



---

# Milon NL IABC - Leursebaan Breda

Rapportage geotechnisch onderzoek | Breda

1320-165830 | 21-04-2020

Definitief

**Milon B.V.**



Gemeente Breda

Bijlage 18 bij besluit  
Z2020-006253-V1

V&L

# 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<br>Postbus 63<br>2260 AB Leidschendam<br>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       | Patrick Michielsen | Junior Project Manager |

---

## Inhoudsopgave

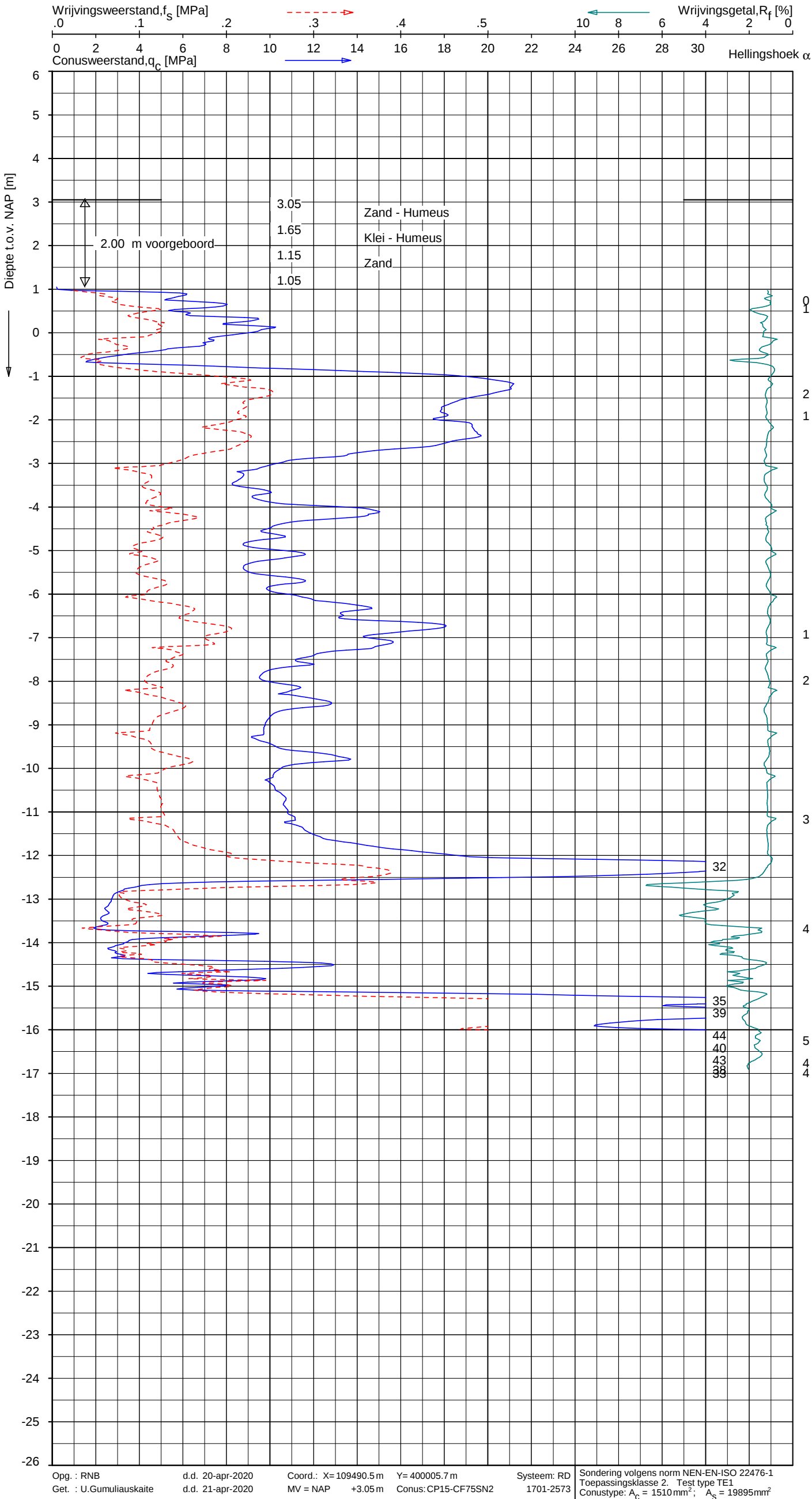
1. Rapportageoverzicht
2. Situatiekening(en)
3. Onderzoeksdata
4. Toelichting geotechnisch onderzoek
5. Continu elektrisch sonderen
6. Legenda terreinproeven

## Rapportageoverzicht

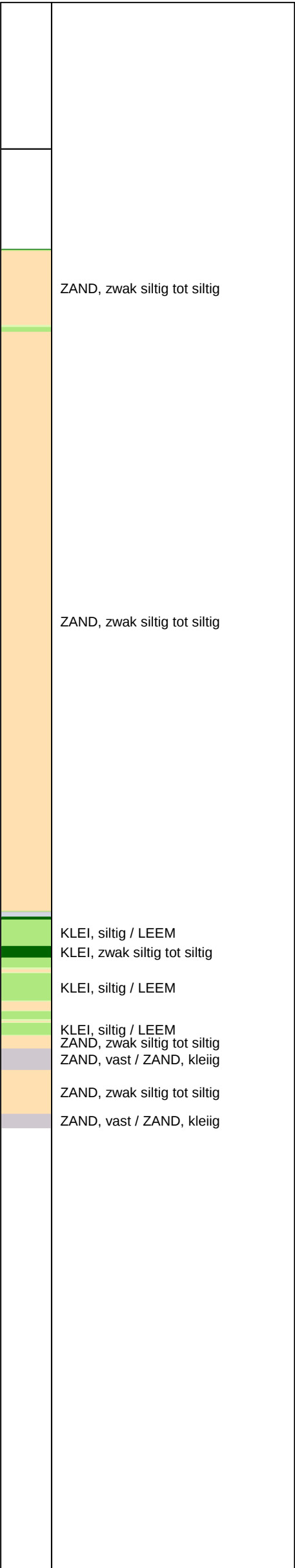
Projectnaam: Milon NL IABC - Leursebaan Breda  
Fugro-projectnr.: 1320-165830

| Naam                       | RD Coördinaten<br>(m) |          | Hoogte<br>(m)<br>t.o.v.<br>NAP | Grondwater-<br>stand (m)<br>t.o.v.<br>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                          |                                           |                           |





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

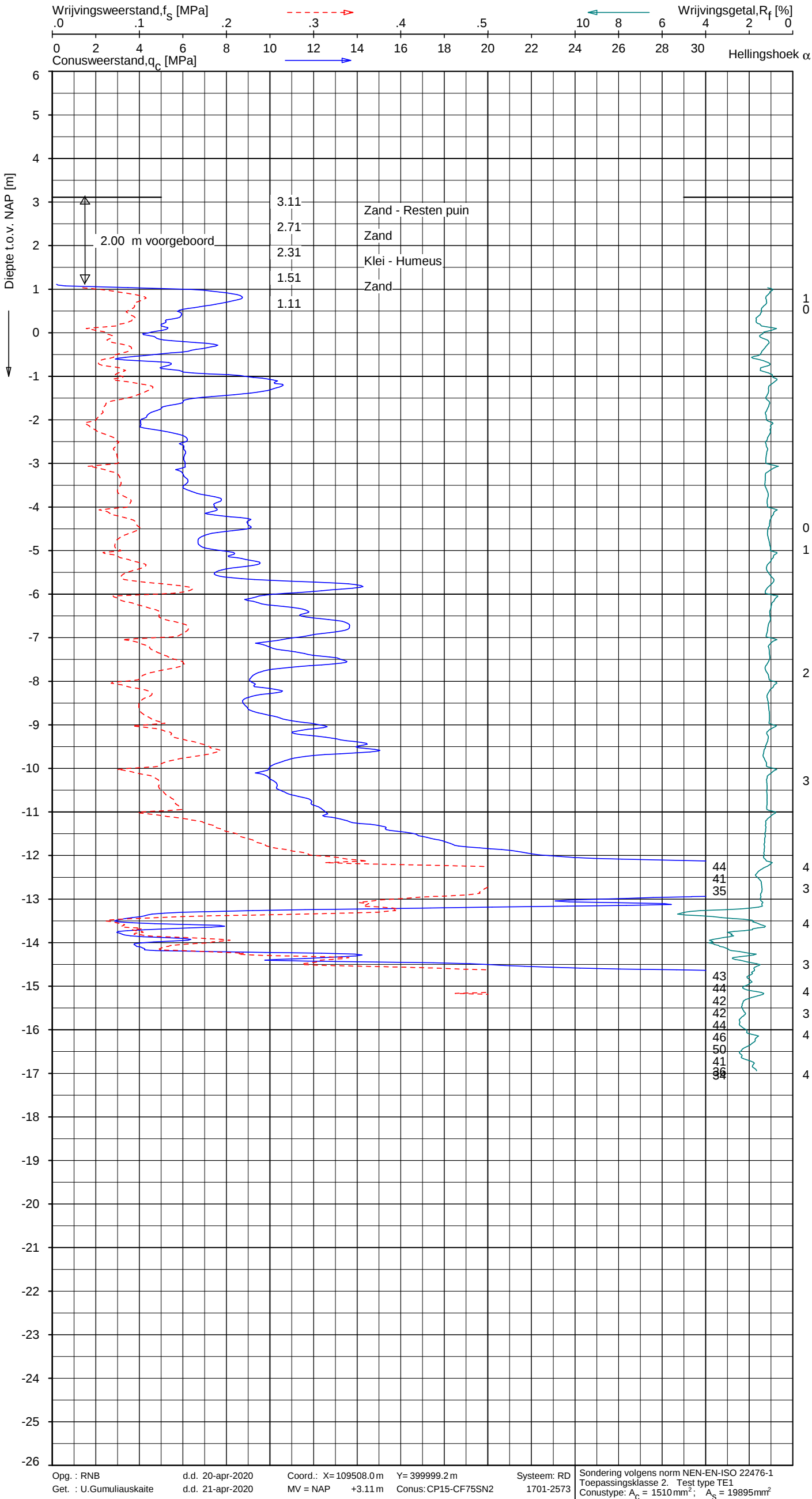


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

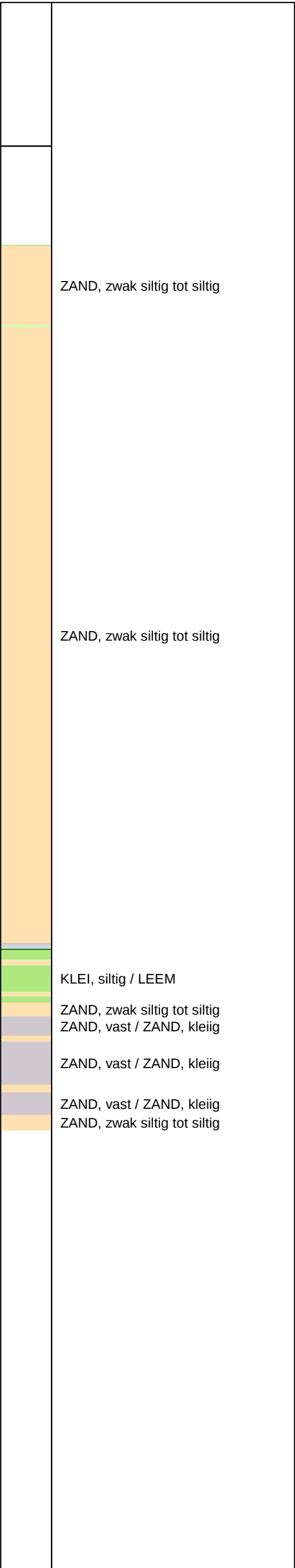
MILON NL IABC - LEURSEBAAN BREDA

Opdr. 1320-165830  
Sond. DKM1





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

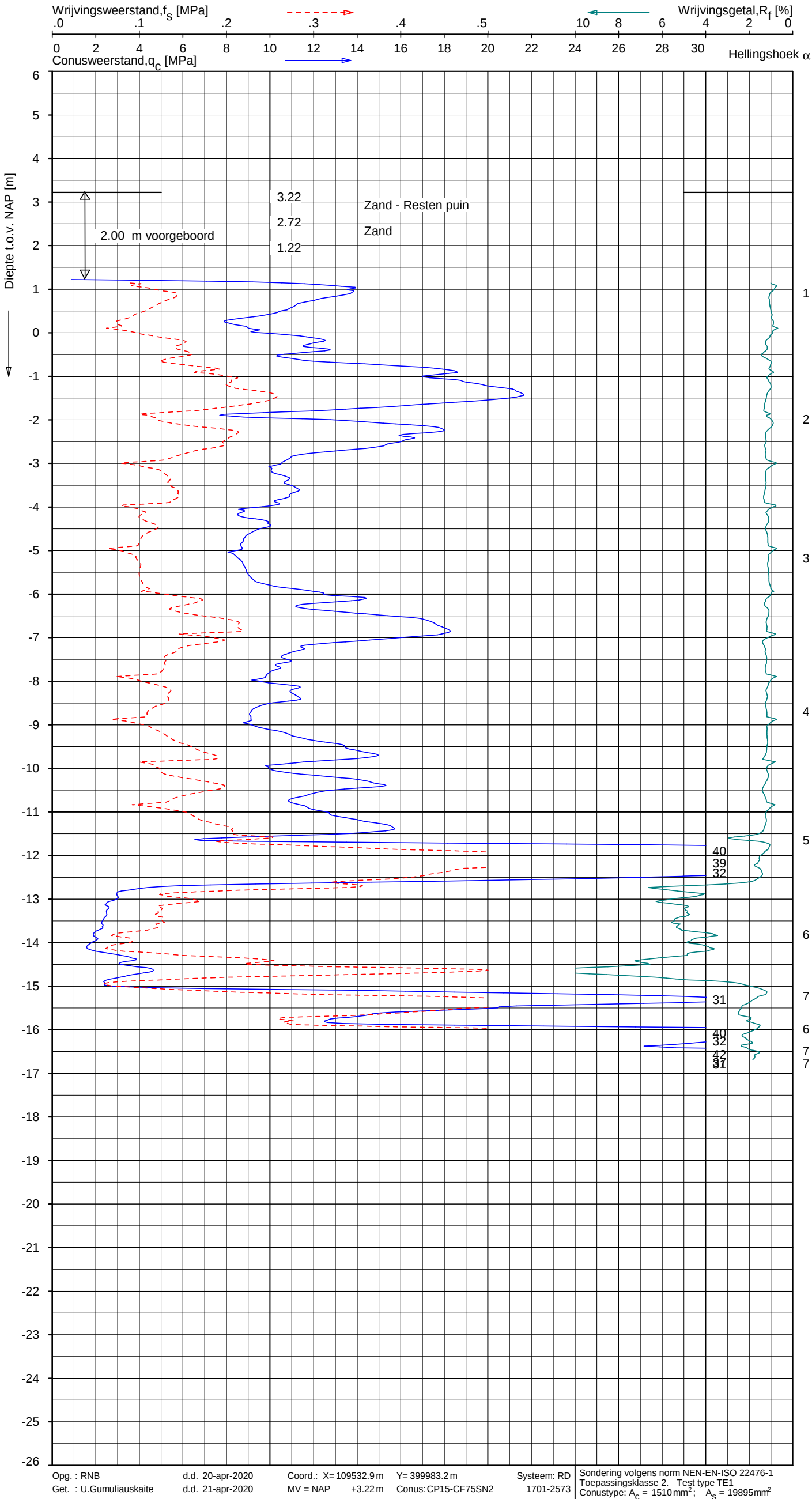


Opg.: RNB d.d. 20-apr-2020 Coord.: X=109508.0 m Y= 399999.2 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get.: U.Gumuliauskaite d.d. 21-apr-2020 MV = NAP +3.11 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2573 Toepassingsklasse 2. Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1510 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

**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.)



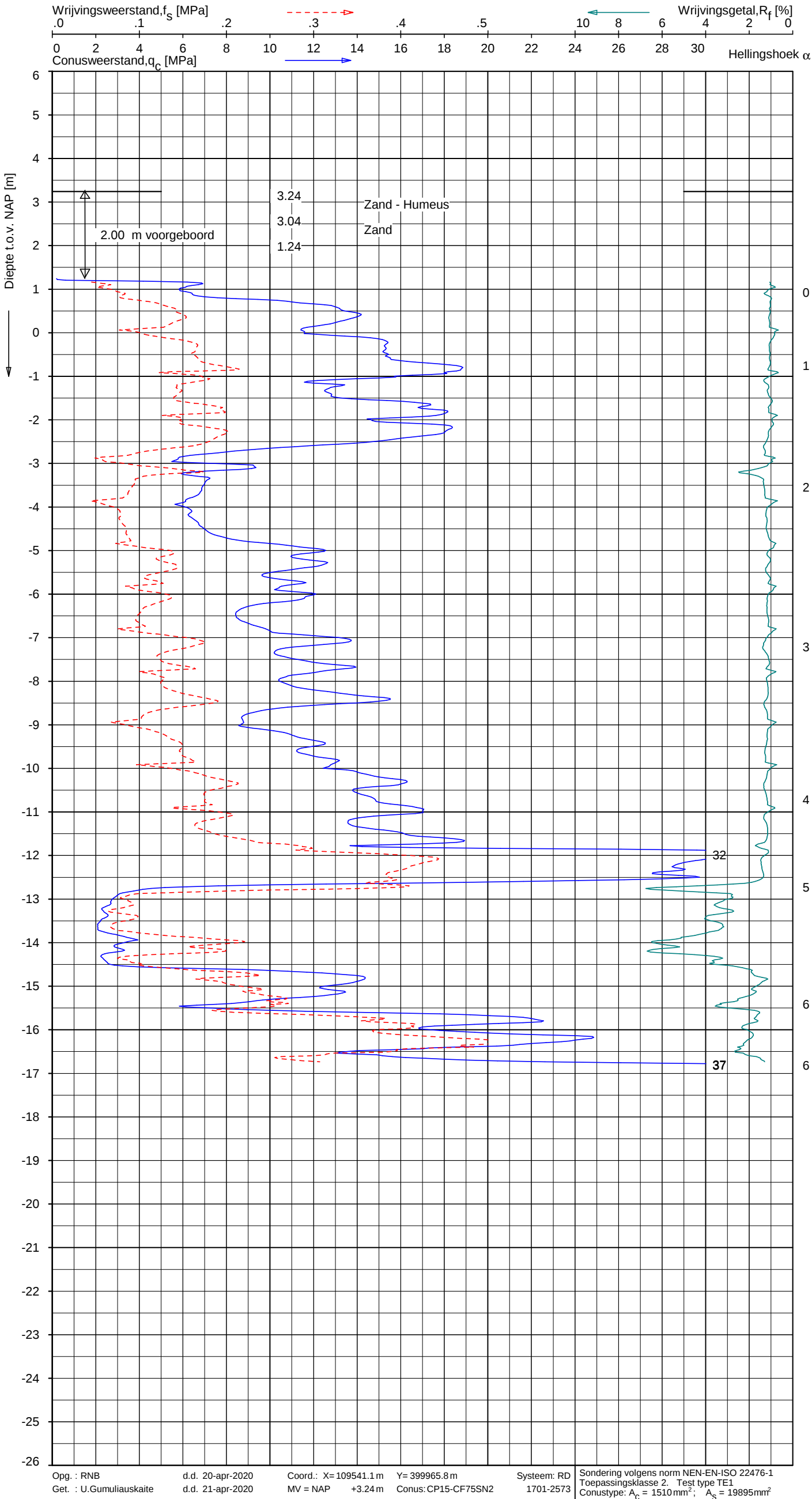
Opg.: RNB d.d. 20-apr-2020 Coord.: X=109532.9 m Y= 399983.2 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get.: U.Gumuliauskaite d.d. 21-apr-2020 MV = NAP +3.22 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2573 Toepassingsklasse 2. Test type TE1  
Conustype: A<sub>c</sub> = 1510 mm<sup>2</sup>; A<sub>s</sub> = 19895 mm<sup>2</sup>

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.)

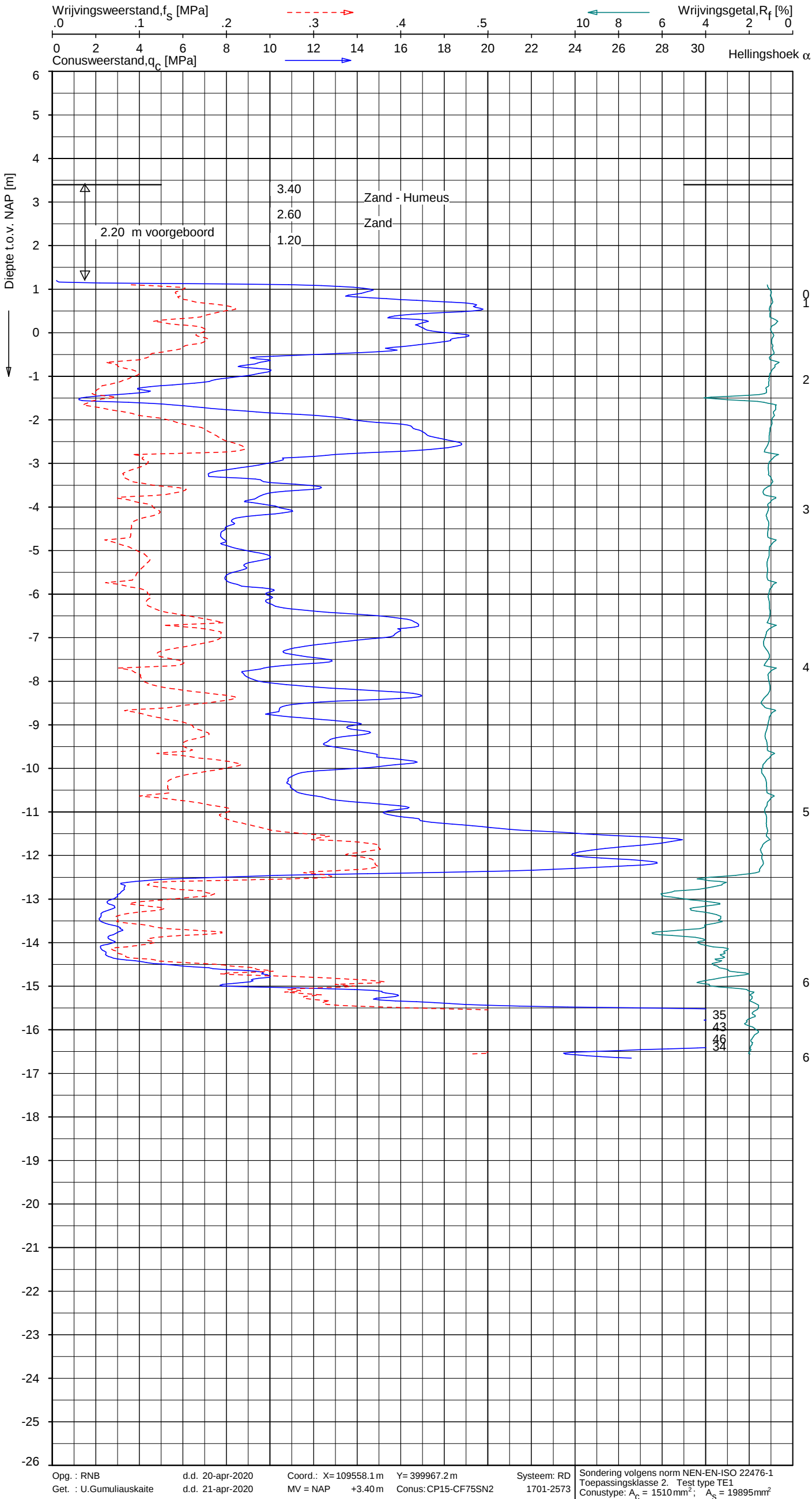


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

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.)

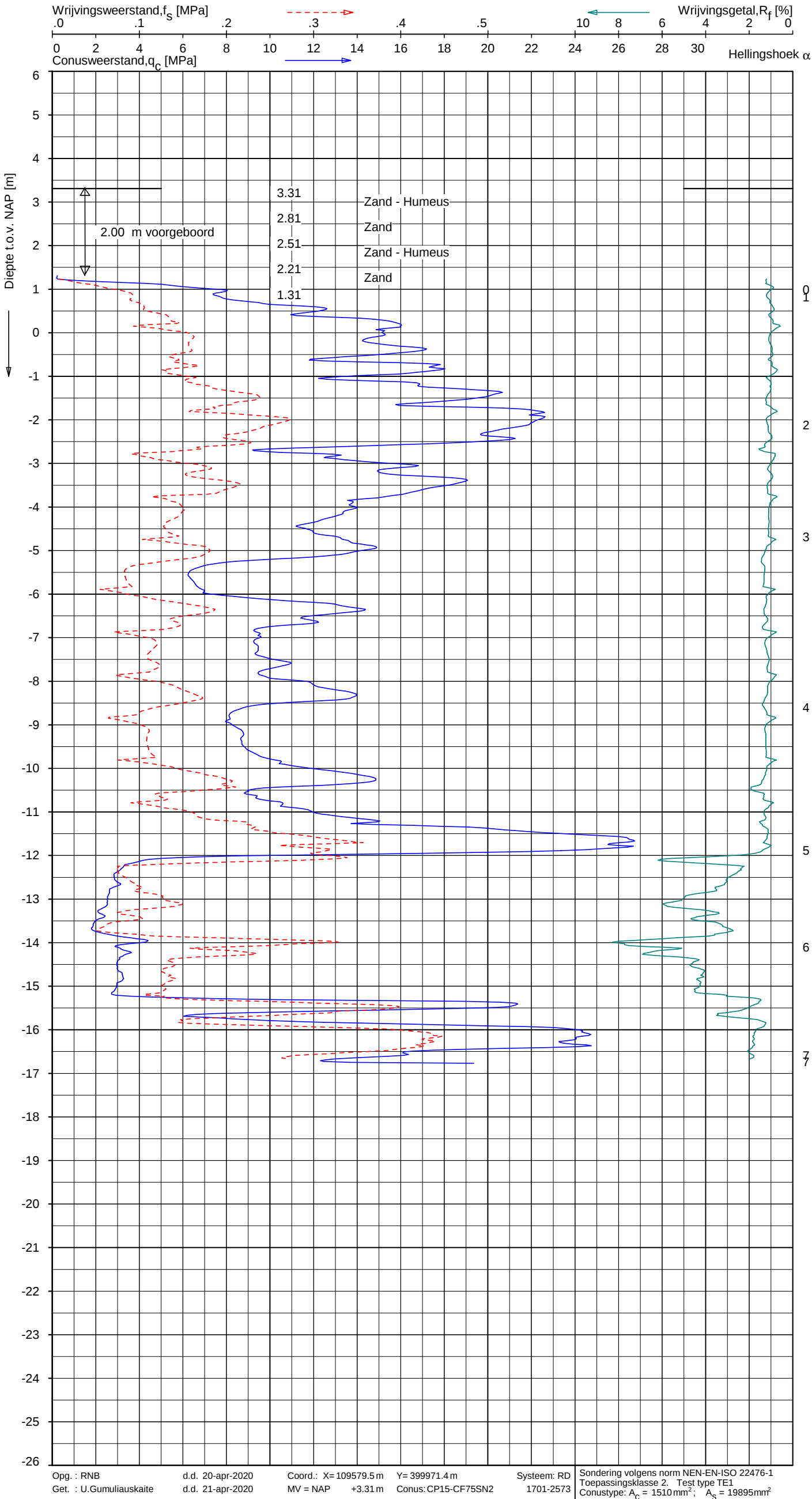


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

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.)

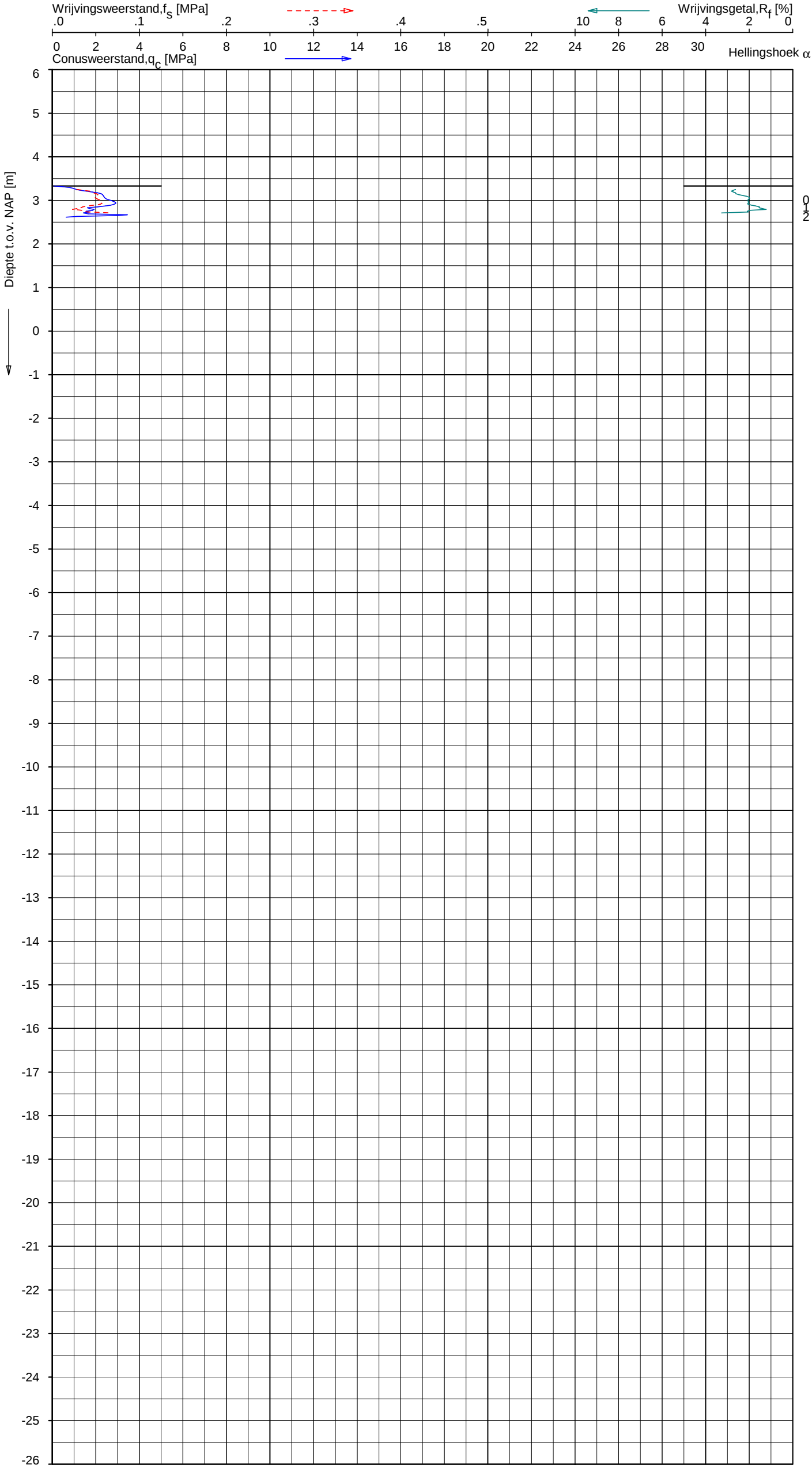


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

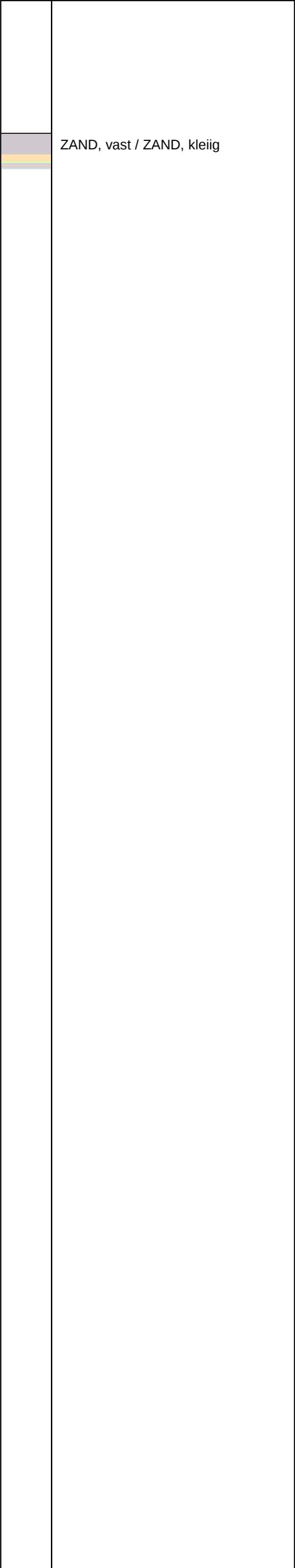
MILON NL IABC - LEURSEBAAN BREDA

Opdr. 1320-165830  
Sond. DKM6





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



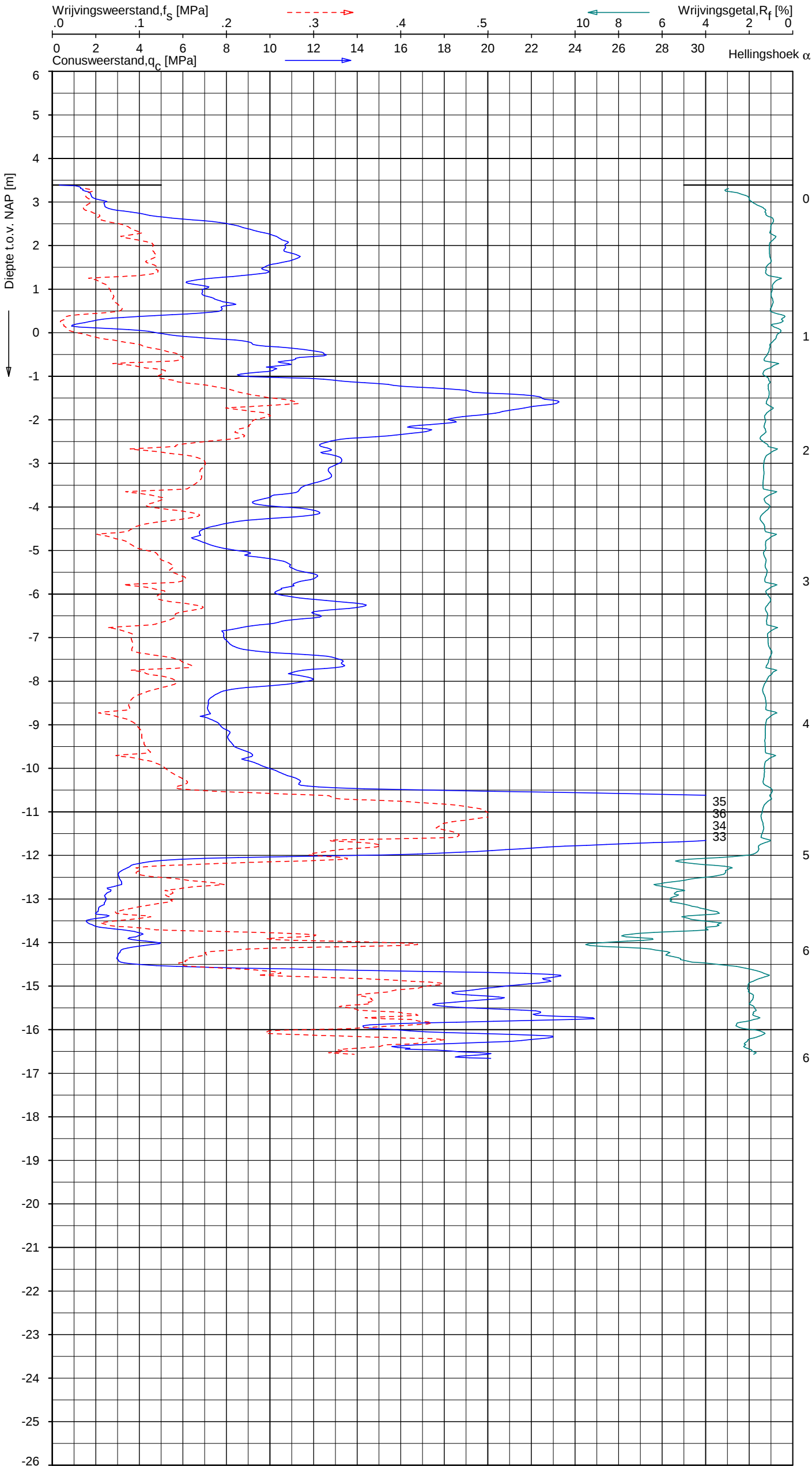
|                        |                  |                      |               |                     |                                                                   |
|------------------------|------------------|----------------------|---------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 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 | Toepassingsklasse 2. Test type TE1                                |
|                        |                  |                      |               | 1701-2573           | Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$ ; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$ |

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

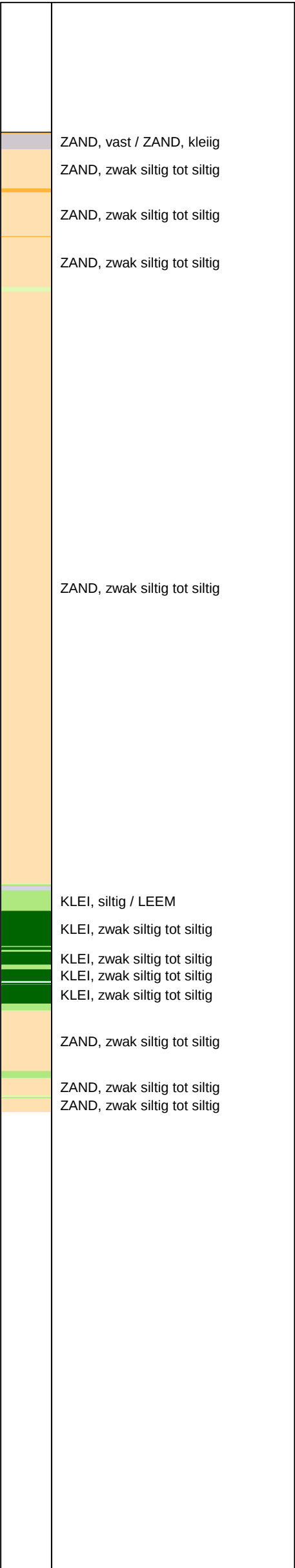
MILON NL IABC - LEURSEBAAN BREDA

Opdr. 1320-165830  
Sond. DKM7





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

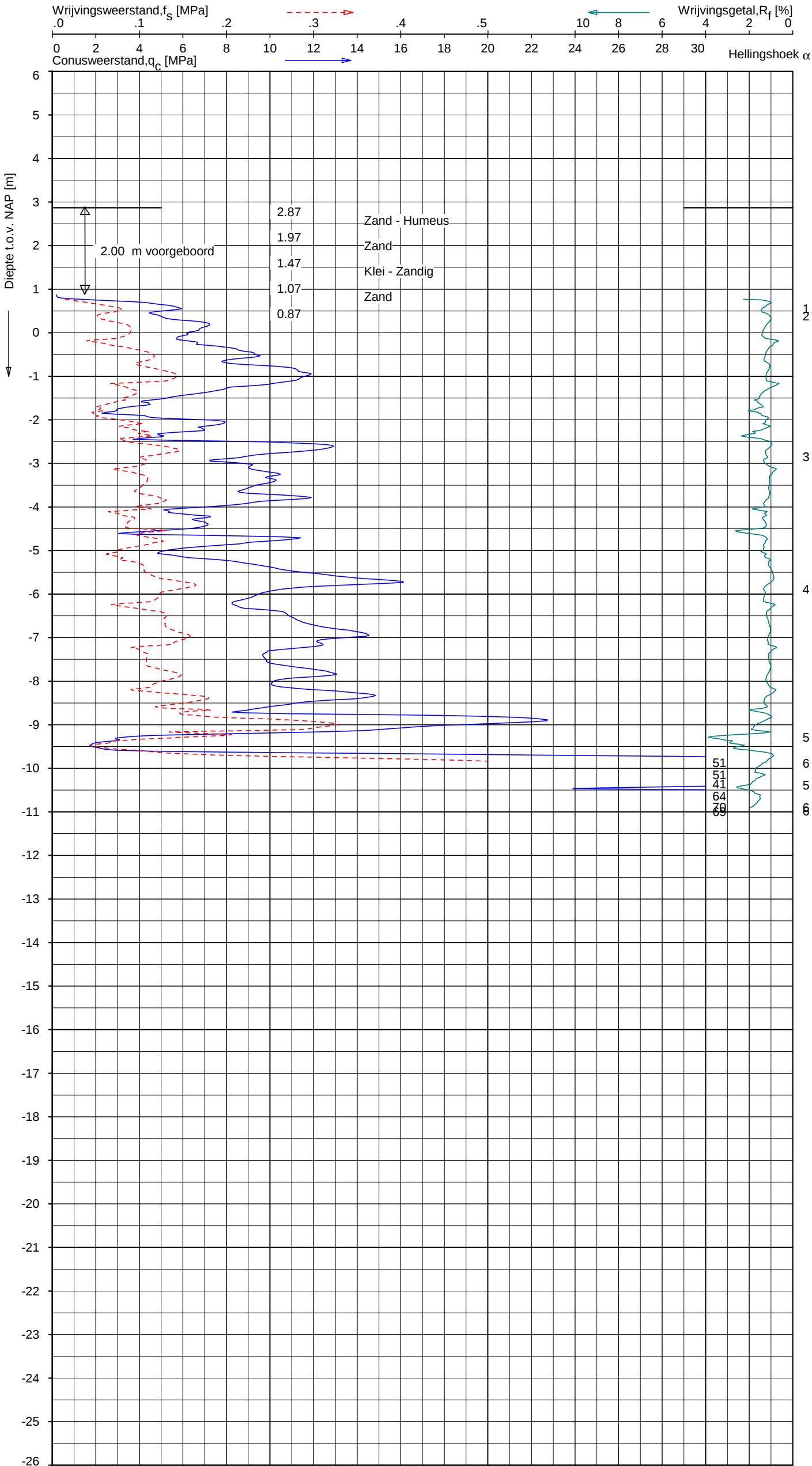


Opg.: RNB d.d. 20-apr-2020 Coord.: X=109602.7 m Y= 399972.5 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get.: U.Gumuliauskaite d.d. 21-apr-2020 MV = NAP +3.39 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2573 Toepassingsklasse 2. Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1510 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

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.)



Opg.: RNB d.d. 20-apr-2020 Coord.: X=109762.5 m Y= 400133.9 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get.: U.Gumuliauskaite d.d. 21-apr-2020 MV = NAP +2.87 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2573 Toepassingsklasse 2. Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1510 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

**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 mm<sup>2</sup> 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 mm<sup>2</sup> 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 mm<sup>2</sup> variëren zonder dat correctiefactoren op de meetresultaten moeten worden toegepast. Fugro sonderingen worden standaard uitgevoerd met een sondeerconus met een basisoppervlak van 1500 mm<sup>2</sup> en een manteloppervlak van 20000 mm<sup>2</sup>.

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 *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]<sup>†</sup>, 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

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

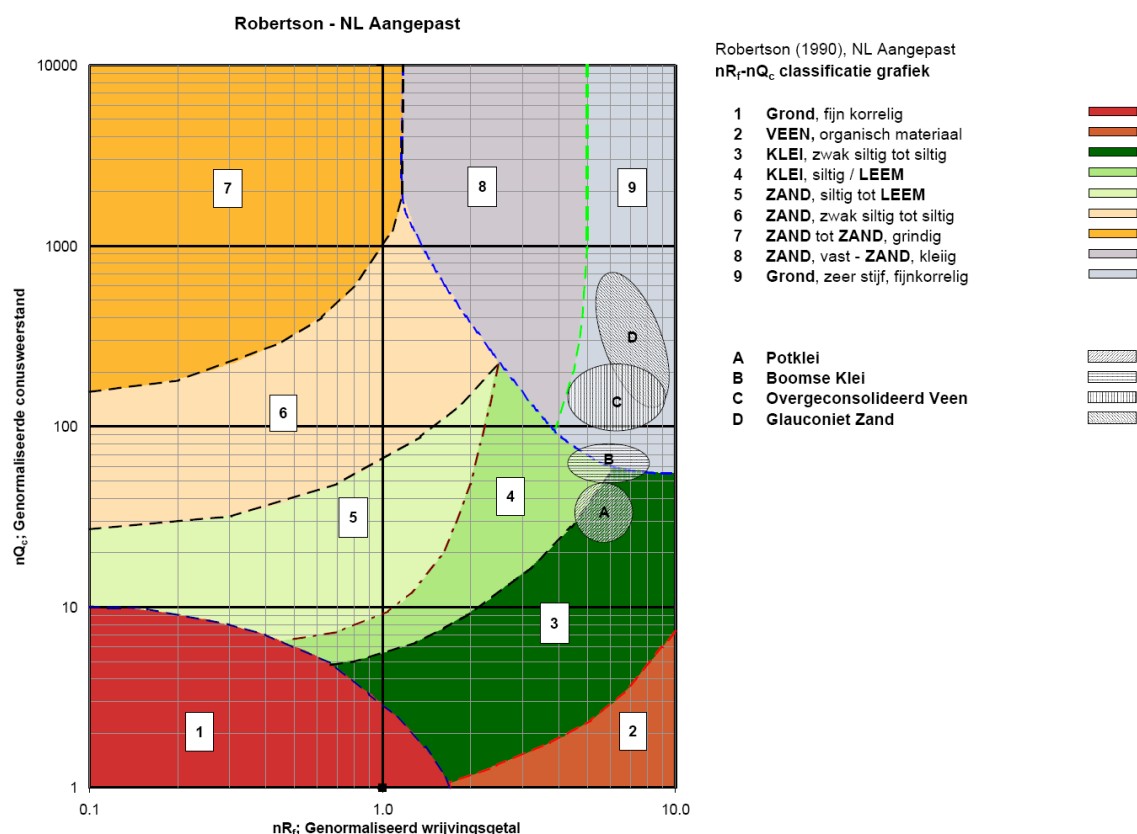
Vergelijking 2

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

<sup>†</sup> 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.

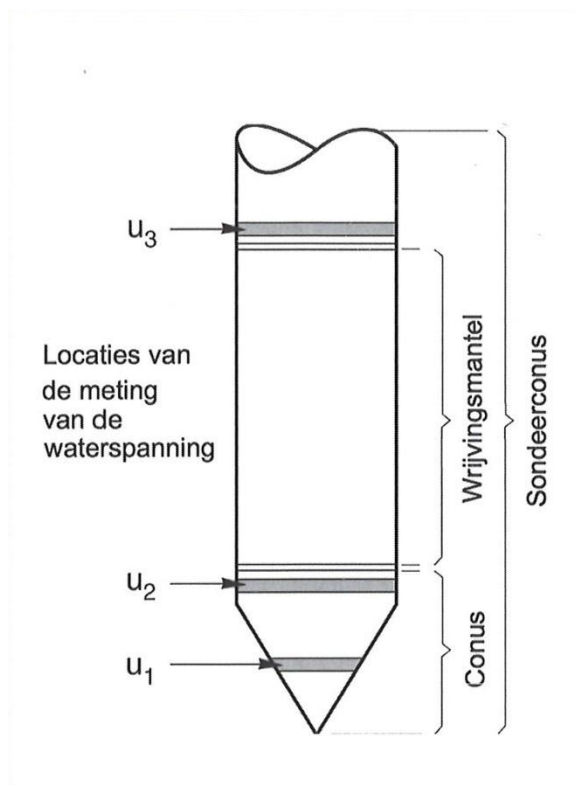
Tabel 2: Overzicht andere conustypen met toepassingsmogelijkheden

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

## 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:

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

Vergelijking 3

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

Vergelijking 4

Waarin:

- $\beta$  = 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
- $\sigma_{v0}$  = de verticale grondspanning; standaard wordt hierbij uitgegaan van een gemiddeld volumiek gewicht van de bodemlagen van 14 kN/m<sup>3</sup> 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  $\beta$ -factoren in tabel 3 gegeven.

Tabel 3:  $\beta$ -factor per grondsoort

| Grondgedrag                                                                                                                                                                                                                                   | $\beta$ -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:<br>* = 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 <sup>a</sup>                          | Maximum lengte tussen metingen | Gebruik          |                               |
|-------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|
|                   |            |                                                                                                                                                                                |                                                                         |                                | Grondsoort       | Interpretatie                 |
| 1                 | TE2        | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Conusweerstand</li> <li>■ Mantelwrijving</li> <li>■ Waterspanning</li> <li>■ Helling</li> <li>■ Sondeerlengte</li> </ul>              | 35 kPa of 5 %<br>5 kPa of 10 %<br>10kPa of 2 %<br>2°<br>0,1 m of 1%     | 20 mm                          | A                | G,H                           |
| 2                 | TE1<br>TE2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Conusweerstand</li> <li>■ Mantelwrijving</li> <li>■ Waterspanning</li> <li>■ Helling</li> <li>■ Sondeerlengte</li> </ul>              | 100 kPa of 5 %<br>15 kPa of 15 %<br>25 kPa of 3 %<br>2°<br>0,1 m of 1 % | 20 mm                          | A<br>B<br>C<br>D | G, H*<br>G, H<br>G, H<br>G, H |
| 3                 | TE1<br>TE2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Conusweerstand</li> <li>■ Mantelwrijving</li> <li>■ Waterspanning <sup>d</sup></li> <li>■ Helling</li> <li>■ Sondeerlengte</li> </ul> | 200 kPa of 5 %<br>25 kPa of 15 %<br>50 kPa of 5 %<br>5°<br>0,2 m of 2 % | 50 mm                          | A<br>B<br>C<br>D | G<br>G, H*<br>G, H<br>G, H    |
| 4                 | TE1        | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Conusweerstand</li> <li>■ Mantelwrijving</li> <li>■ Sondeerlengte</li> </ul>                                                          | 500 kPa of 5 %<br>50 kPa of 20 %<br>0,2 m of 1 %                        | 50 mm                          | A<br>B<br>C<br>D | G*<br>G*<br>G*<br>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 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                              |
| <b>Overige symbolen</b>                                                             |                                                              |  | Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd door derden |
|  | Meetpunt                                                     |  | Hellingmeterbuis nog niet uitgevoerd                          |
|  | Hoogtemaat                                                   |  | Hellingmeterbuis uitgevoerd                                   |
| <b>Type sonderingen</b>                                                             |                                                              | <b>Toegevoegde metingen</b>                                                         |                                                               |
| D                                                                                   | Diepsondering                                                | KM                                                                                  | Meting van de plaatselijke kleef                              |
| HS                                                                                  | Handsondering                                                | P                                                                                   | Meting van de waterspanning                                   |
| S                                                                                   | Slagsondering                                                | M                                                                                   | Meting van de magnetische veldsterkte                         |
|                                                                                     |                                                              | G                                                                                   | Meting van de geleidbaarheid                                  |
|                                                                                     |                                                              | S                                                                                   | Meting van de schuifgolfsnelheid (seismische meting)          |
|                                                                                     |                                                              | T                                                                                   | Meting van de temperatuur                                     |

## Peilbuis

