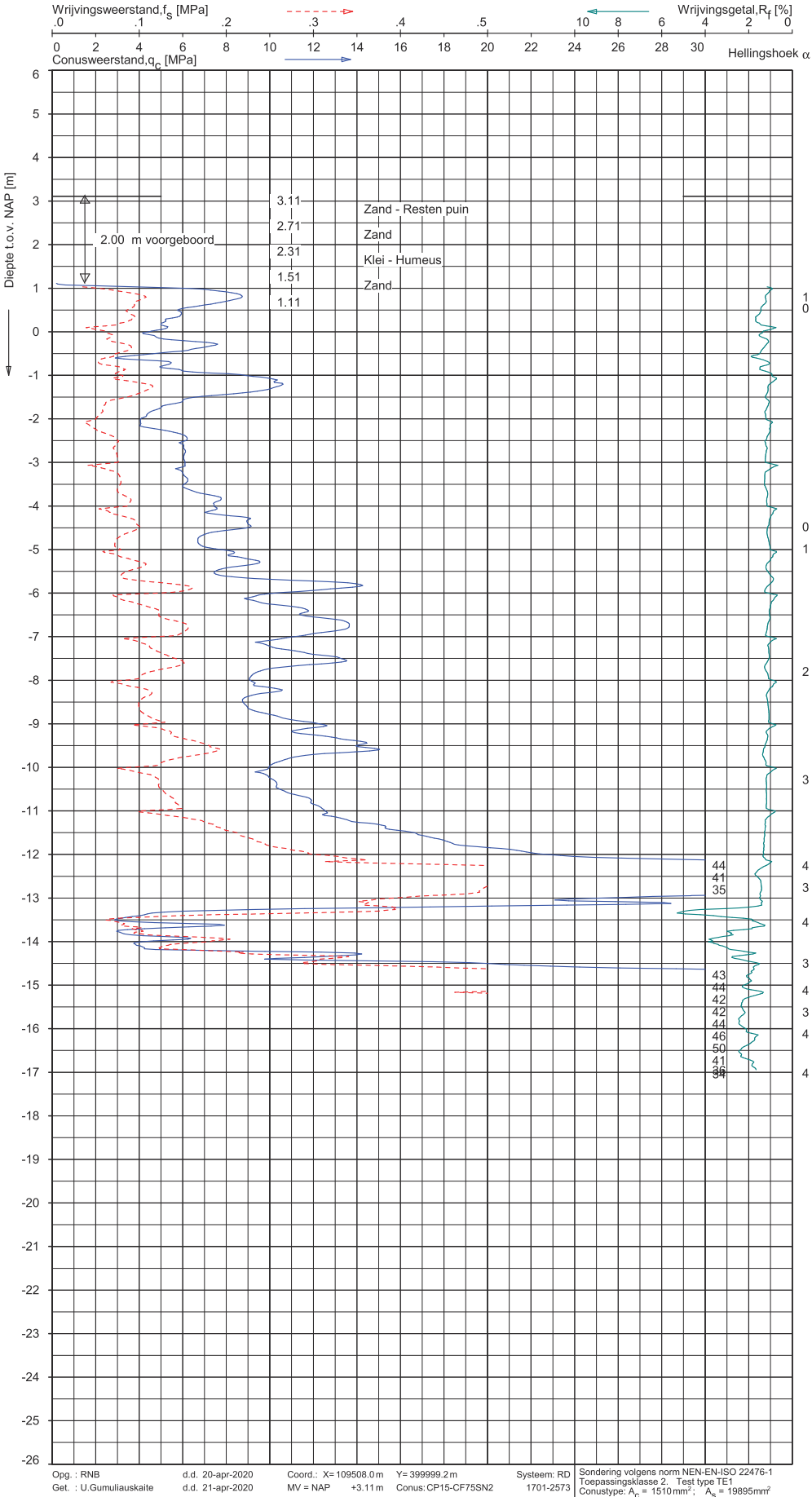


Opg.: RNB d.d. 20-apr-2020 Coord.: X=109490.5 m Y=400005.7 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get.: U.Gumiliauskaite d.d. 21-apr-2020 MV = NAP +3.05 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2573 Toepassingsklasse 2, Test type TE1
Conus type: $A_{c0} = 1510 \text{ mm}^2$; $A_{c5} = 19995 \text{ mm}^2$

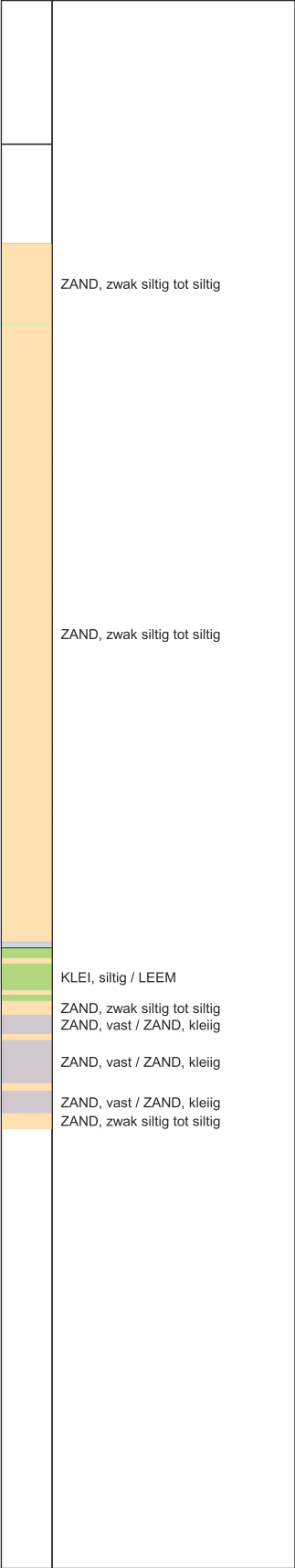
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

MILON NL IABC - LEURSEBAAN BREDA

Opdr. 1320-165830
Sond. DKM1



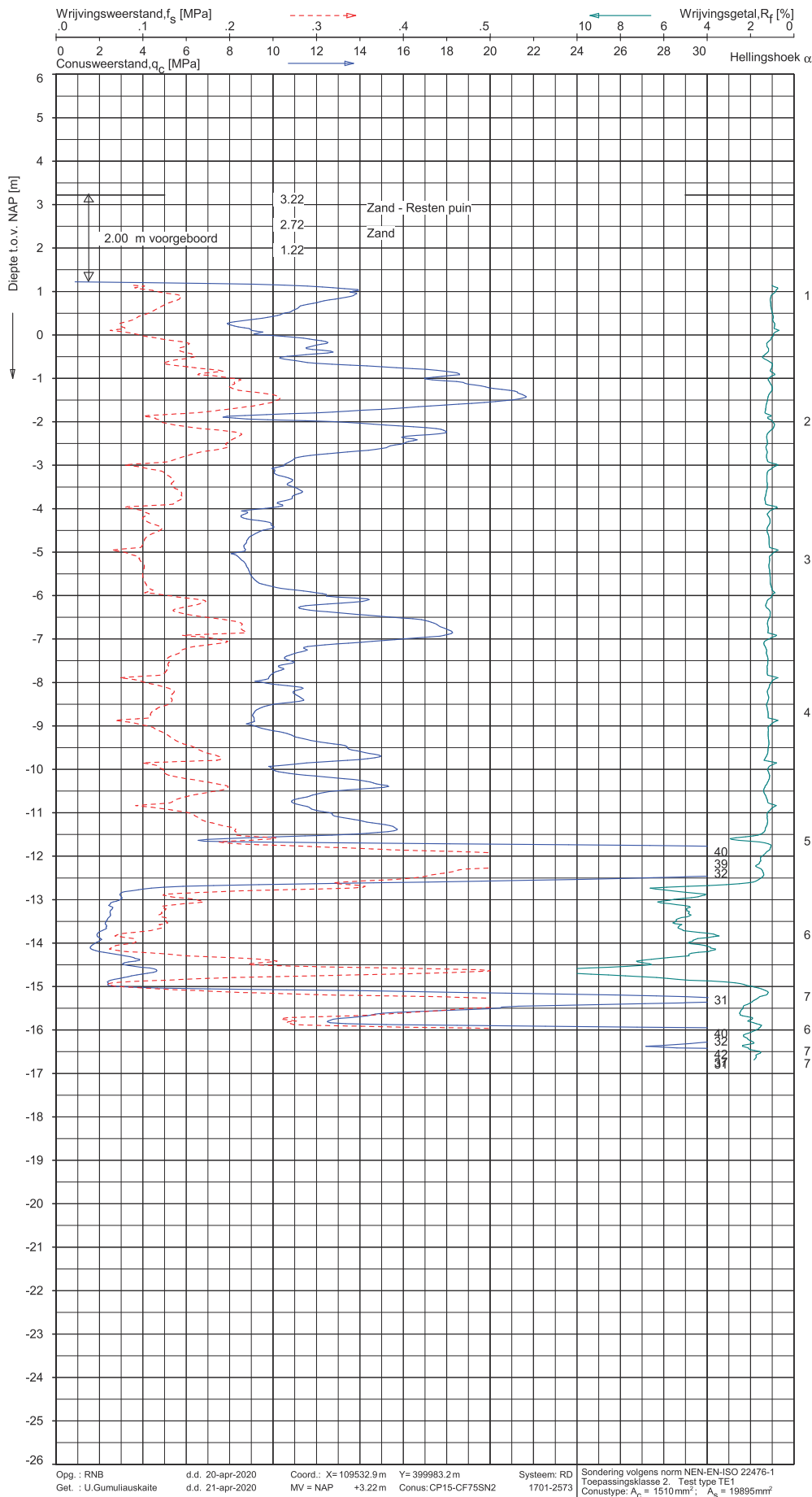
Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



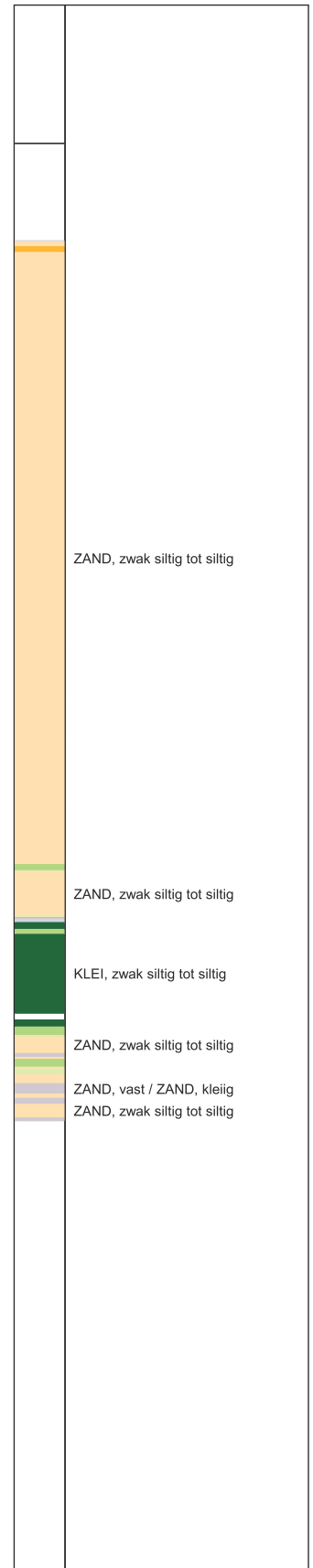
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

MILON NL IABC - LEURSEBAAN BREDA

Opdr. 1320-165830
Sond. DKM2

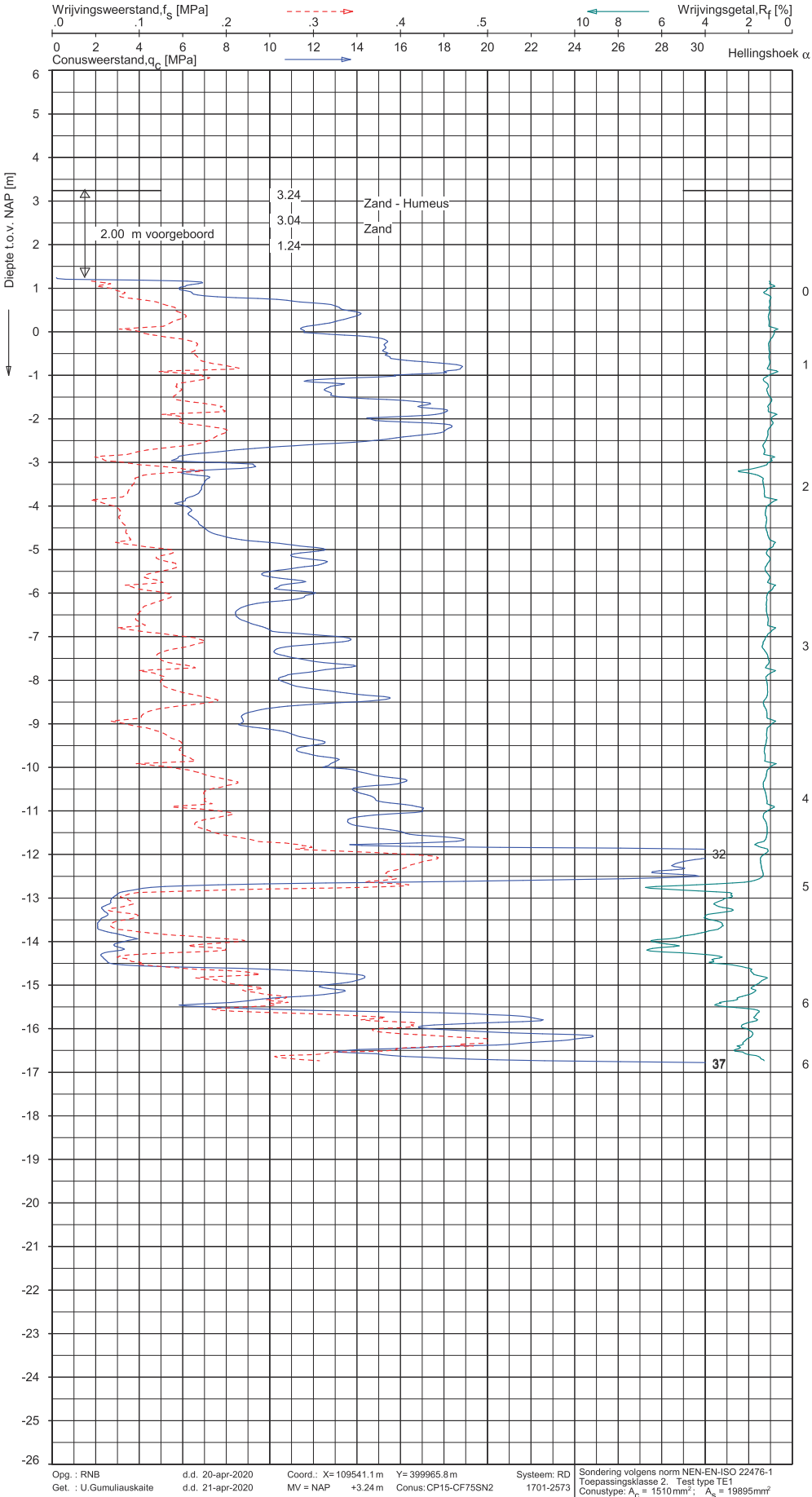


Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering, geldig onder
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

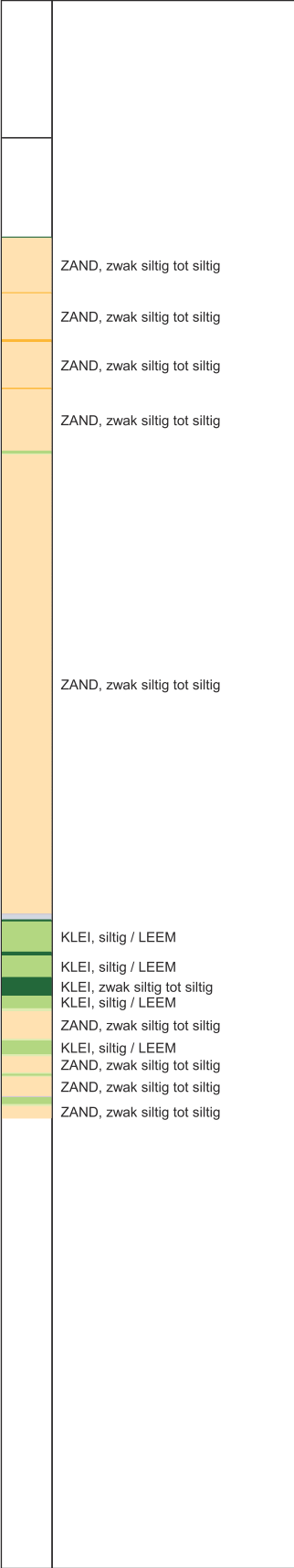
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

MILON NL IABC - LEURSEBAAN BREDA

Opdr. 1320-165830
Sond. DKM3



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

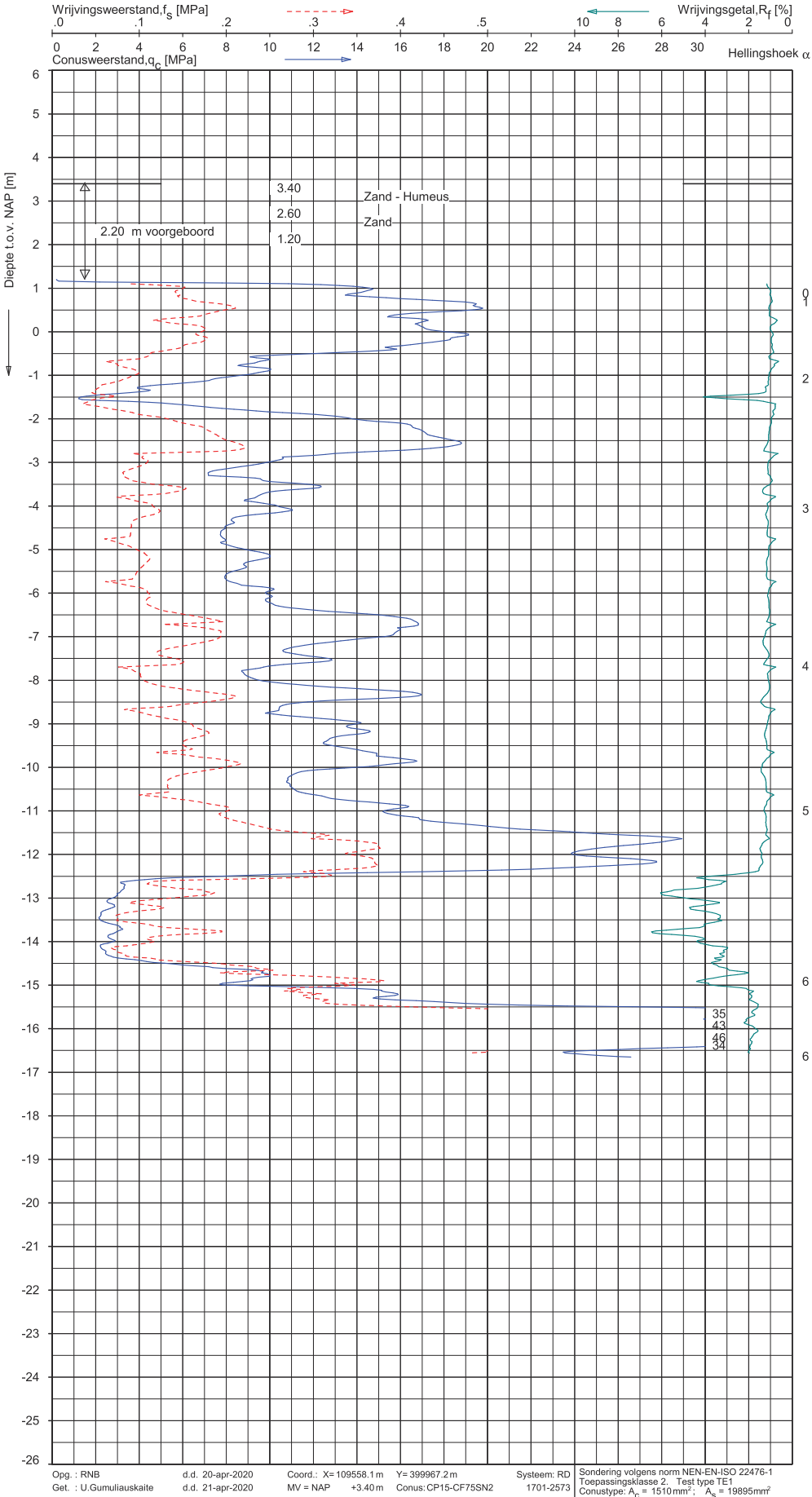


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

MILON NL IABC - LEURSEBAAN BREDA

Opdr. 1320-165830
Sond. DKM4





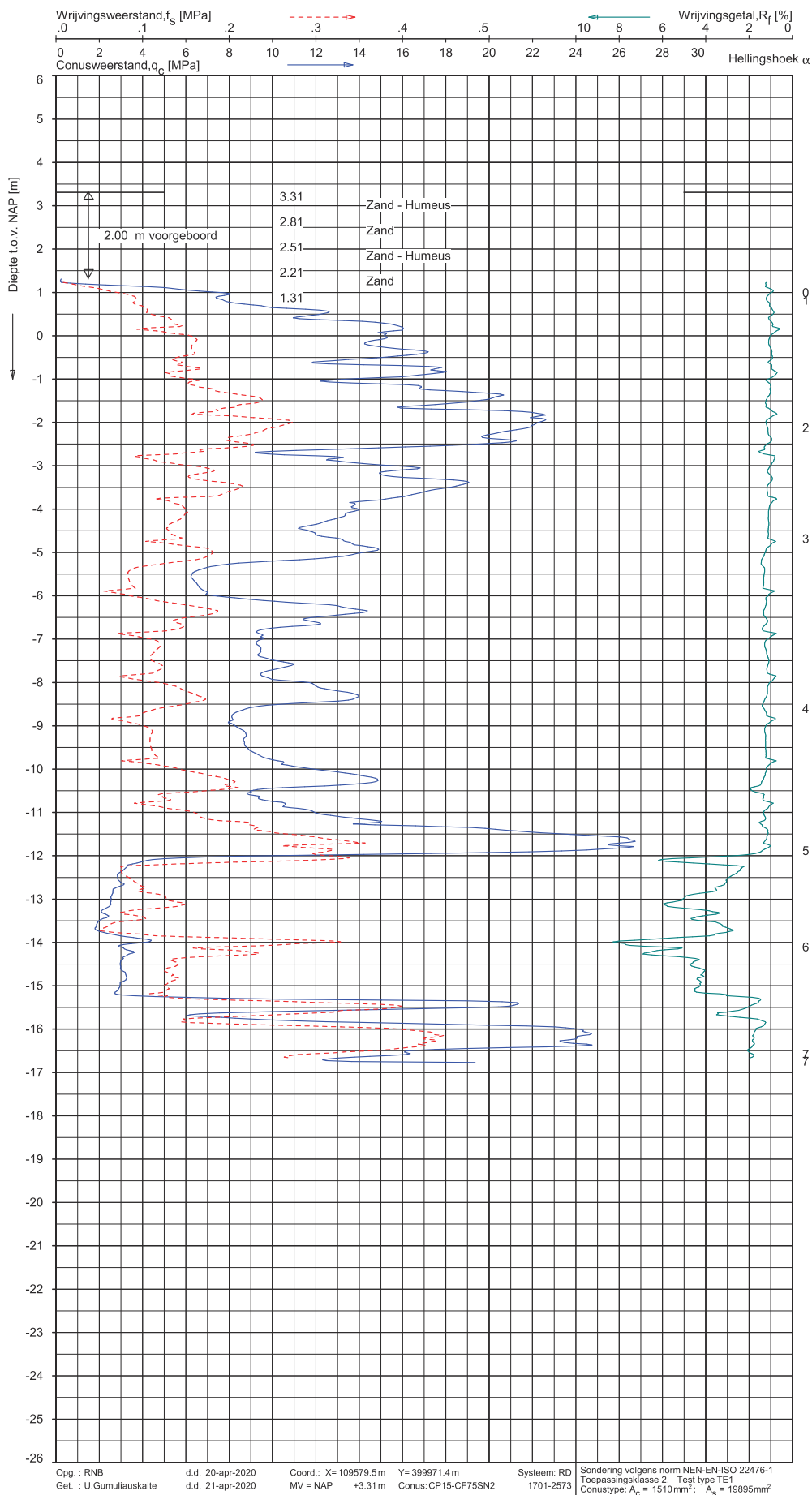
Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

MILON NL IABC - LEURSEBAAN BREDA

Opdr. 1320-165830
Sond. DKM5



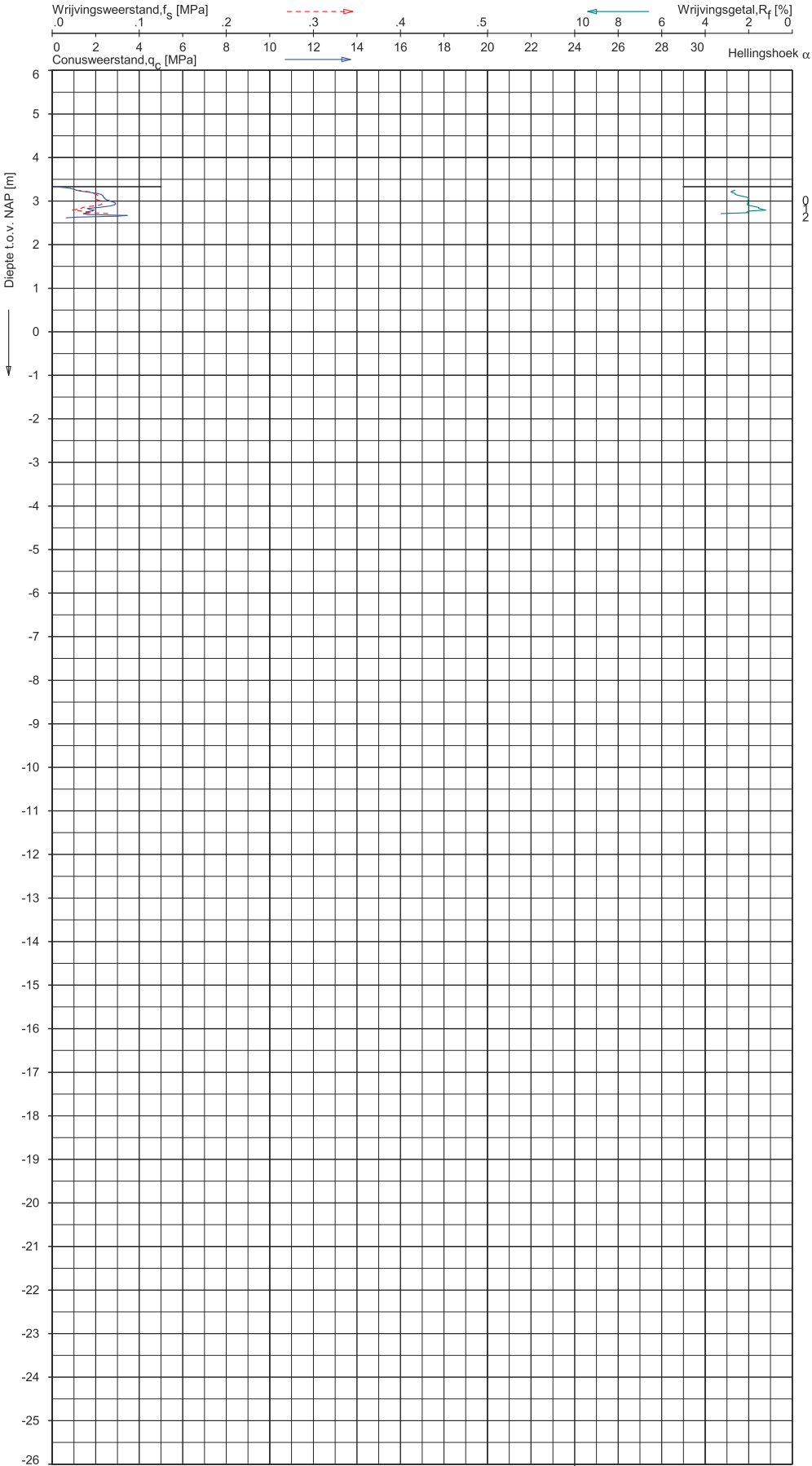
Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



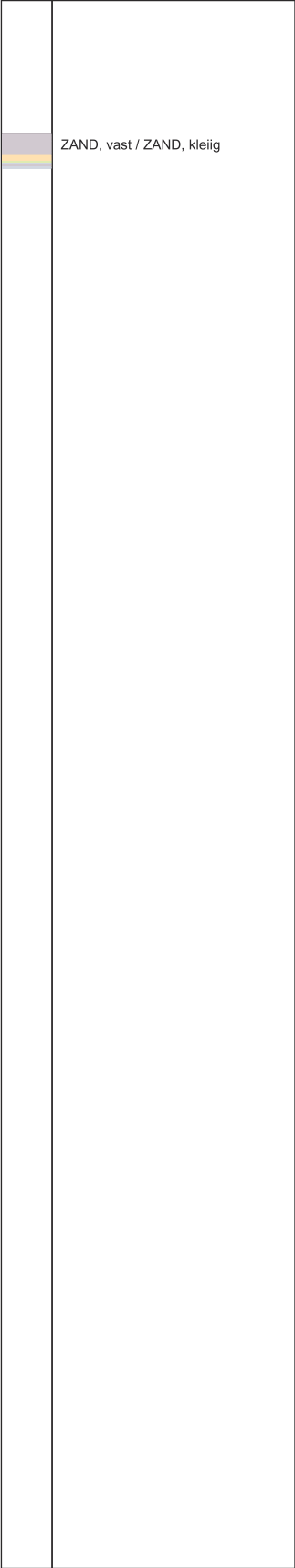
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

MILON NL IABC - LEURSEBAAN BREDA

Opdr. 1320-165830
Sond. DKM6



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

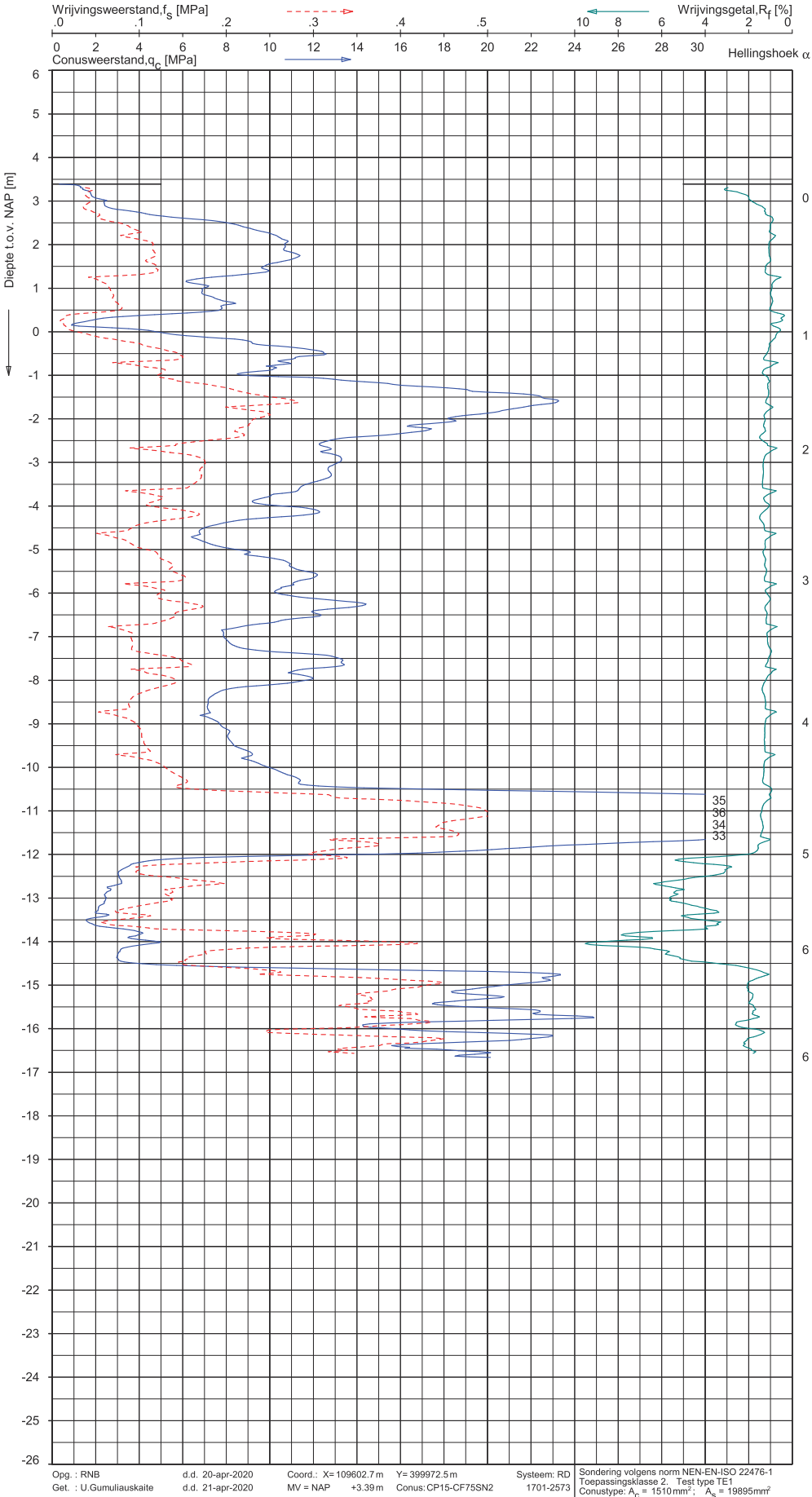


Opg. : RNB d.d. 20-apr-2020 Coord.: X=109603.3 m Y= 399971.7 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : U.Gumuliauskaite d.d. 21-apr-2020 MV = NAP +3.33 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2573 Toepassingsklasse 2, Test type TE1
Conus type: $A_{c1} = 1510 \text{ mm}^2$; $A_{c2} = 19995 \text{ mm}^2$

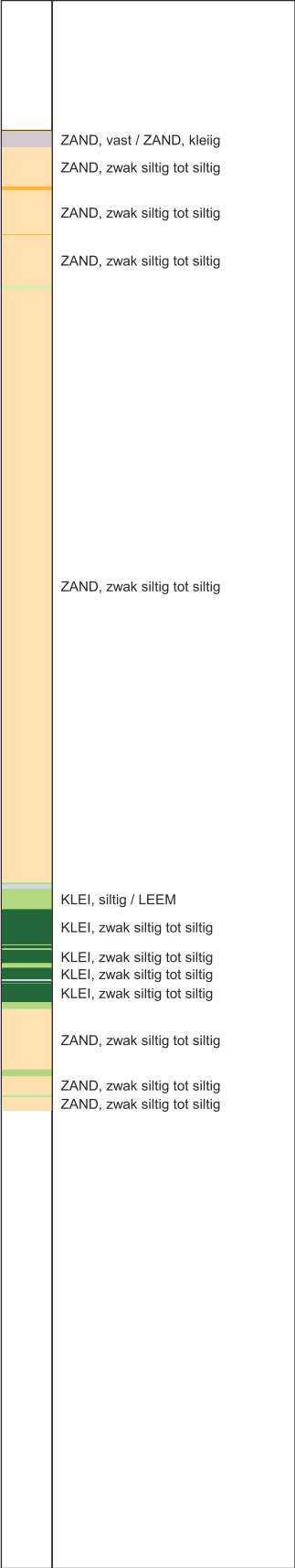
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

MILON NL IABC - LEURSEBAAN BREDA

Opdr. 1320-165830
Sond. DKM7



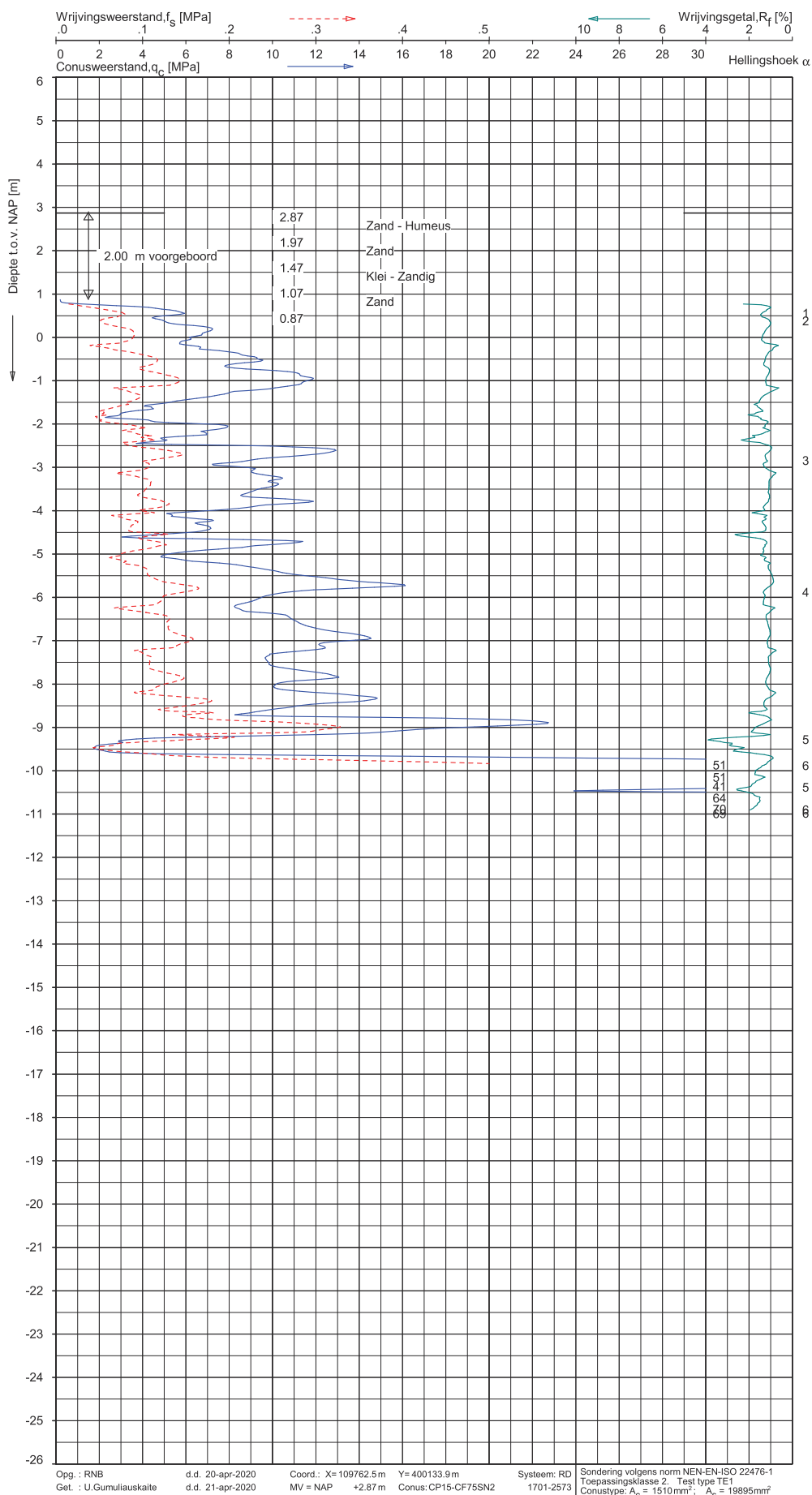
Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



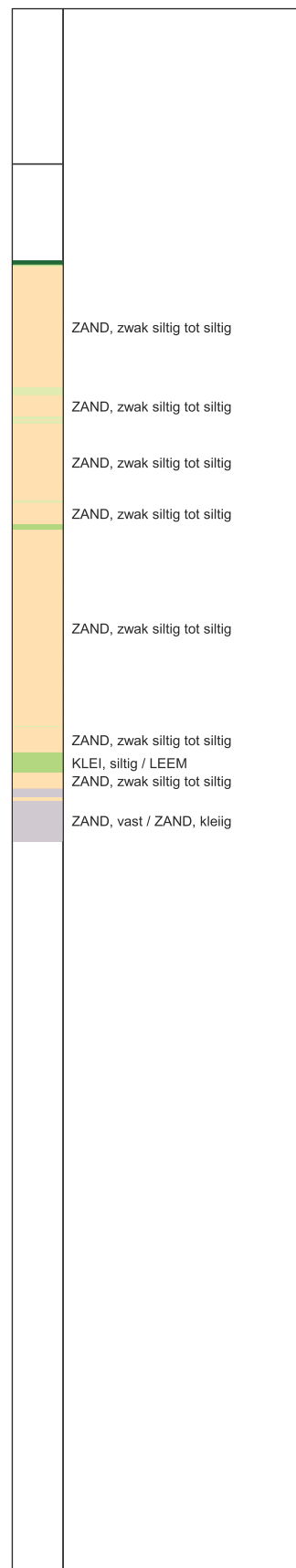
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

MILON NL IABC - LEURSEBAAN BREDA

Opdr. 1320-165830
Sond. DKM7A



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



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

MILON NL IABC - LEURSEBAAN BREDA

Opdr. 1320-165830
Sond. DKM8

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 terug getrokken. In NEN 9997-1 wordt echter nog wel verwezen naar NEN 5140.

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

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

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

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

Interpretatie van de sonderingen met plaatselijke wrijvingsweerstand

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

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

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

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

Tabel 1: Wrijvingsgetal per grondsoort

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

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

Presentatie sondeergegevens

Sonderingen kunnen worden uitgewerkt met interpretatie van het wrijvingsgetal voor identificatie van de bodemlagen. De identificatie van de bodemlagen is dan uitgevoerd volgens Robertson [1990][†], 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

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

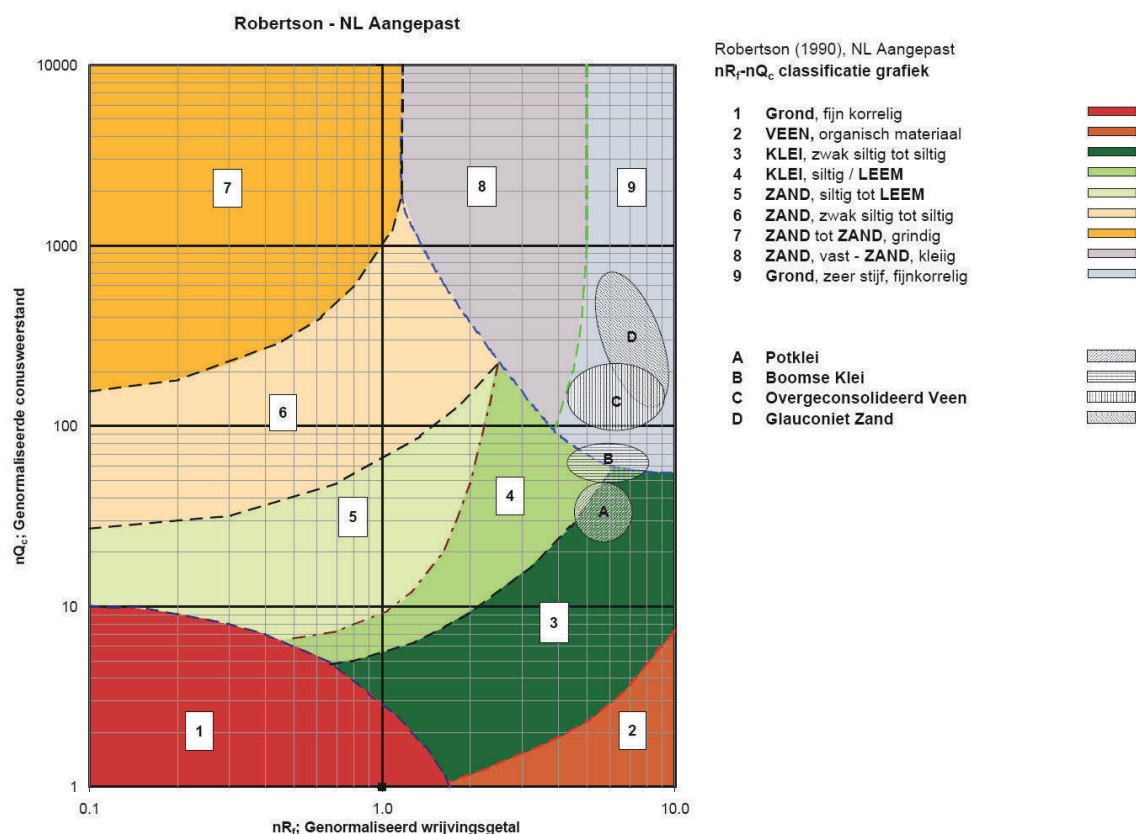
Vergelijking 2

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 geclassificeerd.



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.

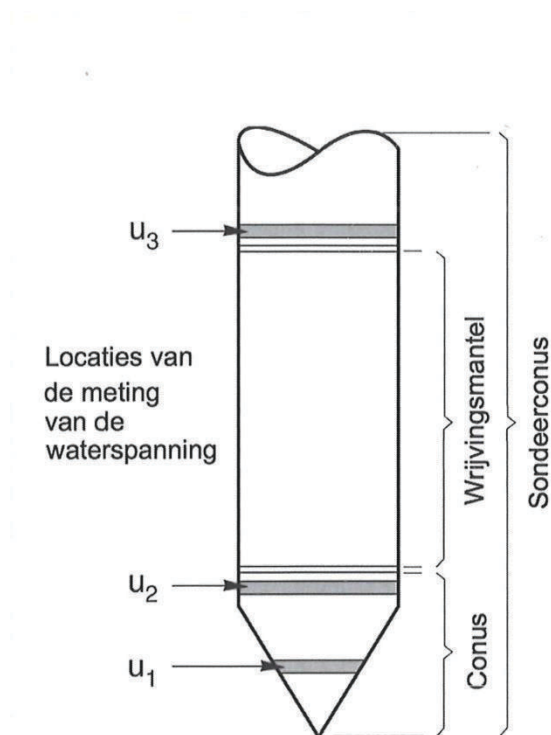
Tabel 2: Overzicht andere conustypen met toepassingsmogelijkheden

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 2). Positie u_3 wordt zelden toegepast. Slechts een kleine hoeveelheid water ($0,2 \text{ mm}^3$) is nodig om een nauwkeurige waterdruk te meten. Het meetbereik kan worden gekozen afhankelijk van de te verwachten wateroverspanning. In stijve kleien kan deze oplopen tot meer dan 3 MPa.



Figuur 2: 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:

$$B_q = \frac{\beta \cdot (u_1 - u_0)}{q_{net}}$$

Vergelijking 3

$$Bq = \frac{(u_2 - u_0)}{q_{net}}$$

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 = $q_c + (1 - a) \cdot \{\beta(u_1 - u_0) + u_0\}$ voor een filter in de conuspunt
- q_t = $q_c + (1 - a) \cdot u_2$ voor een filter direct achter de conuspunt
- σ_{v0} = de verticale grondspanning; standaard wordt hierbij uitgegaan van een gemiddeld volumiek gewicht van de bodemlagen van 14 kN/m³ en een grondwaterstand op 1 m beneden maaiveld;
- a = netto oppervlakteverhoudingscoëfficiënt van de conus i.v.m. de spleet achter de conuspunt;
- u_1 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing in de punt;
- u_2 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing achter de punt;
- u_0 = de hydrostatische stijghoogte; standaard wordt hiervoor in de berekening een niveau uitgegaan van 1 m beneden maaiveld.

Voor andere grondsoorten zijn de β -factoren in 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
Leem, samendrukbaar	0,5 – 0,6
Leem, 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 • $q_c < 10$ MPa);
 - C gemengde bodemprofielen met stijve kleien (conusweerstand 1,5 MPa • $q_c < 3$ 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 calibraties. In de praktijk is gebleken dat standaard Fugro sonderingen in de nieuwe norm voor het overgrote deel (>95%) in toepassingsklasse 2 vallen.

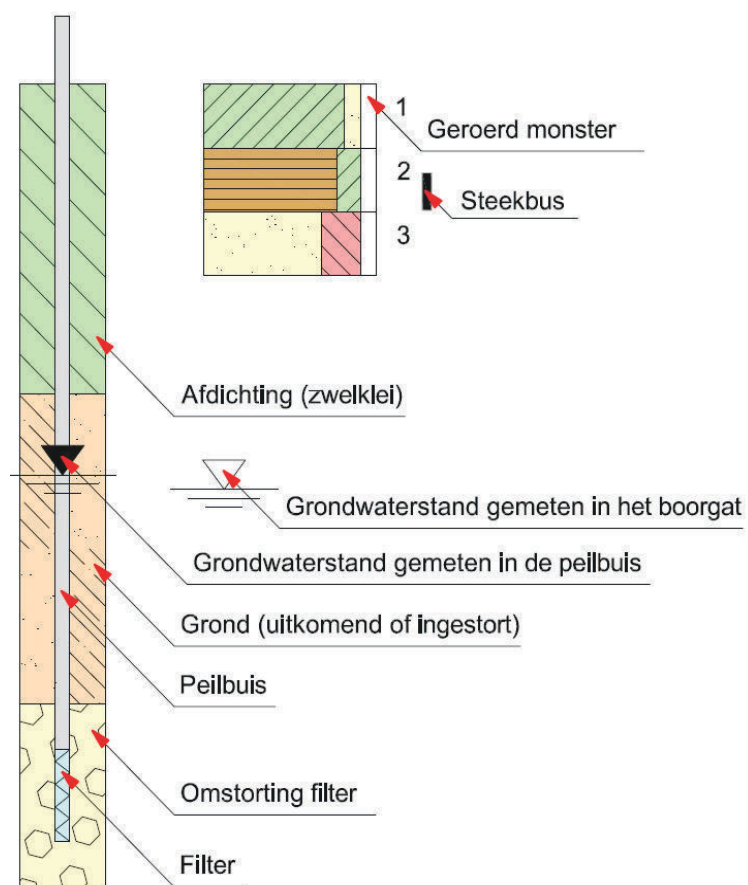
Voor sondering in toepassingklasse 1 worden speciale gevoelige conussen met een beperkt meetbereik toegepast. De enige praktische indicatie over de bereikte sondeerklasse is controle van recente kalibraties en 0-puntsverlopen tussen het begin en eind van de sondering.

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

Legenda terreinproeven

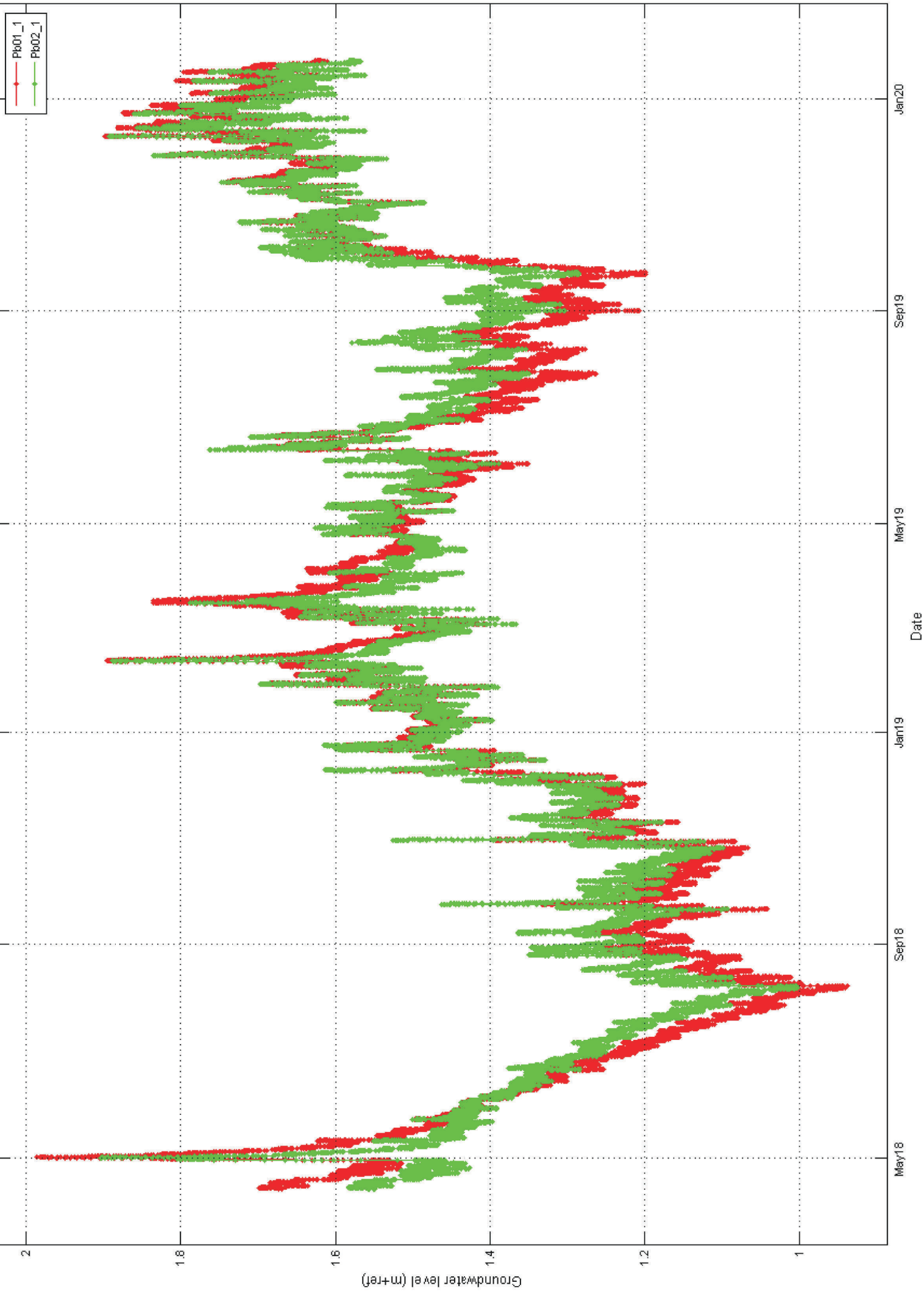
Boringen / Peilbuizen	Sonderingen
 Handboring nog niet uitgevoerd	 Sondering met plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
 Handboring uitgevoerd	 Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd
 Handboring uitgevoerd met 1 peilbuis	 Sondering zonder plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
 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



BIJLAGE B

GRONDWATERSTANDEN



BIJLAGE C

DEBIETBEREKENING

Bemaling van bouwkuip bij freatisch grondwater
 Berekening volgens: **CROW-CUR Handboek 4:2020**

Versie 0.1 20-4-2021
 Concept

Gegevens bemalingslocatie :

Gemeente: **Breda**
 Adres: **IABC - Leursebaan**

Duur van de bemaling:

Start bemaling: **1 augustus 2021**
 Einde bemaling: **28 januari 2022**
 Duur bemaling: **180 dagen**

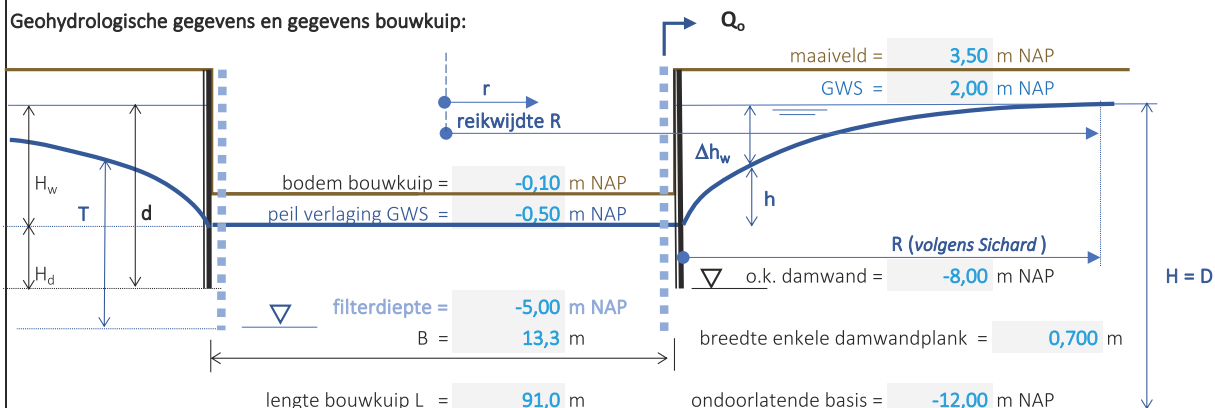
Aandachtspunten m.b.t. effecten op omgeving:

Ligging nabij gebieden met specifieke eisen, zoals boringvrije zones, Natura2000 gebieden, beschermingszones waterstaatswerken
 Aanwezigheid van funderingen op staal of houten palen
 Aanwezigheid van zettingsgevoelige boven- en ondergrondse infrastructuur
 Aanwezigheid van waterkeringen
 Aanwezigheid van grondwaterverontreinigingen en -saneringen
 Drinkwaterbeschermingsgebied, strategische zoetwatervoorraad etc.
 Aanwezigheid van andere tijdelijke of permanente onttrekkingen (WKO-systemen)
 Aanwezigheid van archeologische/aardkundige waardevolle plaatsen
 Aanwezigheid van niet-gesprongen explosieven (conventionele explosieven)

ja onbekend opmerking c.q. afstand

☐	☐	
☐	☒	
☐	☒	
☐	☐	
☐	☐	
☐	☐	
☐	☐	
☐	☐	
☐	☐	

Geohydrologische gegevens en gegevens bouwkuip:



Grondwatervoeding uit neerslag:	N = 300 mm/jaar	freatische bergingscoëfficiënt μ = 0,28
Horizontale doorlatendheid:	k = 3,60 m/dag	inverse slotweerstand ρ = 0,0043 dagen
Meewerkend porienvolume	p = 38%	aantal dagen voor bereiken benodigde verlaging (4 - 7 dagen)
Equivalent straal bouwkuip:	r = 33,2 m	t_1 = 7 dagen
Doorstroombdikte v/h pakket	H = 14,0 m	maximaal debiet tijdens verlaging: 70,0 m ³ /uur
Maximale GWS-verlaging	$\Delta h_{w,max}$ = 2,50 m	maximaal toel. maanddebiet: 50000 m ³ /maand

Reikwijdte R

kortdurende bemalingen:
 (< 7 dagen)

Sichard

$$R = 3000 \cdot \Delta h_w \cdot \sqrt{k}$$

$$R = 48,4 \text{ m}$$

langdurende bemalingen:

CROW-CUR Handboek 4

(> 7 dagen)

$$R = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot H \cdot t}{p}}$$

Onvolkomen bemalingen

Wanneer de onttrekkingsmiddelen niet tot aan de onderkant van de watervoerende laag waarin ze zijn geplaatst reiken, heet dit onvolkomenheid van de bemaling.

Forcheimer: $Q_{onv} = \alpha \cdot Q_{volk}$

$$\alpha = \sqrt{\frac{T}{H}} \cdot \sqrt{\frac{(2H - T)}{H}}$$

Hieruit volgt: $Q_{onv} = Q_o / \alpha$ $T = 7,0 \text{ m}$
 $\alpha = 0,78$

Involed waterkerende bouwputbegrenzing (debietreductie als functie van inheidiepte damwand)

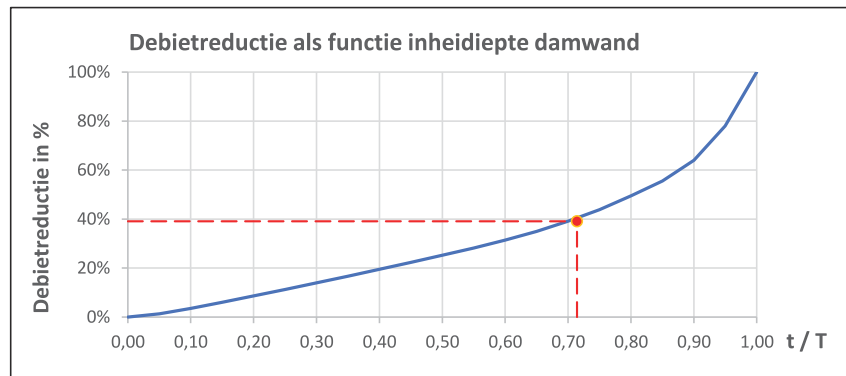
De debietreductie van de damwand, uitgedrukt in een percentage, wordt bepaald door de inheidiepte van de damwand (d) versus de dikte van het watervoerend pakket (H).

$$\begin{aligned} d &= 10,0 \text{ m} \\ H &= 14,0 \text{ m} \end{aligned}$$

$$d / H = 0,71$$

De reductie van het debiet bedraagt dan volgens Figuur 36 van CROW-CUR Handboek 4:2020:

$$r_Q = 39,1\%$$



Niet stationaire situatie (kortdurend / tot gewenste verlaging is bereikt)

Bepaling debiet op basis van gewenste duur (t_1)

$$\begin{aligned} Q_o &= 1681 \text{ m}^3/\text{dag} \\ Q_{o, \text{onv}} &= 2148 \text{ m}^3/\text{dag} && \text{onvolkomenheid bemaling} \\ Q_{\text{onv, red}} &= 1308 \text{ m}^3/\text{dag} && \text{incl. debietreductie t.g.v. damwand} \\ &= 54,5 \text{ m}^3/\text{uur} &< 70 \text{ m}^3/\text{uur} && \text{akkoord} \end{aligned}$$

Na $t_1 = 7$ dagen geldt dan:

$$Q_{o, \text{onv}} = 9156 \text{ m}^3$$

Theis-Jacob-Edelman:

$$\begin{aligned} Q_o &= \Delta h_w \cdot \frac{4\pi \cdot k \cdot H}{W(u)} \\ u &= \frac{\mu \cdot r^2}{4k \cdot H \cdot t} && W(u) = \ln \frac{0,561}{u} \end{aligned}$$

Stationaire situatie (langdurend / op peil houden verlaging)

$$\begin{aligned} \text{Duur stationaire situatie:} & \quad t_2 = t - t_1 = 173 \text{ dagen} \\ Q_o &= 407 \text{ m}^3/\text{dag} && \text{op } t = 180 \text{ dagen} \\ Q_{o, \text{onv}} &= 521 \text{ m}^3/\text{dag} && \text{onvolkomenheid bemaling} \\ Q_{\text{onv, red}} &= 317 \text{ m}^3/\text{dag} && \text{incl. debietreductie t.g.v. damwand} \\ &= 13,2 \text{ m}^3/\text{uur} \end{aligned}$$

Thiem

$$Q_o = \Delta h_w \cdot \frac{2\pi \cdot k \cdot H}{\ln \frac{R}{r}}$$

$$R = 231,8 \text{ m}$$

Opmerking: De reikwijdte en daarmee het debiet is afhankelijk van het tijdstip t .

Debiet (stationair) inclusief effect grondwatervoeding

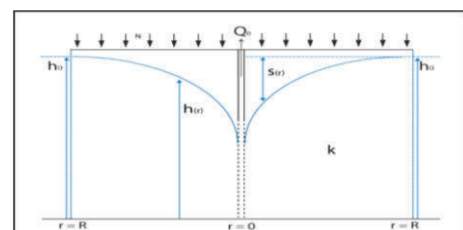
In de formule van Verruijt geldt:

$$\begin{aligned} h_0 = H &= 14,0 \text{ m} \\ h_w = h_{(r)} &= H - \Delta h_w \\ h_{(r)} &= 14,0 - 2,5 \text{ m} = 11,5 \text{ m} \\ N &= 300 \text{ mm/jaar} = 8,22\text{E-}04 \text{ m/dag} \\ k &= 3,60 \text{ m/dag} \\ r_w = r &= 33,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Duur stationaire situatie:} & \quad t_2 = t - t_1 = 173 \text{ dagen} \\ Q_r &= 406 \text{ m}^3/\text{dag} && \text{op } t = 180 \text{ dagen} \\ Q_{r, \text{onv}} &= 519 \text{ m}^3/\text{dag} && \text{onvolkomenheid bemaling} \\ Q_{r, \text{onv, red}} &= 316 \text{ m}^3/\text{dag} && \text{incl. debietreductie t.g.v. damwand} \\ &= 13,2 \text{ m}^3/\text{uur} \end{aligned}$$

Verruijt

$$Q_r = - \left(h_0^2 - h_w^2 + \frac{N}{2k} \cdot (R^2 - r_w^2) \right) \cdot \frac{\pi k}{\ln \left(\frac{r_w}{R} \right)}$$



Lekkage van damwanden

$$\begin{aligned} H_d &= 7,50 \text{ m} && \rho = 0,0043 \text{ dagen} \\ H_w &= 2,50 \text{ m} && n = 298 \text{ (aantal damwandsloten)} \\ Q_{ld} &= 28,0 \text{ m}^3/\text{dag} \end{aligned}$$

Sellmeijer

$$Q = \rho \cdot n \cdot H_w \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot H_w + H_d \right)$$

Bepaling maatgevend maanddebiet en totale bemalingsdebiet

Om het volledige bemalingsdebiet te kunnen bepalen moet het verloop van de reikwijdte en het debiet over de periode van t_1 tot t bepaald worden. In onderstaande tabel is op diverse tijdstippen de reikwijdte, het debiet en het cumulatieve debiet weergegeven.

Basis gegevens			Berekende debieten volgens Thiem				Berekende debieten volgens Verruijt			
t	R	Q_{id}	Q_o	$Q_{onv,red}$	Q_{tot}	$Q_{tot,cum}$	Q_r	$Q_{r,onv,red}$	$Q_{r,tot}$	$Q_{r,tot,cum}$
7	48,4	28	1681	1308	1336	15231	1681	1308	1336	15231
10	54,6	28	1590	1237	1265	19133	1453	1130	1159	18973
14	64,6	28	1188	925	953	23569	1088	847	875	23040
21	79,2	28	911	709	737	29483	837	652	680	28481
30	94,6	28	756	588	616	35573	698	543	571	34110
60	133,8	28	568	442	470	51869	533	415	443	49320
90	163,9	28	496	386	414	65128	472	368	396	61896
120	189,2	28	455	354	382	77067	440	342	370	73388
180	231,8	28	407	317	345	98881	406	316	344	94821
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Maximale maanddebiet treedt op tijdens de 1^e maand van de bemaling:

$t_{mnd} = 30$ dagen

$Q_{mnd,max} = 35573 \text{ m}^3/\text{maand}$
Volgens Thiem

<

$Q_{toel,max} = 50000 \text{ m}^3/\text{maand}$

akkoord

Het totale debiet van de bemaling bedraagt:

$Q_{tot,max} = 98881 \text{ m}^3$ Volgens Thiem

Bepaling invloedsgebied bemaling

Het invloedsgebied van de bemaling wordt begrensd door de zone waar de waterstandsaling nog maar 0,05 m bedraagt.

Voor de verlaging van de grondwaterstand volgens Theis-Jacob-Edelman: $\Delta h_w = \frac{Q_o}{4\pi \cdot k \cdot H} \cdot W(u)$

Voor de verlaging van de grondwaterstand volgens Thiem geldt: $\Delta h_w = \frac{Q_o}{2\pi \cdot k \cdot H} \cdot \ln \frac{R}{r}$

Bij $\Delta h_w = 0,05 \text{ m}$

en $Q_o = 407 \text{ m}^3/\text{dag}$ op $t = 180$ dagen geldt dan: $R = 222,9 \text{ m}$

De invloed van de verlaging (0,05 m) vanaf de rand van de bouwkuip bedraagt dan:

$R - r = 189,7 \text{ m}$

Voor de verlaging van de grondwaterstand volgens Verruijt geldt: $h_{(r)}^2 = h_0^2 + \frac{N}{2k} (R^2 - r^2) + \frac{Q_o}{\pi k} \cdot \ln \frac{r}{R}$

