

**ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ
DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL**

RAPPORTAGE BEREKENINGEN CONFORM NEN 3650-51-serie

T.B.V.

HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK TE TULL EN 'T WAAL

I.V.M.

AANSLUITEN DRINKWATERLEIDING WOONSCHEPEN T.H.V. DE OSSENWAARD

**ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ
DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL**

Projectomschrijving : Gestuurde boring (1*Ø90)

Projectlocatie : Onder de Lekdijk nabij de Ossenwaard te Tull en 't Waal

Opdrachtgever : Vitens

Opdracht nr klant : -

Ontwerpde partij : Van den Heuvel Aannemingsbedrijf BV

Projectleider : W.M. Stigter

Projectengineer : M. Jansen

Bezoekadres : Kruishoekstraat 13

Postcode : 5384 TK

Gemeente : Heesch

Postadres : Postbus 31

Postcode : 5384 ZG

Gemeente : Heesch

Telefoonnummer : 0412 - 45 38 72

E-mail adres : ib@heuvelheesch.nl

Opgesteld door : M. Jansen	Opgesteld, d.d. : 23-07-2019	Handtekening: 
Goedgekeurd door : W.M. Stigter	Goedgekeurd, d.d.: 23-07-2019	Handtekening: 

**ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ
DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL**

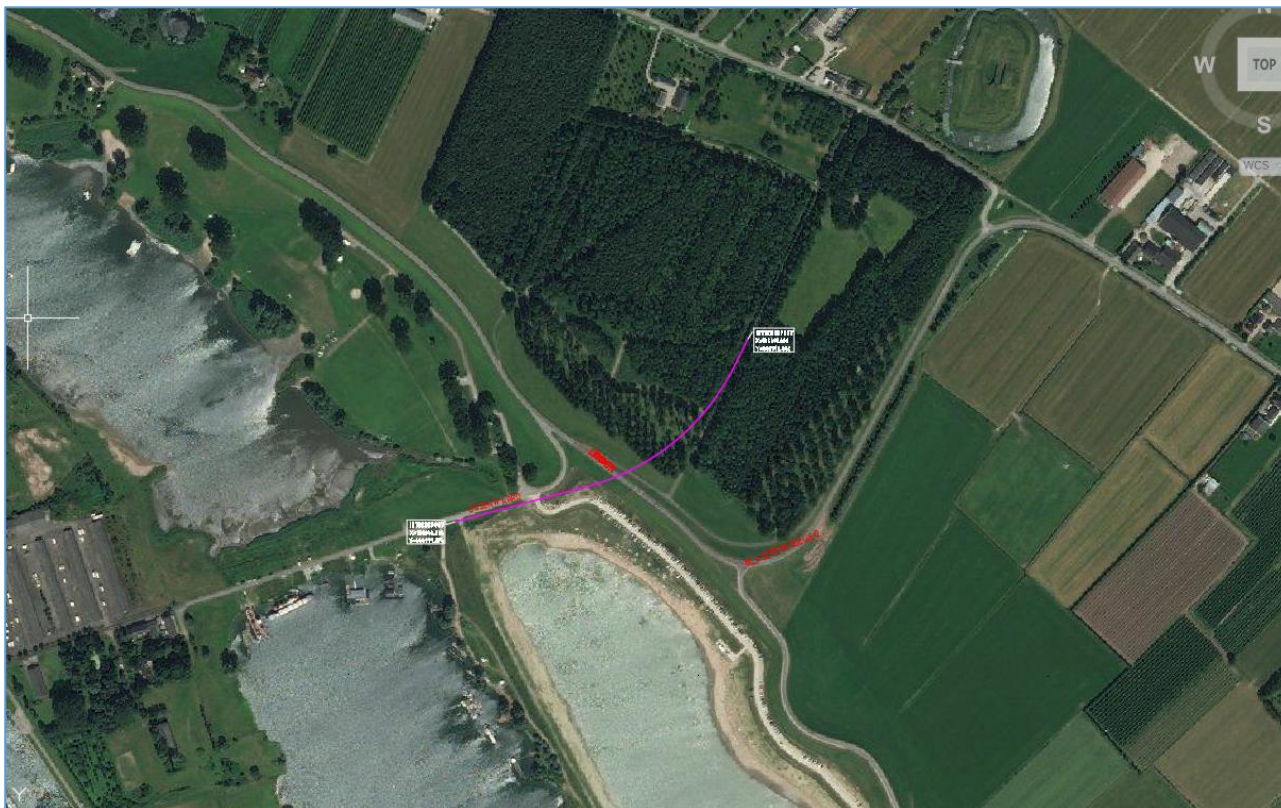
Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	HDD-boring	5
2.1	Boorspoeldrukken	5
2.2	Trekoperatie HDD	7
2.3	Optredende spanningen in de gebruiksfase	8
2.4	Deflectie	10
2.5	Implosie	11
3	Conclusie	12
	Bijlage 1: Grondonderzoek gegevens, 7 stuks sonderingen en 2 stuks boringen	13
	Bijlage 2: Tekening 18.2.147, blad 1, versie 8.0, d.d. 23-07-2019	14
	Bijlage 3: Muddrukberekening (pilot)	15
	Bijlage 4: Sterkte-, trekkracht en boorspoeldruk berekening HDD-boring Ø90	16

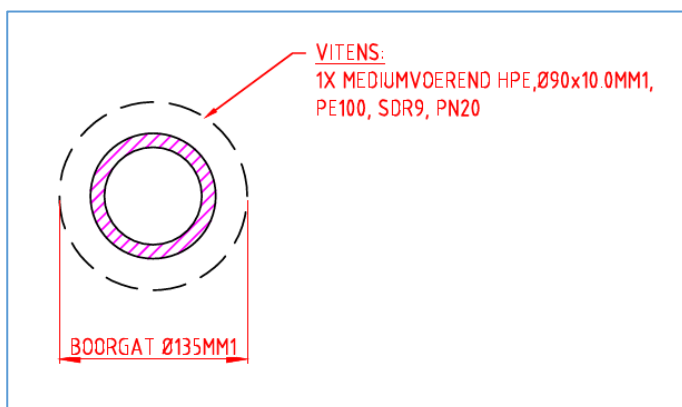
ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL

1 Inleiding

Van den Heuvel Aannemingsbedrijf B.V. is bezig met de engineering van één stuks gestuurde boring onder de Lekdijk nabij de Ossenwaard te Tull en 't Waal. Het betreft de aanleg van één HPEØ90 medium voerende buis, PE100, SDR9 ten behoeve van drinkwater. De gestuurde boring heeft een lengte van circa 390 meter.



De gestuurde boring bestaat uit één HPEØ90 medium voerende buis uitgevoerd in PE100, SDR9, PN20.



De buis heeft een wanddikte van 10,0 mm.

Onderstaand een verklaring en toelichting op de resultaten van de met Sigma 2018 gemaakte sterkte-, trekkracht- en boorspoeldrukberendingen.

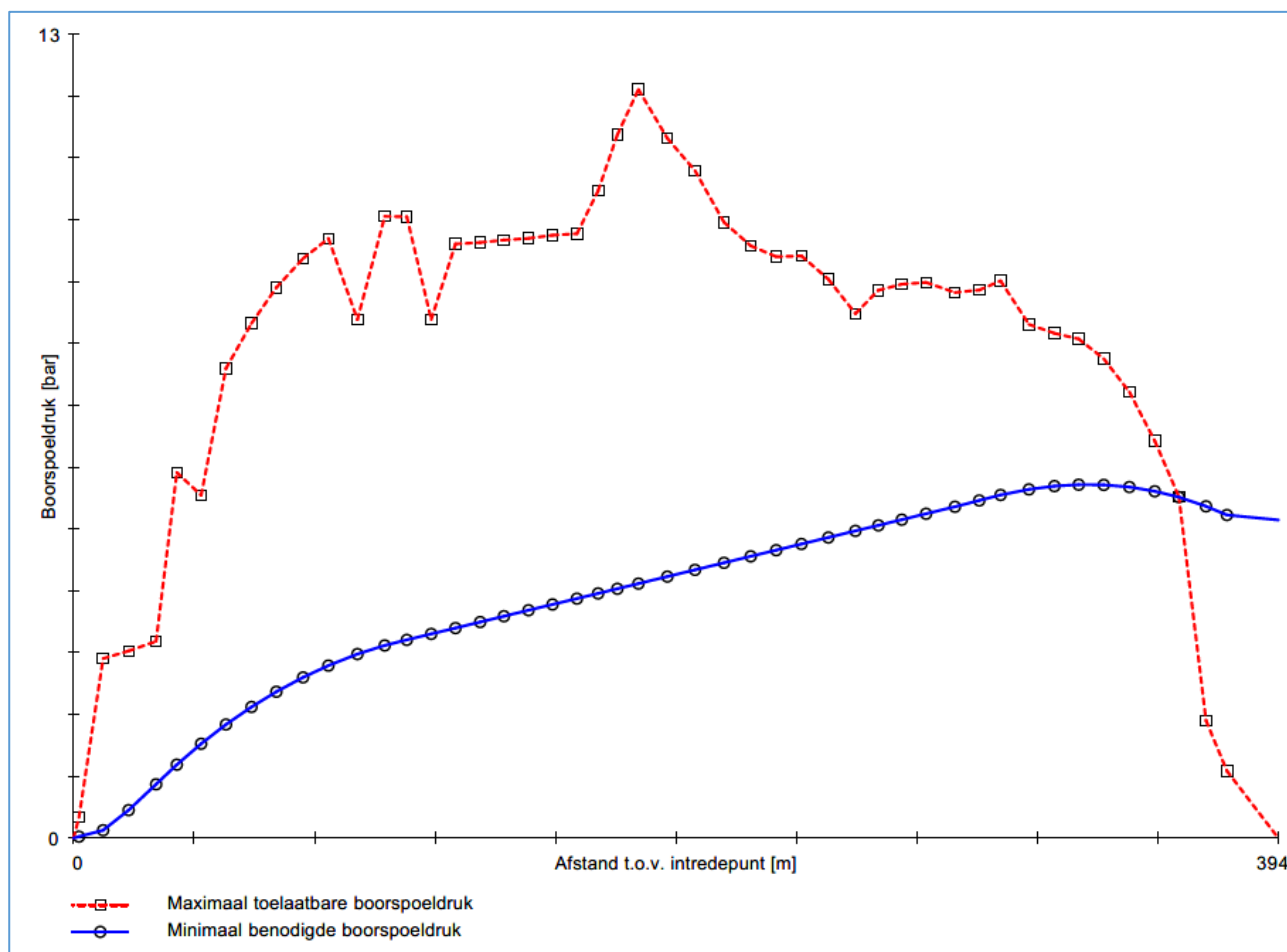
ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL

2 HDD-boring

2.1 Boorspoeldrukken

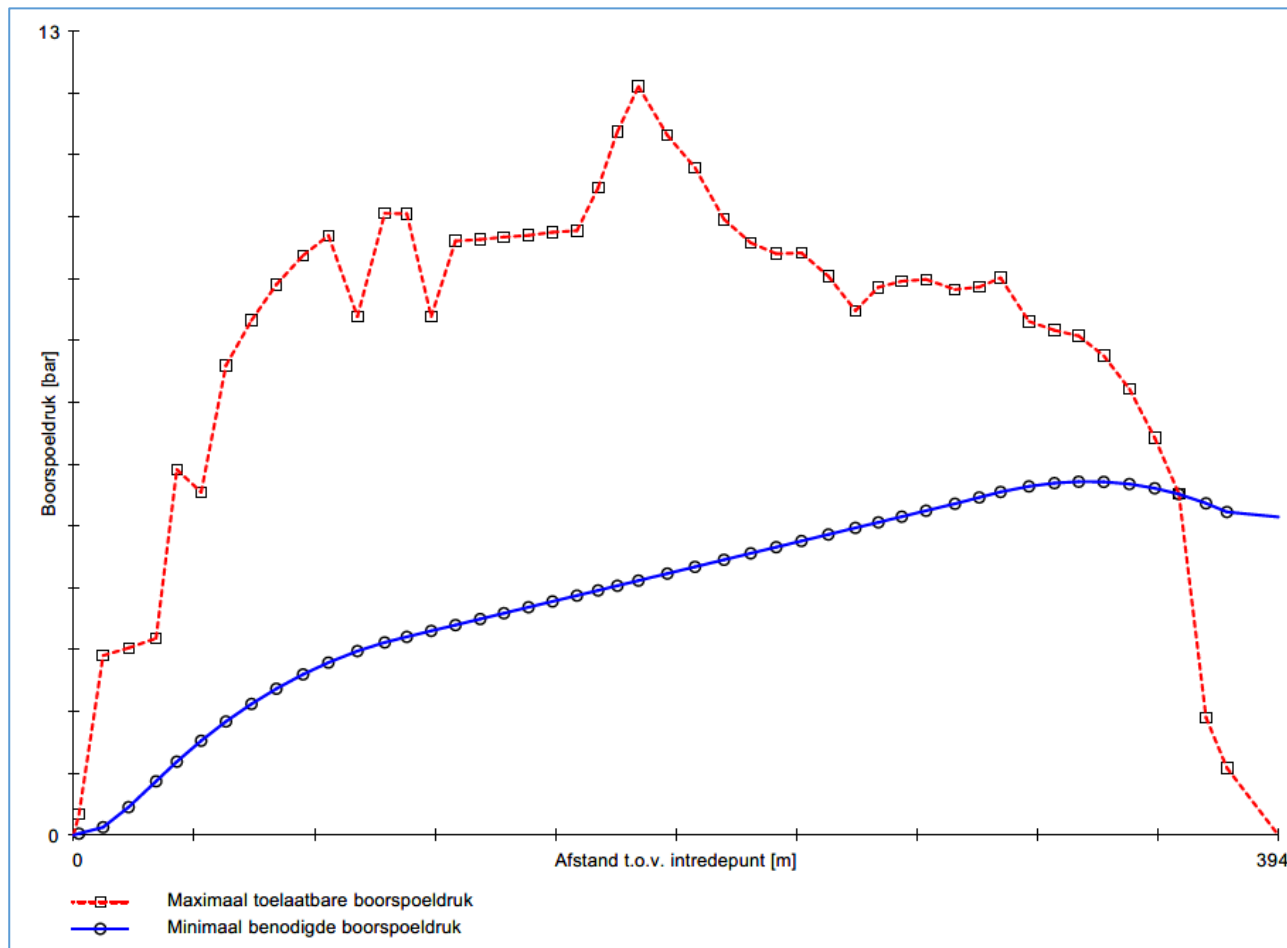
Met behulp van berekeningen zijn toelaatbare boorspoeldrukken en de minimaal benodigde boorspoeldrukken bepaald. Hierbij is rekening gehouden met de toe te passen boorstangen en ruimer. De maximaal toelaatbare boorspoeldrukken (rode gestippelde lijn) zijn hoger dan de minimaal benodigde boorspoeldrukken (blauwe lijn).

Richting het uittredepunt is er, tijdens de pilotboring, mogelijk risico op uitbraak. Hoewel dit inherent is aan de aanlegtechniek dient hier rekening mee gehouden te worden door de booraannemer.



Boorspoeldrukken tijdens pilot (135 mm)

**ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ
DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL**



Boorspoeldrukken tijdens ruimen/intrekken (135 mm)

De pilotboring is maatgevend voor de boorspoeldrukken.

ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL

2.2 Trekoperatie HDD

De maximaal benodigde trekkracht op de Ø90 buis bedraagt circa 21.913 N (≈ 2.19 ton) en treedt op bij het volledig intrekken van de buis.

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,\text{neer}}$ [N]	$T_{3c,\text{neer}}$ [N]	$T_{3b,\text{op}}$ [N]	$T_{3c,\text{op}}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	5.324	1.183	-	-	-	-	6.507
2 ^e deel intrekken	4.319	4.530	21	987	-	-	9.856
3 ^e deel intrekken	1.505	13.894	21	987	-	-	16.407
4 ^e deel intrekken	500	17.240	21	987	21	1.980	20.749
Geheel intrekken	0	18.905	21	987	21	1.980	21.913

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b,\text{neer,max}} + T_{3c,\text{neer}} + T_{3b,\text{op,max}} + T_{3c,\text{op}}$$

ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL

2.3 Optredende spanningen in de gebruiksfase

De maximale optredende spanning in omtreksrichting bedraagt 4,17 N/mm². De maximaal toelaatbare spanning voor toetsing van de spanningen in omtreksrichting bedraagt 8,00 N/mm² en wordt in geen geval overschreden.

9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1	1,54	-	0,65	1,00
2	1,48	-	0,65	0,96
3	1,63	-	0,65	1,06
4	1,97	-	0,65	1,28
5	2,06	-	0,65	1,34
6	2,38	0,0053	0,65	1,55
7	2,83	0,0053	0,65	1,85
8	3,22	0,0053	0,65	2,10
9	3,55	0,0053	0,65	2,31
10	3,82	0,0053	0,65	2,49
11	4,02	0,0053	0,65	2,62
12	4,23	0,0053	0,65	2,75
13	4,23	0,0053	0,65	2,75
14	4,23	-	0,65	2,75
15	4,20	-	0,65	2,73
16	3,85	-	0,65	2,50
17	3,88	-	0,65	2,52
18	3,92	-	0,65	2,55
19	3,96	-	0,65	2,57
20	4,02	-	0,65	2,61
21	4,05	-	0,65	2,63
22	4,72	-	0,65	3,07
23	5,64	-	0,65	3,67
24	6,42	-	0,65	4,17
25	5,60	-	0,65	3,64
26	5,08	-	0,65	3,30
27	4,29	-	0,65	2,79
28	3,95	-	0,65	2,57
29	3,80	-	0,65	2,47
30	3,82	-	0,65	2,48
31	3,50	-	0,65	2,27
32	3,03	-	0,65	1,97
33	3,36	-	0,65	2,18
34	3,46	-	0,65	2,25
35	3,49	-	0,65	2,27
36	3,36	-	0,65	2,19
37	3,40	-	0,65	2,21
38	3,53	0,0053	0,65	2,30
39	2,96	0,0053	0,65	1,93
40	2,91	0,0053	0,65	1,90
41	2,93	0,0053	0,65	1,91
42	2,80	0,0053	0,65	1,83
43	2,55	0,0053	0,65	1,66
44	2,15	0,0053	0,65	1,40
45	1,74	0,0053	0,65	1,13
46	1,09	-	0,65	0,71
47	0,91	-	0,65	0,59

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$

ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL

In langsrichting bedraagt de hoogste spanning 2,35 N/mm². De maximaal toelaatbare spanning voor toetsing van de spanningen in langsrichting bedraagt 8,00 N/mm² en wordt in geen geval overschreden.

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_a [-]	σ_x [N/mm ²]
1	0,61	1,56	-	-	2,17
2	0,61	1,56	-	-	2,17
3	0,61	1,56	-	-	2,17
4	0,61	1,56	-	-	2,17
5	0,61	1,56	-	-	2,17
6	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
7	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
8	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
9	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
10	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
11	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
12	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
13	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
14	0,61	1,56	-	-	2,17
15	0,61	1,56	-	-	2,17
16	0,61	1,56	-	-	2,17
17	0,61	1,56	-	-	2,17
18	0,61	1,56	-	-	2,17
19	0,61	1,56	-	-	2,17
20	0,61	1,56	-	-	2,17
21	0,61	1,56	-	-	2,17
22	0,61	1,56	-	-	2,17
23	0,61	1,56	-	-	2,17
24	0,61	1,56	-	-	2,17
25	0,61	1,56	-	-	2,17
26	0,61	1,56	-	-	2,17
27	0,61	1,56	-	-	2,17
28	0,61	1,56	-	-	2,17
29	0,61	1,56	-	-	2,17
30	0,61	1,56	-	-	2,17
31	0,61	1,56	-	-	2,17
32	0,61	1,56	-	-	2,17
33	0,61	1,56	-	-	2,17
34	0,61	1,56	-	-	2,17
35	0,61	1,56	-	-	2,17
36	0,61	1,56	-	-	2,17
37	0,61	1,56	-	-	2,17
38	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
39	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
40	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
41	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
42	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
43	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
44	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
45	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
46	0,61	1,56	-	-	2,17
47	0,61	1,56	-	-	2,17

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$

Bochten: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \sigma_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$

ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL

2.4 Deflectie

Volgens de NEN 3650 serie moet de boring ook getoetst worden op deflectie (vervorming). Deze mag niet meer bedragen dan 8% van de gemiddelde diameter. De maximaal optredende deflectie voor de leiding bedraagt 2,40 mm, daar waar 6,40 mm is toegestaan (8% van de gemiddelde diameter). De toelaatbare deflectie wordt in geen geval overschreden.

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_v [mm]	δ_v/D_g [%]
1	0,77	4,13	-	0,58	0,72
2	4,31	0,38	-	0,52	0,65
3	4,97	0,20	-	0,50	0,63
4	6,15	0,12	-	0,52	0,65
5	6,47	0,08	-	0,77	0,96
6	7,49	0,06	0,00026	0,84	1,05
7	8,95	0,05	0,00026	1,06	1,32
8	10,21	0,04	0,00026	1,21	1,51
9	11,25	0,04	0,00026	1,33	1,66
10	12,11	0,03	0,00026	1,43	1,79
11	12,71	0,06	0,00026	1,50	1,88
12	13,38	0,06	0,00026	1,49	1,86
13	13,42	0,03	0,00026	1,58	1,98
14	13,42	0,03	-	1,58	1,98
15	13,33	0,03	-	1,48	1,85
16	12,19	0,03	-	1,44	1,80
17	12,29	0,03	-	1,45	1,81
18	12,44	0,03	-	1,47	1,83
19	12,55	0,03	-	1,48	1,85
20	12,74	0,03	-	1,50	1,88
21	12,85	0,03	-	1,51	1,89
22	14,98	0,03	-	1,76	2,21
23	17,89	0,04	-	2,11	2,64
24	20,36	0,04	-	2,40	3,00
25	17,77	0,02	-	2,09	2,62
26	16,13	0,03	-	1,90	2,38
27	13,60	0,03	-	1,60	2,00
28	12,51	0,03	-	1,48	1,84
29	12,04	0,03	-	1,42	1,78
30	12,11	0,03	-	1,43	1,79
31	11,07	0,04	-	1,31	1,63
32	9,58	0,04	-	1,13	1,41
33	10,65	0,04	-	1,26	1,57
34	10,95	0,04	-	1,29	1,62
35	11,06	0,04	-	1,31	1,63
36	10,65	0,04	-	1,26	1,57
37	10,77	0,04	-	1,27	1,59
38	11,19	0,04	0,00026	1,32	1,65
39	9,38	0,04	0,00026	1,11	1,38
40	9,22	0,04	0,00026	1,09	1,36
41	9,28	0,04	0,00026	1,10	1,37
42	8,87	0,05	0,00026	1,05	1,31
43	8,04	0,05	0,00026	0,95	1,19
44	6,77	0,06	0,00026	0,80	1,00
45	5,43	0,08	0,00026	0,65	0,81
46	3,36	0,12	-	0,29	0,36
47	2,73	0,18	-	0,18	0,22

$$\delta_v = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_v = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 40,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 80,00 = **6,40 mm**

ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL

2.5 Implosie

Er is geen enkel risico op implosie op de diepste gedeelten van de boring. Uit de berekeningen blijkt dat het buismateriaal een implosiekans heeft bij meer dan 54,25 meter grondwater boven de leiding.

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot l_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{80,00^3} = 3,02 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{80,00^3} = 0,54 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **54,25 m** grondwater boven de leiding

ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL

3 Conclusie

Uit de sterkteberekeningen blijkt dat de leiding voldoet aan de eisen gesteld in de NEN 3650 en NEN 3651.

De maximaal toelaatbare deflectie en spanningen worden niet overschreden. Er treedt tevens geen gevaar voor implosie op. De toelaatbare trekkracht van de medium voerende buis wordt in geen geval overschreden.

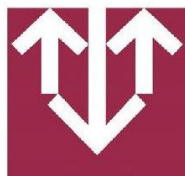
Er worden geen problemen verwacht tijdens het intrekken van de boring.

**ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ
DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL**

Bijlage 1: Grondonderzoek gegevens, 7 stuks sonderingen en 2 stuks boringen

- Wiha grondmechanica, grondonderzoek rapportage (1901504 RG, d.d. 19-07-2019), betreft 7 stuks sonderingen en 2 stuks boringen.

WIHA



GRONDMECHANICA

technisch bodemonderzoek
grondmechanica
milieukunde
adviezen



Rapport:

RESULTATEN GRONDONDERZOEK

Gestuurde boring, Ossenwaard

Tull en 't Waal

Opdrachtgever:
Kenmerk: 18.2.147

Van den Heuvel Aannemingsbedrijf B.V.
Kruishoekstraat 13
5384 TK Heesch

Rapportnummer:

1901504 RG

Versie: 2

Rapportdatum:

19 juli 2019

Contactpersoon:	W Doeswijk	
Dataverwerking:	Bedrijfsbureau	
Controle:		

Inhoudsopgave

1	Projectbeschrijving	1
1.1	Inleiding	1
2	Veldonderzoek	2
2.1	Onderzoeksopzet	2
2.2	Sonderingen	2
2.3	Boringen	2
2.4	Hoogtemeting	2

Bijlagen

Bijlage 1: Resultaten grondonderzoek

1 Projectbeschrijving

1.1 Inleiding

In opdracht van Van den Heuvel Aannemingsbedrijf B.V. is door Wiha Grondmechanica een grondonderzoek uitgevoerd voor het project "Gestuurde boring, Ossenwaard te Tull en 't Waal". In onderhavig rapport worden de resultaten van het grondonderzoek weergegeven.

2 Veldonderzoek

2.1 Onderzoeksopzet

Het grondonderzoek heeft plaatsgevonden in juli 2019.
De onderzoeksopzet is bepaald door de opdrachtgever.

2.2 Sonderingen

Voor dit project zijn door ons bureau 7 onderingen gemaakt. Het betreft sondeernummer: D1 t/m D7. De sonderingen zijn uitgevoerd conform NEN-EN-ISO 22476-1, met een sondeerunit met een elektrische kleefmantelconus klasse 2.

In Bijlage 1 zijn de sondeergegevens in grafiekvorm weergegeven, evenals een situatieschets met de locaties van de sondeerpunten. Stopcriterium en eventuele opmerkingen ten aanzien van de uitvoering zijn per sondering weergegeven in de waterpasstaat (Bijlage 1).

2.3 Boringen

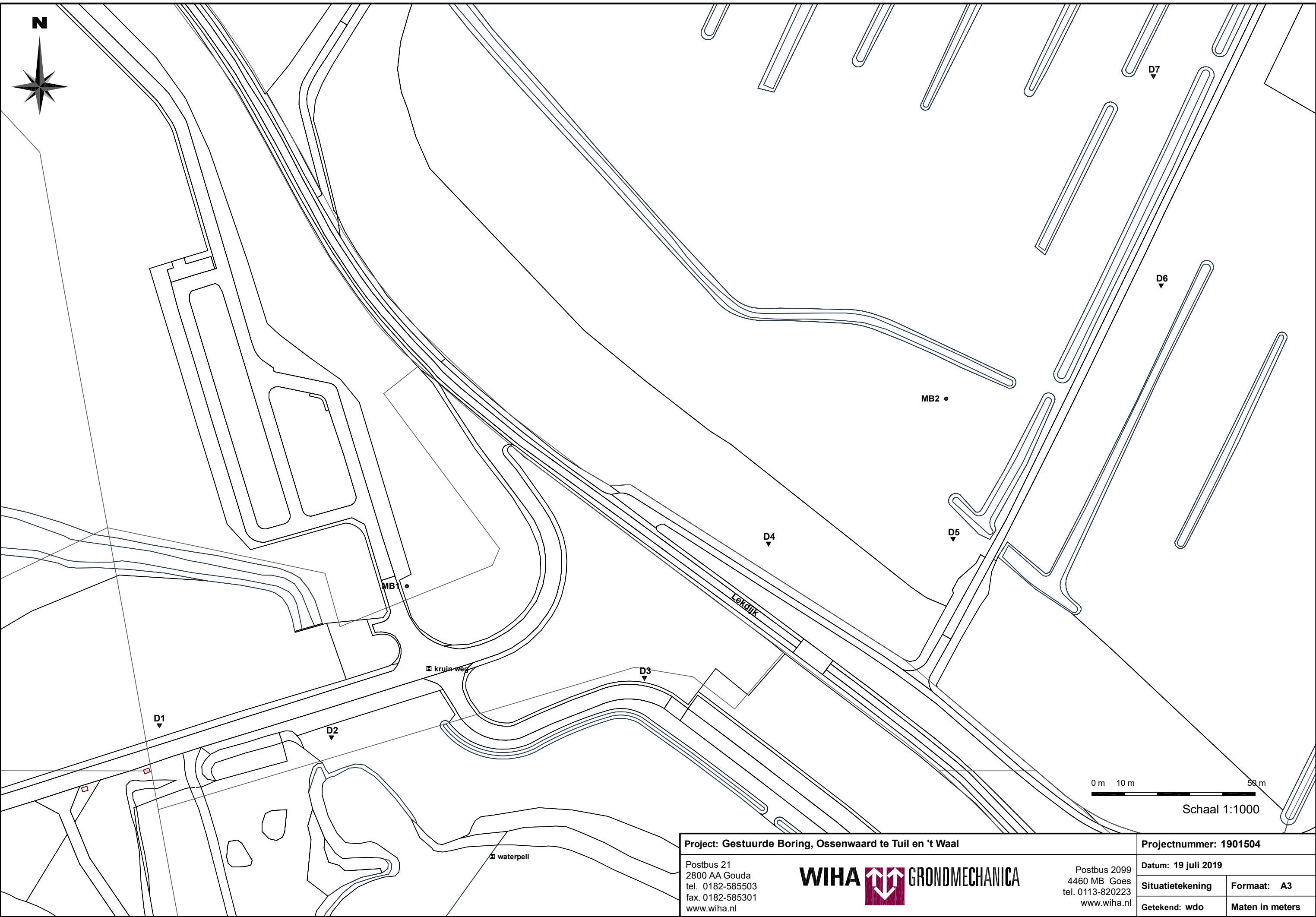
Om inzicht te krijgen in de grondsamenstelling en de actuele grondwaterstand zijn 2 mechanische boringen verricht. Het betreft boring B1 en boring B2.

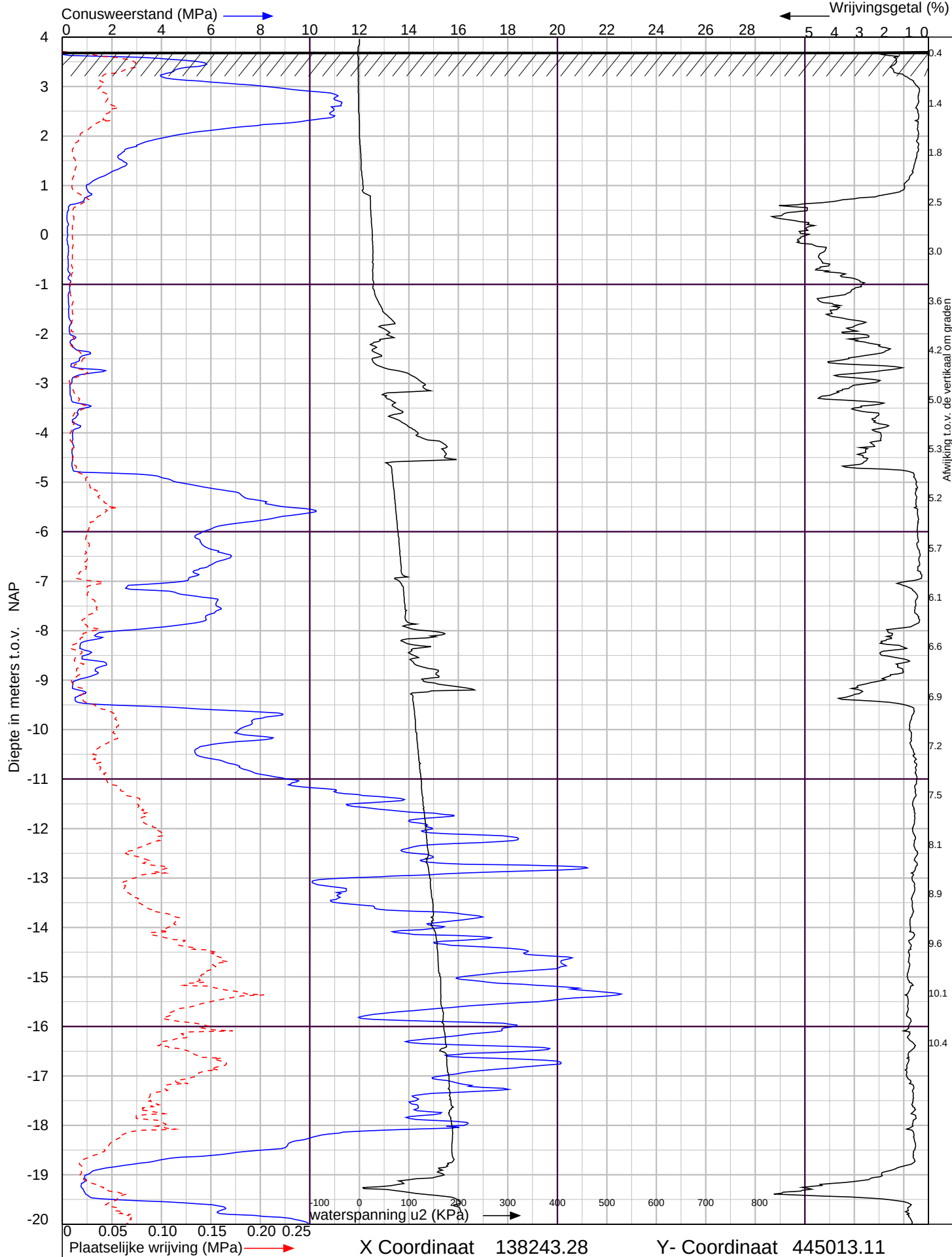
De boorstaten en de eventueel gemeten grondwaterstanden zijn weergegeven in Bijlage 1. De situering van de boringen is weergegeven op de situatietekening.

2.4 Hoogtemeting

De hoogte van de onderzoekspunten is ingemeten ten opzichte van NAP. Voor de hoogteligging van de verschillende meetpunten wordt verwezen naar de waterpasstaat in Bijlage 1.

Bijlage 1 : Resultaten grondonderzoek





Ossenwaard te Tull en 't Waal

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1 Klasse 2



Postbus 21 2800 AA Gouda
tel. 0182 - 58 55 03
Postbus 2099 4460 MB Goes
tel. 0113 - 82 02 23
info@wiha.nl - www.wiha.nl

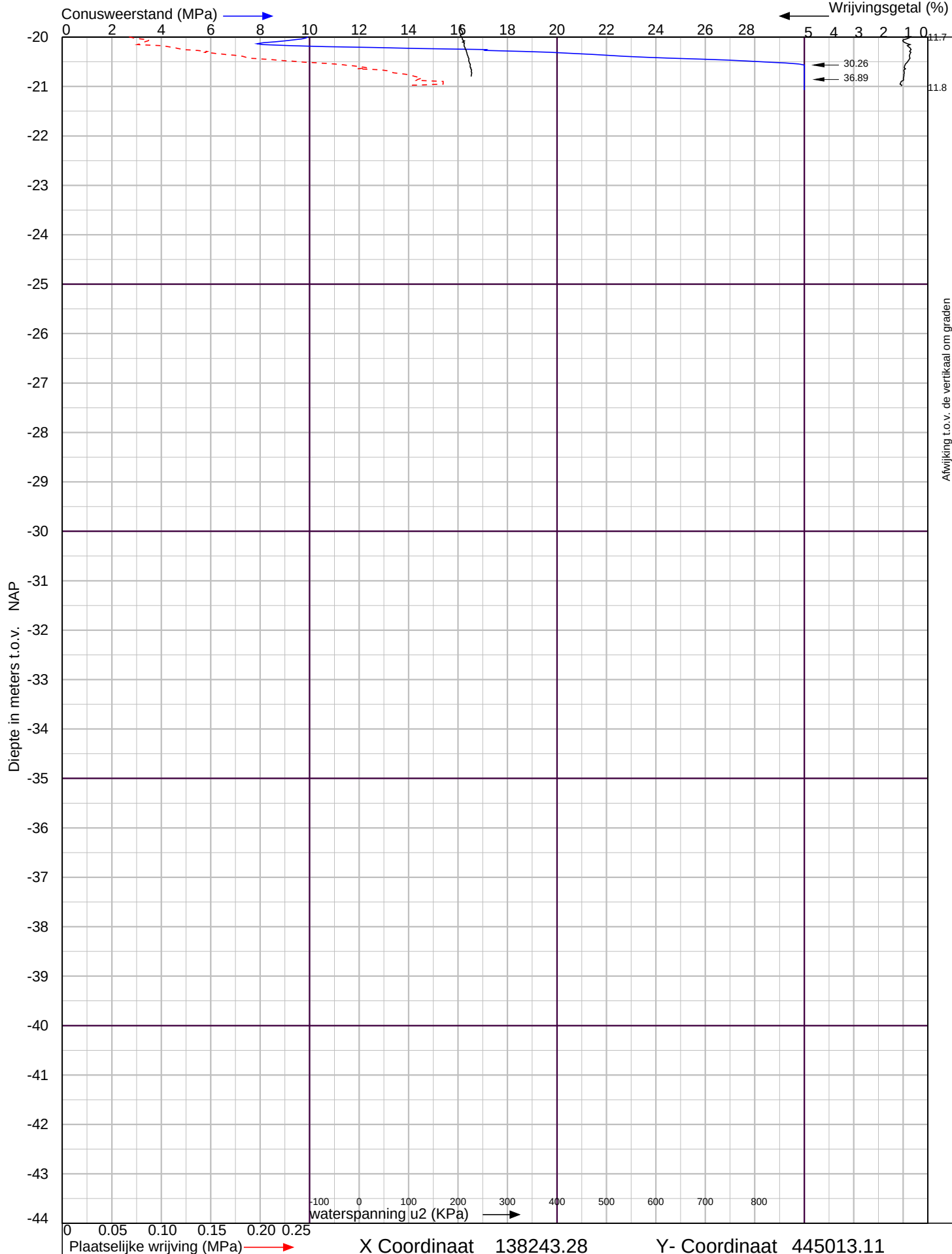
Project nr. : **1901504**

Sondeer nr. : **1**

Datum : 18-7-2019

Conusnr. : 001339

MV. is 3.71 m tov NAP



Ossenwaard te Tull en 't Waal

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1 Klasse 2



Postbus 21 2800 AA Gouda
tel. 0182 - 58 55 03
Postbus 2099 4460 MB Goes
tel. 0113 - 82 02 23
info@wiha.nl - www.wiha.nl

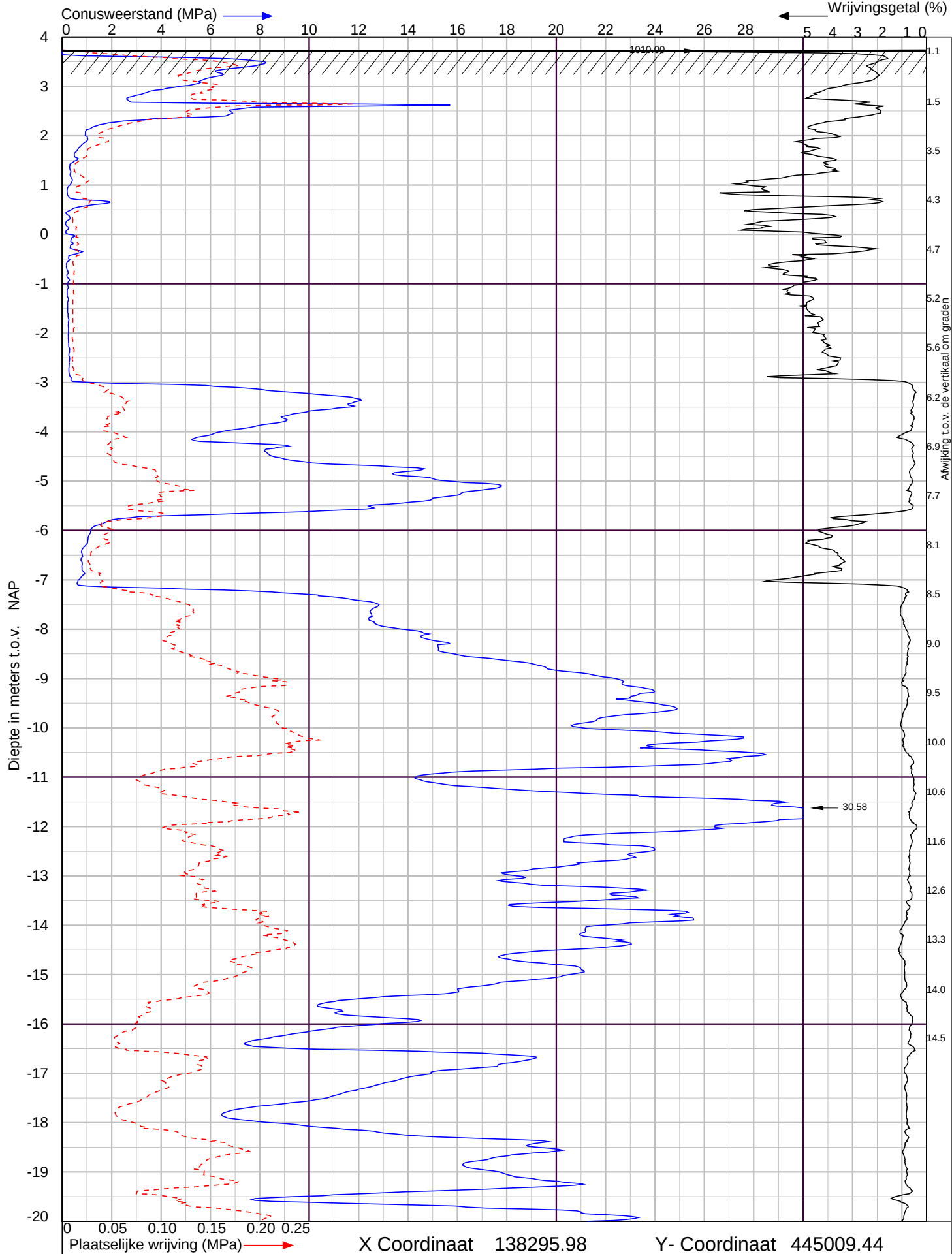
Project nr. : **1901504**

Sondeer nr. : **1**

Datum : 18-7-2019

Conusnr. : 001339

MV. is 3.71 m tov NAP



Ossenwaard te Tull en 't Waal

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1 Klasse 2



Postbus 21 2800 AA Gouda
tel. 0182 - 58 55 03
Postbus 2099 4460 MB Goes
tel. 0113 - 82 02 23
info@wiha.nl - www.wiha.nl

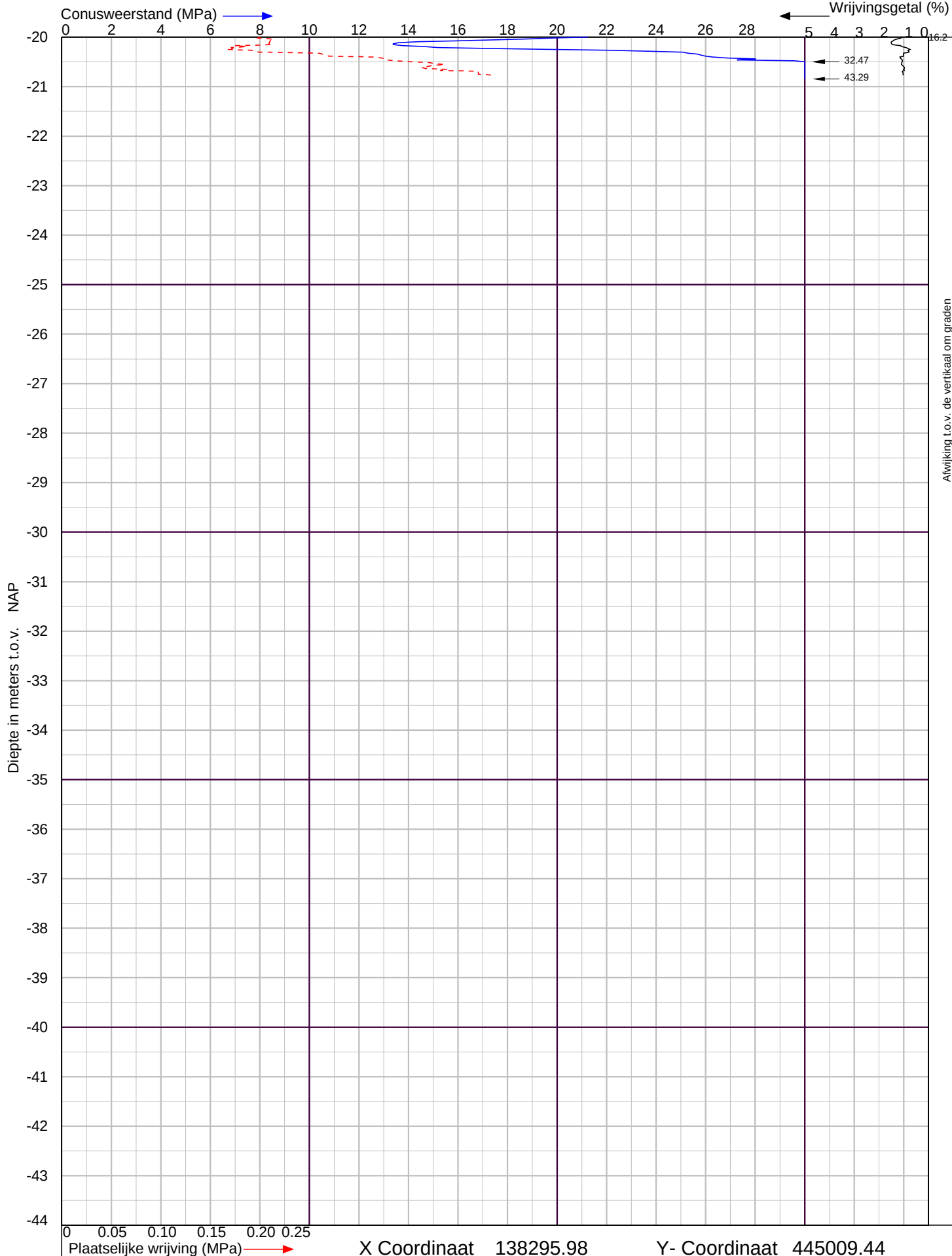
Project nr. : **1901504**

Sondeer nr. : **2**

Datum : 19-7-2019

Conusnr. : 001665

MV. is 3.74 m tov NAP



Ossenwaard te Tull en 't Waal

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1 Klasse 2



Postbus 21 2800 AA Gouda
tel. 0182 - 58 55 03
Postbus 2099 4460 MB Goes
tel. 0113 - 82 02 23
info@wiha.nl - www.wiha.nl

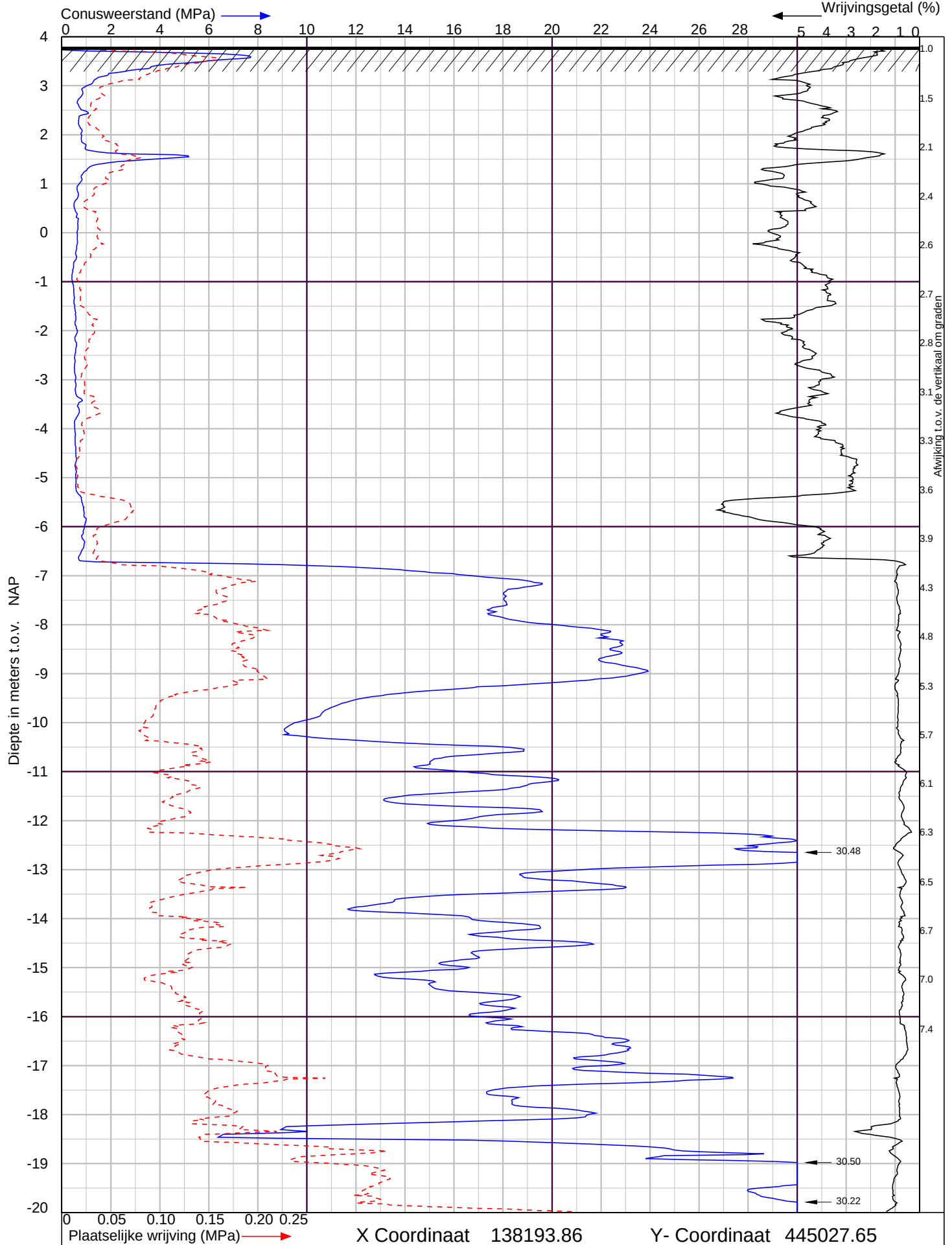
Project nr. : **1901504**

Sondeer nr. : **2**

Datum : 19-7-2019

Conusnr. : 001665

MV. is 3.74 m tov NAP



Ossenwaard te Tull en 't Waal

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1 Klasse 2



Postbus 21 2800 AA Gouda
tel. 0182 - 58 55 03
Postbus 2099 4460 MB Goes
tel. 0113 - 82 02 23
info@wiha.nl - www.wiha.nl

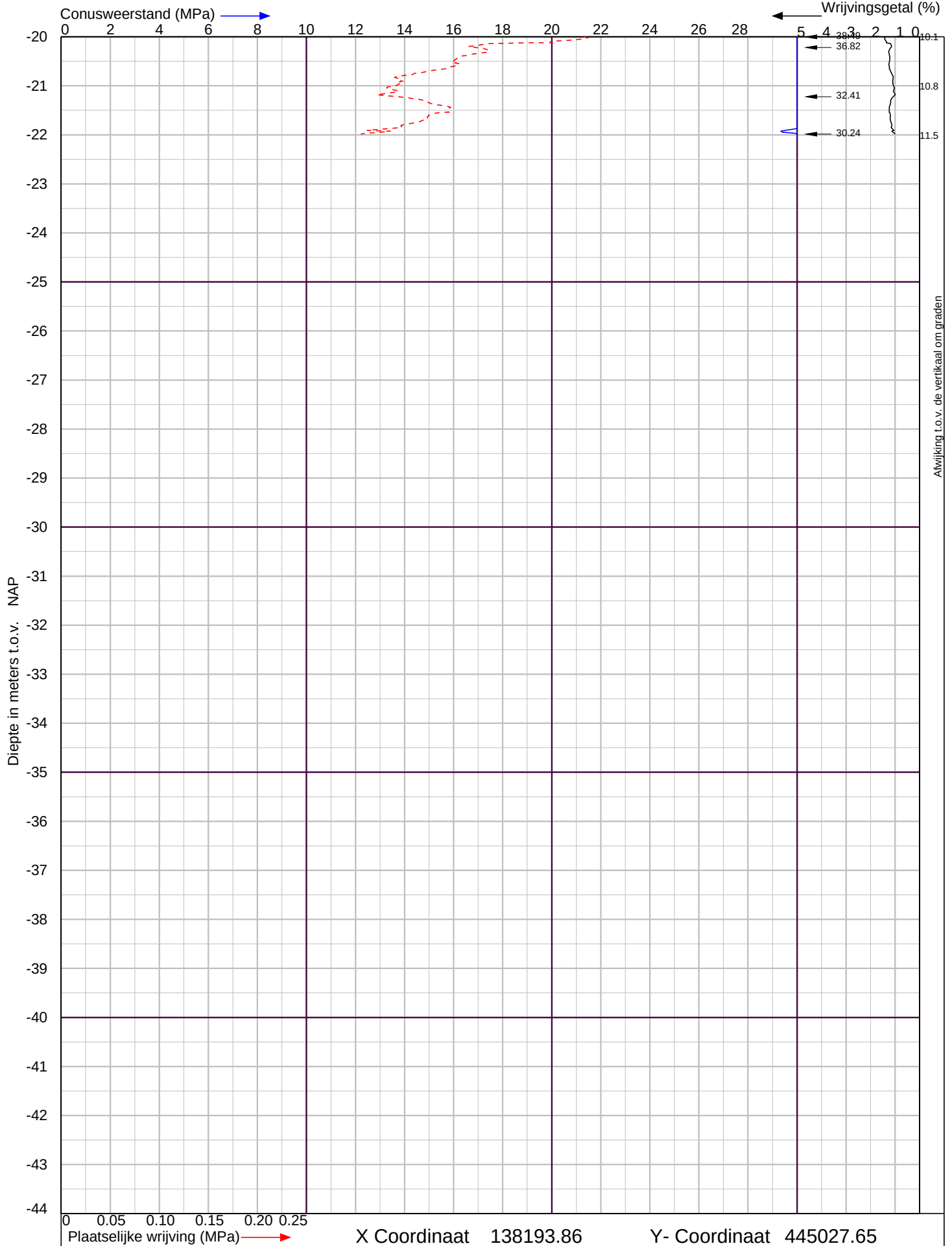
Project nr. : **1901504**

Sondeer nr. : **3**

Datum : 17-7-2019

Conusnr. : 001665

MV. is 3.79 m tov NAP



Atwijking t.o.v. de vertikaal om graden

Ossenwaard te Tull en 't Waal

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1 Klasse 2



Postbus 21 2800 AA Gouda
tel. 0182 - 58 55 03
Postbus 2099 4460 MB Goes
tel. 0113 - 82 02 23
info@wiha.nl - www.wiha.nl

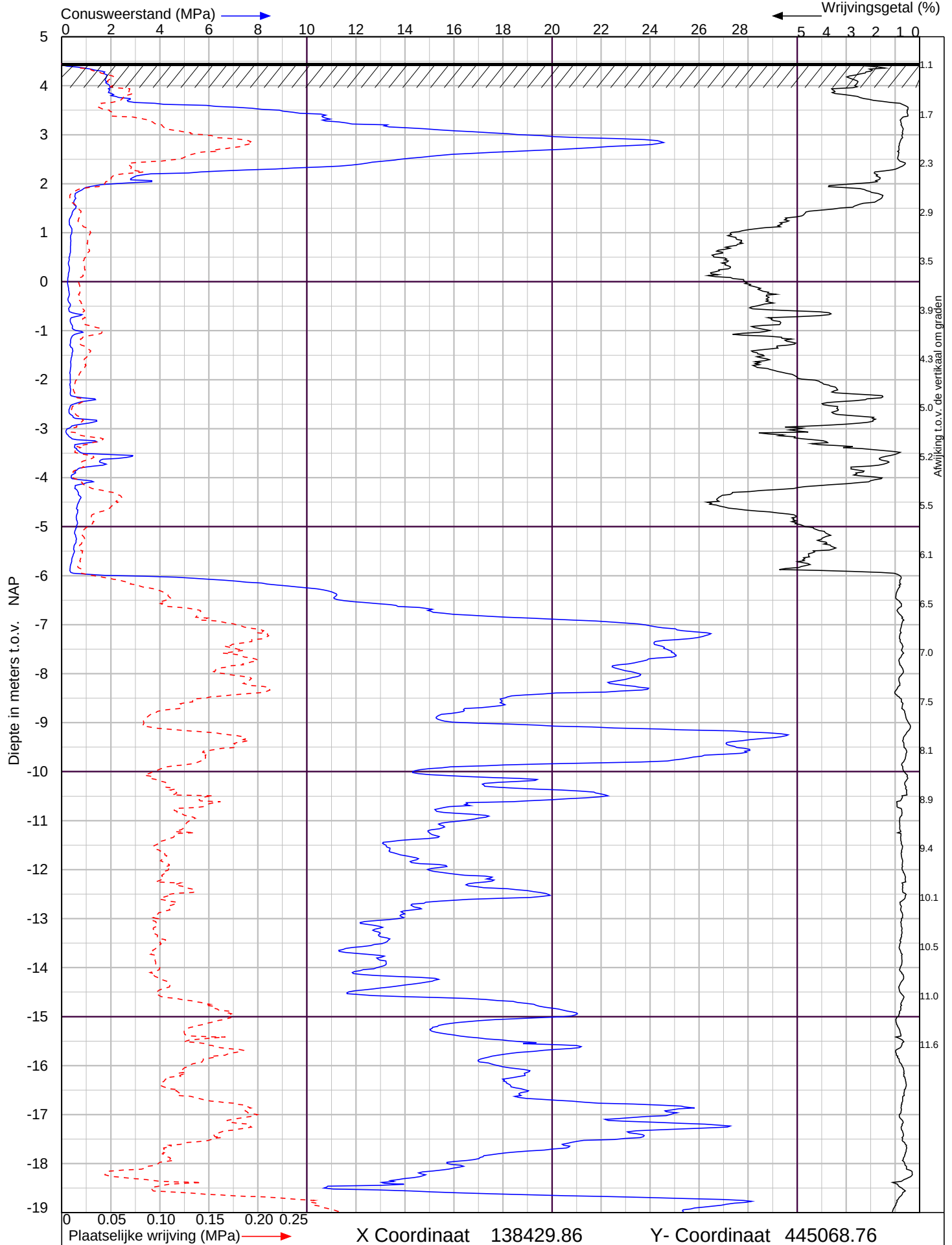
Project nr. : **1901504**

Sondeer nr. : **3**

Datum : 17-7-2019

Conusnr. : 001665

MV. is 3.79 m tov NAP



Ossenwaard te Tull en 't Waal

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1 Klasse 2



Postbus 21 2800 AA Gouda
tel. 0182 - 58 55 03
Postbus 2099 4460 MB Goes
tel. 0113 - 82 02 23
info@wiha.nl - www.wiha.nl

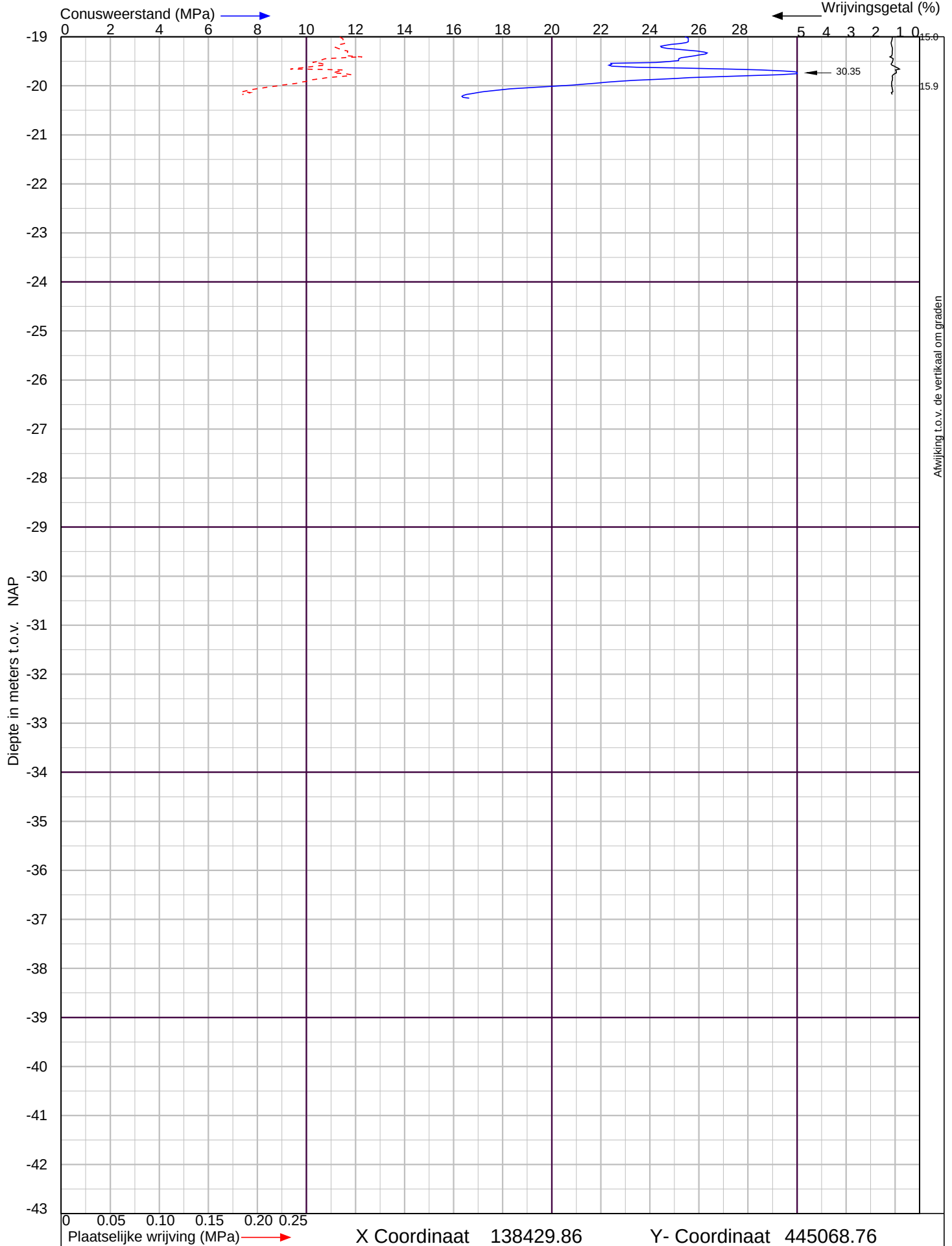
Project nr. : **1901504**

Sondeer nr. : **4**

Datum : 19-7-2019

Conusnr. : 001665

MV. is 4.46 m tov NAP



Ossenwaard te Tull en 't Waal

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1 Klasse 2



Postbus 21 2800 AA Gouda
tel. 0182 - 58 55 03
Postbus 2099 4460 MB Goes
tel. 0113 - 82 02 23
info@wiha.nl - www.wiha.nl

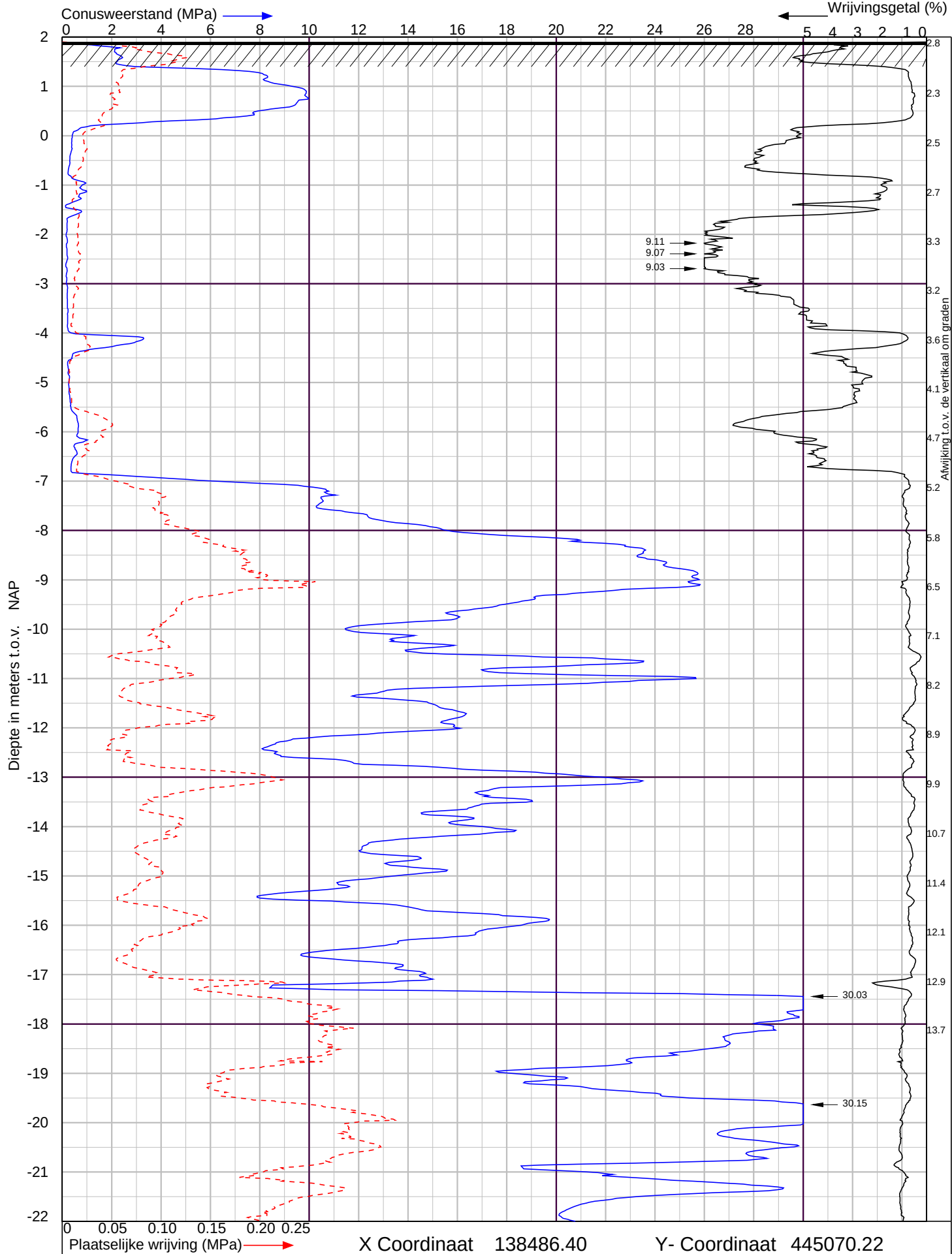
Project nr. : **1901504**

Sondeer nr. : **4**

Datum : 19-7-2019

Conusnr. : 001665

MV. is 4.46 m tov NAP



Ossenwaard te Tull en 't Waal

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1 Klasse 2



Postbus 21 2800 AA Gouda
tel. 0182 - 58 55 03
Postbus 2099 4460 MB Goes
tel. 0113 - 82 02 23
info@wiha.nl - www.wiha.nl

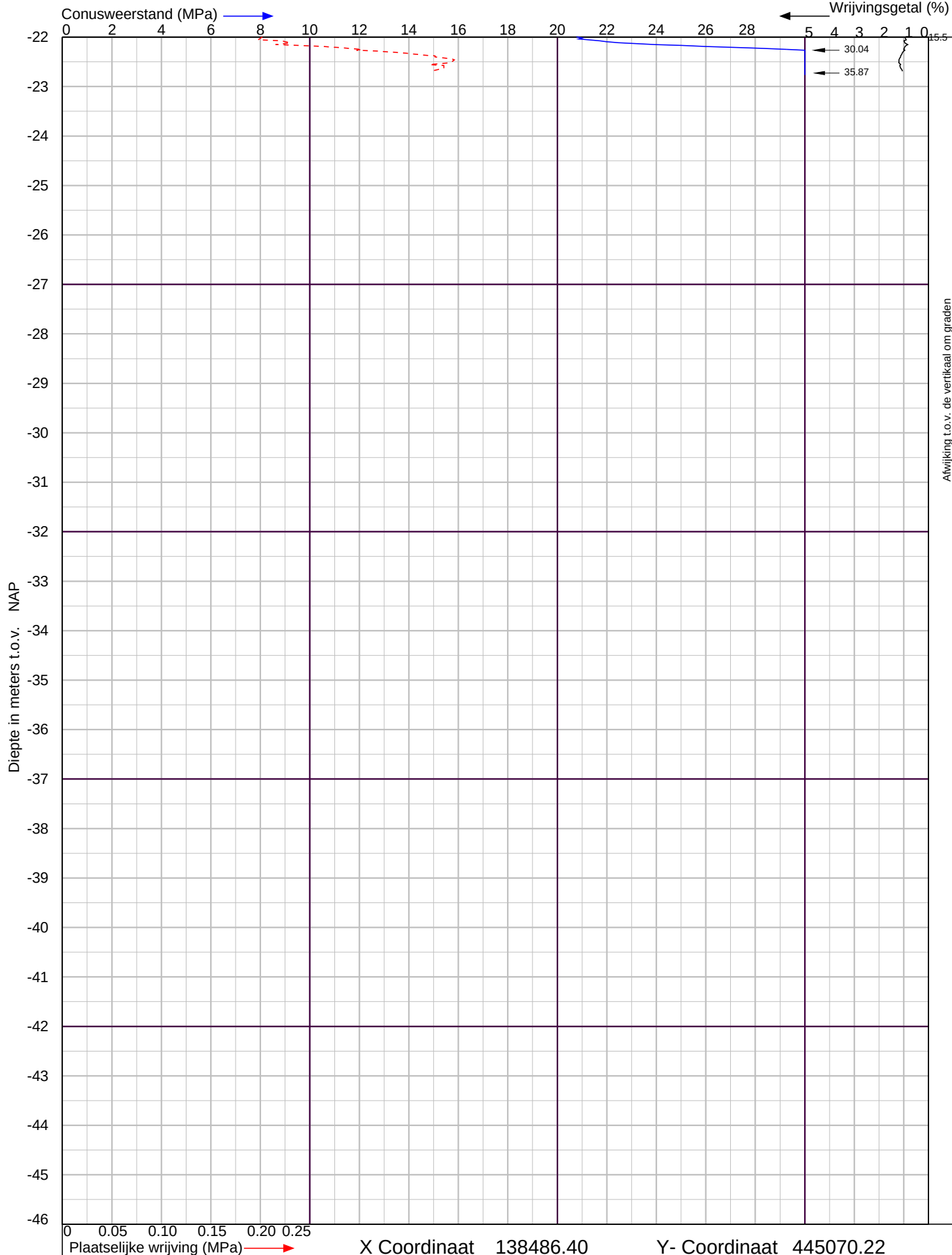
Project nr. : **1901504**

Sondeer nr. : **5**

Datum : 19-7-2019

Conusnr. : 001665

MV. is 1.9 m tov NAP



Ossenwaard te Tull en 't Waal

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1 Klasse 2



Postbus 21 2800 AA Gouda
tel. 0182 - 58 55 03
Postbus 2099 4460 MB Goes
tel. 0113 - 82 02 23
info@wiha.nl - www.wiha.nl

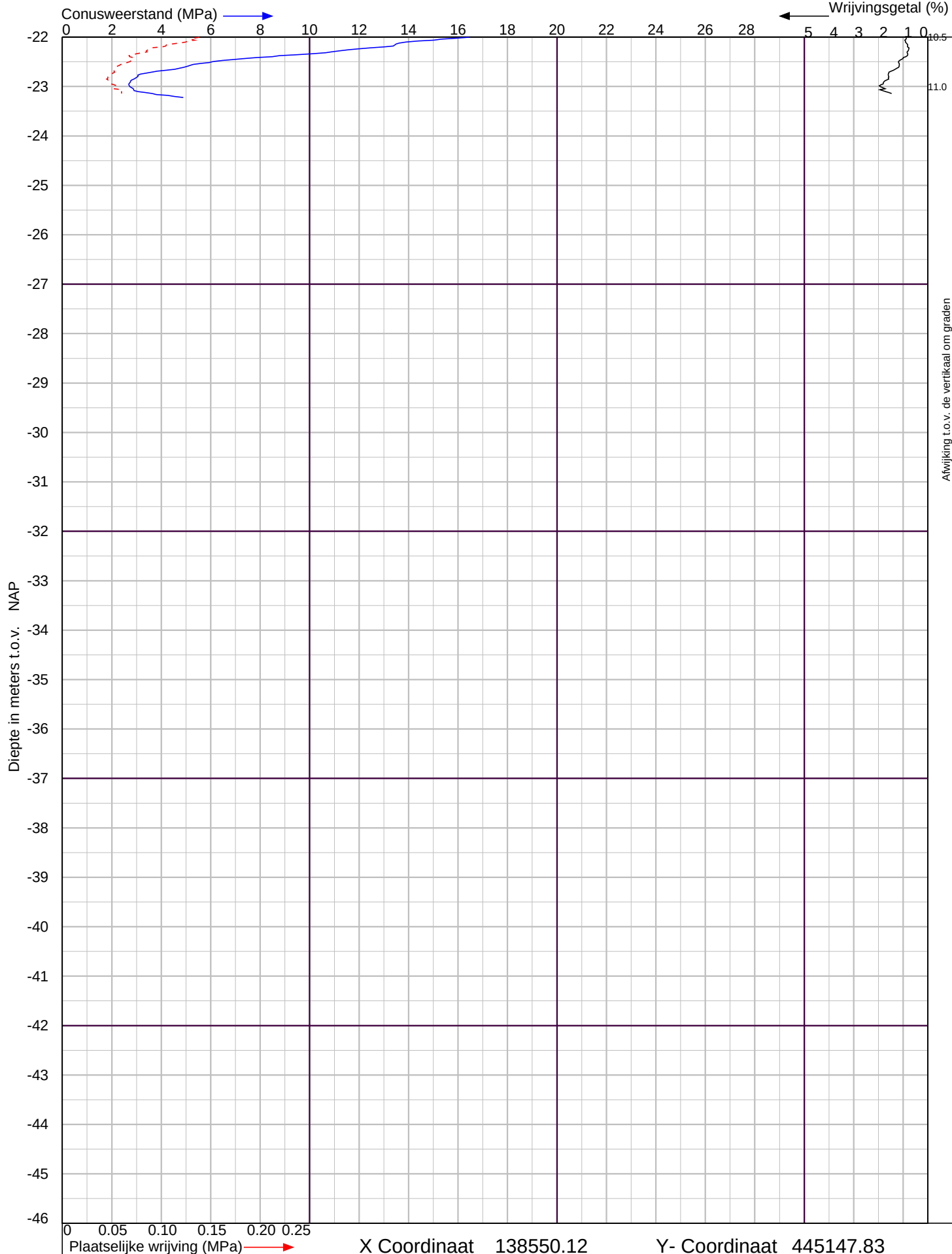
Project nr. : **1901504**

Sondeer nr. : **5**

Datum : 19-7-2019

Conusnr. : 001665

MV. is 1.9 m tov NAP



Ossenwaard te Tull en 't Waal

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1 Klasse 2



Postbus 21 2800 AA Gouda
tel. 0182 - 58 55 03
Postbus 2099 4460 MB Goes
tel. 0113 - 82 02 23
info@wiha.nl - www.wiha.nl

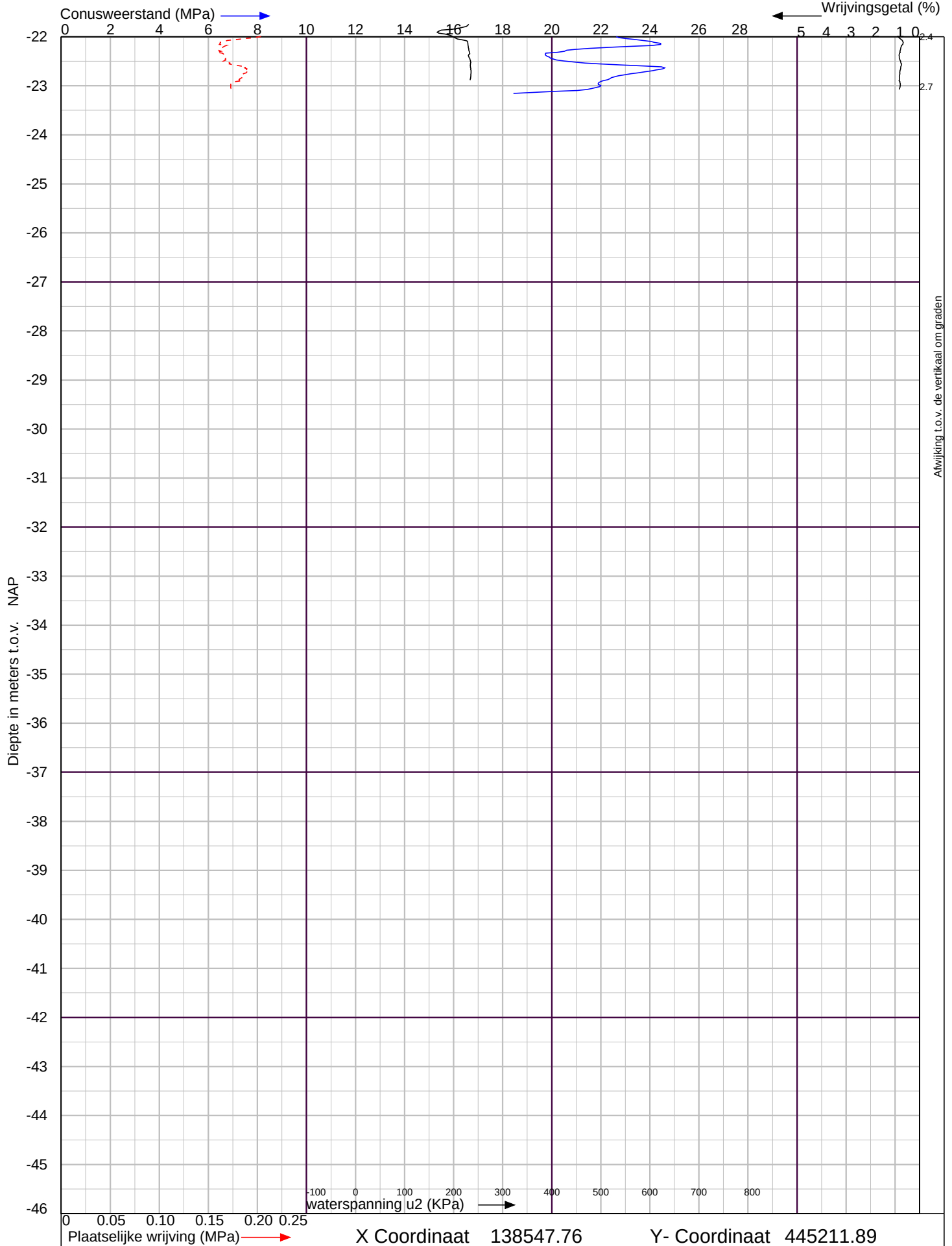
Project nr. : **1901504**

Sondeer nr. : **6**

Datum : 17-7-2019

Conusnr. : 001665

MV. is 1.63 m tov NAP



Ossenwaard te Tull en 't Waal

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1 Klasse 2



Postbus 21 2800 AA Gouda
tel. 0182 - 58 55 03
Postbus 2099 4460 MB Goes
tel. 0113 - 82 02 23
info@wiha.nl - www.wiha.nl

Project nr. : **1901504**

Sondeer nr. : **7**

Datum : 18-7-2019

Conusnr. : 001339

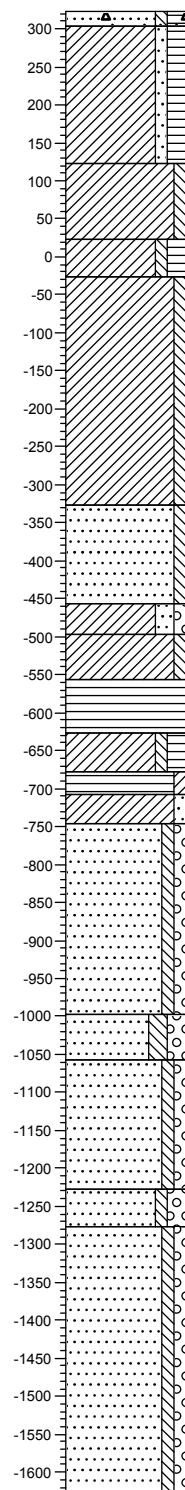
MV. is 1.84 m tov NAP

B1 - 2

Datum : 3-7-2019
GWS (in cm-mv) : 210
Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP : 3,23

Datum : 3-7-2019
GWS (in cm-mv) : 210
Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP : 3,23

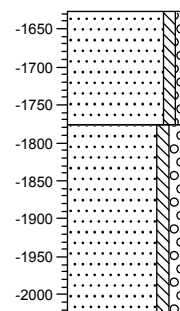
t.o.v. NAP



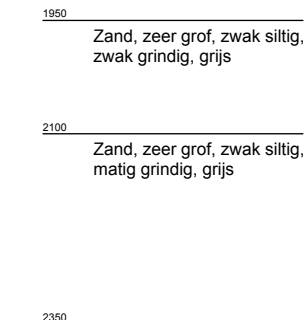
t.o.v. maaiveld



t.o.v. NAP



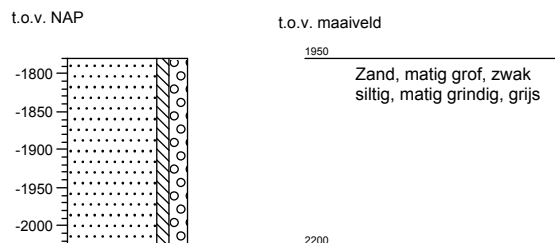
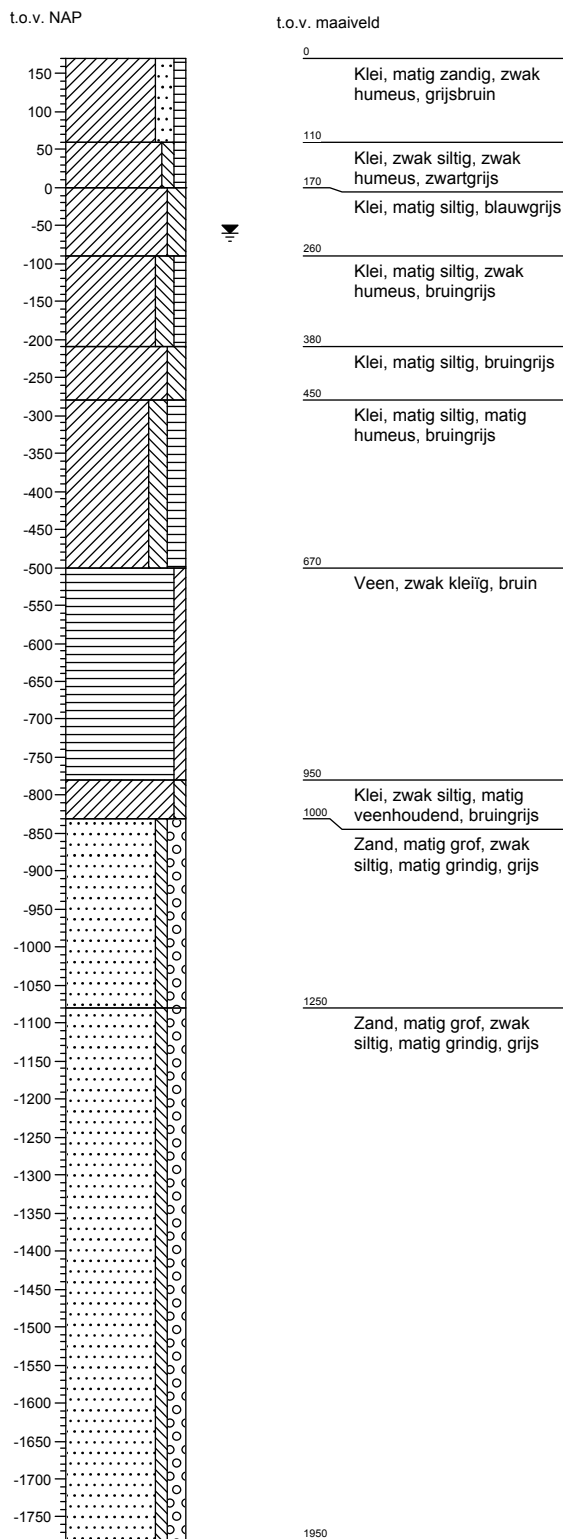
t.o.v. maaiveld



B2 - 2

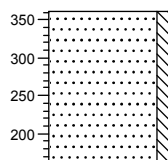
Datum : 5-7-2019
GWS (in cm-mv) : 230
Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP : 1,7

Datum : 5-7-2019
GWS (in cm-mv) : 230
Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP : 1,7

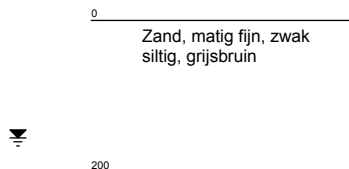


Datum : 2-7-2019
GWS (in cm-mv) : 154
Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP : 3,61

t.o.v. NAP



t.o.v. maaiveld



Waterpasstaat

(+ stopcriterium sonderingen)

Hoogten ingemeten met behulp van dGPS

Datum uitvoering : juli 2019

Meetpunt	Hoogte* [m t.o.v. NAP]	Opmerking / stopcriterium ¹
sondering 1	3,71 +	V
sondering 2	3,74 +	V
sondering 3	3,79 +	V
sondering 4	4,46 +	V
sondering 5	1,93 +	V
sondering 6	1,63 +	V
sondering 7	1,84 +	V
boring 1	3,23	
boring 2	1,70	
kruin weg	4,52 +	
waterpeil	2,89 +	

* Hoogten in deze waterpasstaat zijn uitsluitend bedoeld om inzicht te verkrijgen in de maaiveldhoogten van de meetpunten. Zonder verificatie door de gebruiker mogen deze hoogten niet voor andere doeleinden worden gebruikt.

Grondwater

De tijdens het onderzoek geregistreerde stijghoogtes zijn weergegeven in navolgende tabel.

Meetpunt [nr.]	Stijghoogte*	
	[m - mv]	[m t.o.v. NAP]
boorgat B1	2,10	1,23 +
boorgat B2	2,30	0,60 -

* Gemeten stijghoogtes zijn momentopnamen en dienen met de nodige voorzichtigheid te worden gehanteerd, omdat:

- o waterniveaus gemeten direct na plaatsing van een sondering, boring of peilbuis, significant kunnen afwijken van de heersende grondwaterstand of stijghoogte. Het kan namelijk enige tijd duren voordat een representatieve waterspiegel is ingesteld (enkele seconden in grof zand tot soms enkele uren in slecht doorlatende klei).
- o de stijghoogte onder invloed van seizoensafhankelijke factoren in de tijd zal fluctueren. Deze fluctuaties variëren per regio/gebied; in polders meestal ca. 0,5 m, nabij grote rivieren soms 4 à 5 m en elders vaak 1,5 à 2 m. Een representatief beeld hiervan kan slechts worden gekregen door monitoring van de grondwaterstand gedurende langere tijd en/of door tijdreeksanalyse van gedurende langere tijd gemonitorde peilbuizen uit de omgeving

¹ Toelichting :

- V: streefdiepte bereikt
- D: streefdiepte overschreden i.v.m. minimaal benodigd geachte pakketdikte
- N1: beoogd sondeerpunt onbereikbaar voor sondeerunit i.v.m. (afmeting) doorgang
- N2: beoogd sondeerpunt onbereikbaar voor sondeerunit i.v.m. obstakels, begroeiing
- N3: beoogd sondeerpunt onbereikbaar voor sondeerunit i.v.m. berijdbaarheid terrein
- O1: totaalweerstand overschrijdt de maximaal toelaatbare druk sondeerequipement
- O2: uitbuiging sondeerstangen overschrijdt maximaal toelaatbare waarde
- O3: overschrijding toelaatbare puntdruk sondeerconus

Algemene toelichting onderzoeksmethoden

Toelichting sonderingen

Elektrische sonderingen worden uitgevoerd conform NEN-EN-ISO 22476-1, met een elektrische (kleefmantel)conus.

De sondeergegevens worden in een grafiek weergegeven waarbij, indien van toepassing, het wrijvingsgetal (verhouding plaatselijke wrijving / conusweerstand) is berekend en gepresenteerd. Het wrijvingsgetal geeft samen met de conusweerstand over het algemeen een indicatie van de bodemopbouw onder de grondwaterstand. In navolgende tabel zijn enige indicatieve waarden hiervoor aangegeven. Opgemerkt wordt dat boven het grondwater de waarden hiervan kunnen afwijken.

Grondsoort	Conusweerstand (q_c) [MPa]	Wrijvingsgetal (f_s/q_c) [%]
zand, grind	> 5	0,2 - 1,0
siltig zand,	> 4	0,8 - 1,4
kleiig zand	> 2	1,0 - 2,0
leem	1 - 3	2,0 - 4,0
klei	0 - 5	2,0 - 6,0
venige klei	0 - 6	5,0 - 8,0
veen	0 - 4	5,0 - 10,0

Handsonderingen

Sonderingen uitgevoerd met een handsondeerapparaat, waarbij tevens een boring wordt gemaakt. De sondeerwaarden worden handmatig geregistreerd.

Waterspanningsmeting

Bij deze sonderingen wordt met behulp van een piëzoconus naast de conusweerstand en de plaatselijke wrijving tevens de waterspanning geregistreerd. Meting van de waterspanning geeft meer inzicht in de stijghoogte(verschillen) van het grondwater, de gelaagdheid van de bodem en de aanwezigheid van waterremmende lagen. De geregistreerde waterspanning is weergegeven op de betreffende sondeergrafiek. Opgemerkt dient te worden, dat uit de geregistreerde waterspanning niet zonder meer de stijghoogte van de diverse lagen kan worden afgeleid, omdat de stijghoogte wordt beïnvloed door de beweging van de sondeerconus.

Dissipatieproef

Bij een dissipatietest wordt tijdens het sonderen de conus enige tijd gestopt, waarna wordt geregistreerd op welke wijze de door het wegdrukken geïnitieerde waterspanning reageert. Het waterspanningsverloop geeft een indicatie omtrent de waterdoorlatendheid in de desbetreffende laag. Indien de test wordt gecontinueerd totdat een quasistationaire waterspanning wordt bereikt kan tevens op betrouwbare wijze de stijghoogte van het grondwater van de betreffende laag worden bepaald.

Wegdrukpeilbuis

Wegdrukpeilbuizen worden geplaatst met behulp van een sondeertruck.

Mechanische boring

Machinaal uitgevoerde boring onder certificaat van de BRL SIKB 2100, conform protocol 2101.

Waterdoorlatendheidsmeting verrichting middels de Constant-flow-rate-methode (onverzadigde zone)

Waterdoorlatendheidsmeting, in de onverzadigde bodem (boven de grondwaterspiegel) verricht middels constant-flow-rate-methode cf. ISO/FDIS 22282-2:2008(E). Bij het uitvoeren van deze meting wordt, in onverzadigde grond, water met een constant debiet in een gesteund boorgat gepompt, totdat de bodem rondom verzadigd is en een constante waterspiegel ontstaat. Uit de verhouding van het pompdebiet en de waterspiegel kan de verzadigde waterdoorlatendheid worden berekend van het bodemtraject waarin de proef heeft plaatsgevonden.

Waterdoorlatendheidsmeting verrichting middels de Constant-flow-rate-methode (verzadigde zone)

Waterdoorlatendheidsmeting, onder de grondwaterspiegel, uitgevoerd middels de constant-flow-rate-methode cf. ISO/FDIS 22282-2:2008(E). Bij het uitvoeren van deze meting wordt de peilbuis met een constant debiet doorgepompt totdat een constante waterstandsverlaging ontstaat in de peilbuis. Uit de verhouding tussen het pompdebiet en de waterstandsverlaging kan de doorlatendheid worden berekend van het bodemtraject waarin het filter is geplaatst.

Waterdoorlatendheidsmeting verricht middels de falling-head-methode.

Doorlatendheidsmeting ter bepaling van de horizontale waterdoorlatendheid van de verzadigde ondergrond (onder de grondwaterspiegel). Bij deze proef wordt een peilbuis geheel of gedeeltelijk gevuld met water, waarna de waterstandsaling wordt gemeten. De dalingssnelheid van het water is een maat voor de horizontale waterdoorlatendheid (K_h -waarde) van het bodemtraject waarin de proef heeft plaatsgevonden.

Waterdoorlatendheidsmeting verricht middels de rising-head-methode.

Doorlatendheidsmeting ter bepaling van de horizontale waterdoorlatendheid van de verzadigde ondergrond (onder de grondwaterspiegel). Bij deze proef wordt peilbuis geheel of gedeeltelijk leeg getrokken, waarna de stijging van het grondwater in de peilbuis wordt geregistreerd. De stijgingssnelheid van het water is een maat voor de horizontale waterdoorlatendheid (K_h -waarde) van het bodemtraject waarin de proef heeft plaatsgevonden.

Onverzadigde zone (Ringinfiltratieproeven)

Doorlatendheidsmeting ter bepaling van de verticale waterdoorlatendheid van de onverzadigde grond. De proeven worden uitgevoerd op maaiveld of diepte, met de dubbele ringinfiltratiemeter bestaande uit een buitenring met een diameter van ca. 0,53 m en een binnenring met een diameter van ca. 0,28 m.

Beide ringen worden op het ontgravingsvlak aangebracht en vervolgens enige centimeters de grond ingeslagen. Na het aanbrengen van een meetbrug met een vlotter worden beide ringen gevuld met water waarna met een zekere frequentie in de binnenring, de dalingssnelheid van het water wordt vastgesteld. Door toepassing van een buitenring infiltreert grondwater in de binnenring zoveel mogelijk verticaal. Uit de infiltratiesnelheid kan vervolgens de verticale waterdoorlatendheid worden afgeleid.

Legenda boorstaat

zand

	zand, kleiig
	zand, zwak siltig
	zand, matig siltig
	zand, sterk siltig
	zand, uiterst siltig

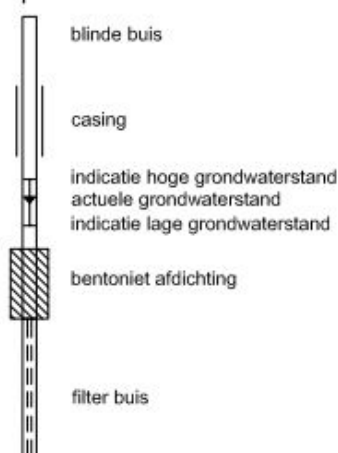
grind

	grind, siltig
	grind, zwak zandig
	grind, matig zandig
	grind, sterk zandig
	grind, uiterst zandig

veen

	veen, mineraalam
	veen, zwak kleiig
	veen, sterk kleiig
	veen, zwak zandig
	veen, sterk zandig

peilbuis



klei

	klei, zwak siltig
	klei, matig siltig
	klei, sterk siltig
	klei, uiterst siltig
	klei, zwak zandig
	klei, matig zandig
	klei, sterk zandig

leem

	leem, zwak zandig
	leem, sterk zandig

overige toevoegingen

	zwak humeus
	matig humeus
	sterk humeus
	zwak grindig
	matig grindig
	sterk grindig
	slib

monsternamen

	geroerd monster
	ongeroerd monster

overige tekens

	bijzonder bestanddeel
	gemiddelde hoogste grondwaterstand
	grondwaterstand
	gemiddelde laagste grondwaterstand

Legenda situatietekening

sonderen

	sondering
	sondering niet uitgevoerd
	wegdrukpeilbuis
	handsondering

boren

	boring
	boring niet uitgevoerd
	boring met peilbuis
	boring met 2 peilbuizen
	boring met 3 peilbuizen

overig

	meetpunt
	fotopijl met richting
	sondering van derden
	boring van derden

fasering onderzoek

	sondering fase 1
	sondering fase 2
	sondering fase 3
	sondering fase 4
	boring fase 1
	boring fase 2
	boring fase 3
	boring fase 4



WIHA

GRONDMECHANICA

technisch bodemonderzoek
grondmechanica
milieukunde
adviezen

Technisch bodemonderzoek

- Sonderen in Nederland, België en Frankrijk.
- Sonderen met (track)truck, minirups, demontabel en hand
- Sonderen op het water (met hefeiland)
- Dissipatieproeven
- Peilbuizen wegdrukken
- Mechanisch (puls)boren conform protocol 'Mechanisch boren' (2101).
- Handboren (tot circa 5 m)
- Geotechnische monitoring
- Doorlatendheidsmetingen verzadigde en onverzadigde zone
- Palen doormeten (akoestisch)
- Onderzoek naar niet gesprongen explosieven (NGE)
- dGPS-metingen

Milieukunde

- Verkennend onderzoek
- Onderzoek naar asbest in de bodem
- BOOT-onderzoek
- Nulsituatie-onderzoek
- Nader onderzoek
- Waterbodemonderzoek (monsternameboot)
- BUS-melding
- Saneringsplan
- Milieukundige begeleiding
- Second opinion

Geotechnisch en geohydrologisch advies

- Funderingsadvies bebouwing, leidingen, constructies
- Geohydrologische modellering (bemaling, drainage, wateroverlast, barrièrewerking, etc.)
- Bemalingsadvies, bemalingsplan, monitoringsplan, vergunningsaanvraag, MER aanmeldnotitie
- Bouwputadvies, damwandberekeningen en -advies
- Zettings- en ophoogadvies, inclusief voorbelasting, zettingsversnelling
- Zettingsrisico's bemaling t.b.v. CAR-verzekering
- Stabiliteitsberekeningen taluds
- Infiltratiegeschiktheidsadvies, watertoetsadvies
- Civieltechnisch hergebruik grond
- Analyse waterstanden, doorlatendheid, wateroverlast.
- GIS-toepassingen en geostatistiek: (hoogtemodellen, zanddieptekaarten, etc)
- Algemene expertise, controle grondverbetering

Laboratorium

- Laboratoriumclassificatie
- volumegewicht
- Samendrukkingsproeven, Proctorproeven
- Korrelverdeling, -vorm en afleiding k-waarden
- Triaxiaalproeven

Voor informatie:

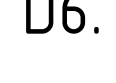
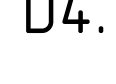
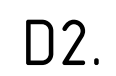
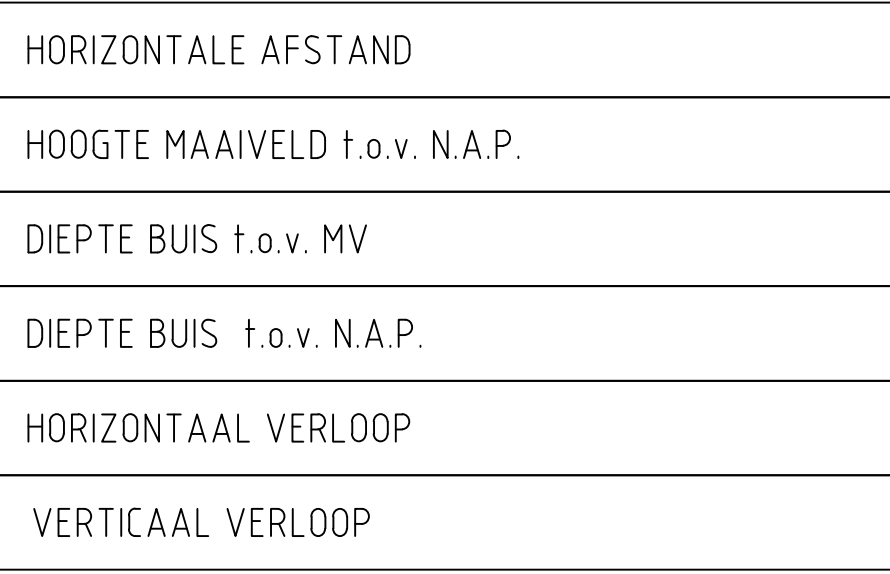
Postbus 21 2800 AA Gouda - tel. 0182 - 58 55 03 - fax 0182 - 58 53 01

Postbus 2099 4460 MB Goes - tel. 0113 - 82 02 23 - fax 0113 - 82 02 24

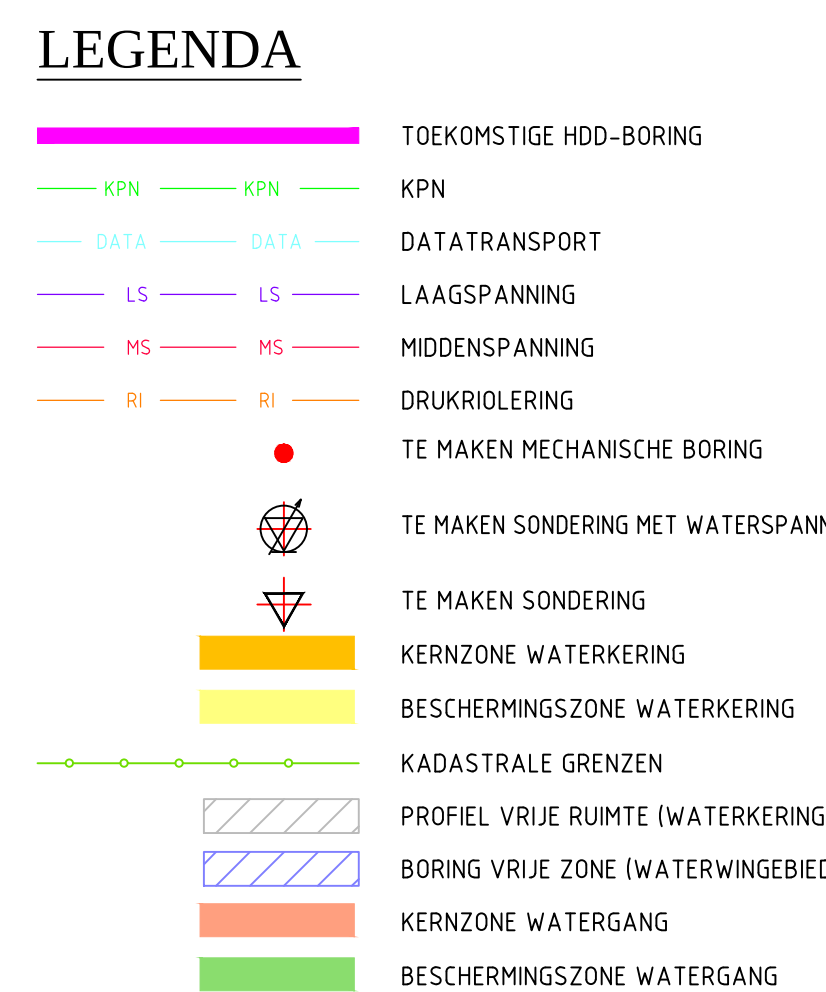
email info@wiha.nl www.wiha.nl

**ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ
DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL**

Bijlage 2: Tekening 18.2.147, blad 1, versie 8.0, d.d. 23-07-2019

SONDERINGEN

DOORSNEDE A-A

[illegible]

**ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ
DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL**

Bijlage 3: Muddrukberekening (pilot)



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©	
Algemene gegevens				
Naam van het project : Gestuurde boring Lekdijk te Tull en 't Waal				
Projectonderdeel : HDD Vitens 1xØ90mm PE100, SDR9 Tull en 't Waal (Pilot)				
Materiaalgegevens				
Materiaalsoort:	PE			
Kwaliteit:	PE 100			
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²	
Materiaalfactor	γ _M	= 1,25	-	
Toelaatbare langeduur spanning	σ _t	= 8,00	N/mm²	
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²	
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²	
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α _g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)	
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α _σ	= 0,65	-	
Soortelijk gewicht buis	ρ _L	= 9,55	kN/m³	
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%	
Leidinggegevens				
Uitwendige middellijn	D _e	= 90,00	mm	
Wanddikte	d _n	= 10	mm	
Procesgegevens				
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof		
Ontwerpdruk	p _d	= 0,375	N/mm²	
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m³	
Temperatuurverschil	Δ _t	= 10	°	
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren				
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%	
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ _m	= 11,5	kN/m³	
Zwichtspanning boorvloeistof	τ _y	= 15	Pa	
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan				
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang				
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D _g	= 135	mm	
Diameter boorstang	D _b	= 89	mm	
Totale lengte	L	= 394,37	m	
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 34,73	m	
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 69,81	m	
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 195,34	m	
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 69,81	m	
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 24,68	m	
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 50,00	m	
Straal neergaande bocht	R ₁	= 250,00	m	
Straal opgaande bocht	R ₂	= 250,00	m	
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α ₁	= 16,00 / 28,67	° / %	
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α ₂	= 16,00 / 28,67	° / %	
Belastinghoek	α	= 180	°	
Ondersteuningshoek	β	= 120	°	
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°	
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 0,9		
Totaalfactor bij moeilijke omstandigheden	f	= 2		
Belastingfactor, bovengronds	f _{k,b}	= 1,1		
Belastingfactor, ondergronds	f _{k,o}	= 1,4		
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	f _{r,o}	= 0,9		
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f ₁	= 0,3		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂	= 0,00005	N/mm²	
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃	= 0,2		
23-07-2019 08:37:28				



Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
1	1,77	0,56	-	Zand	16,96	-	35,00
2	9,66	2,75	-	Zand	19,37	-	32,50
3	18,02	4,68	2,76	Klei	19,36	15,26	27,50
4	27,01	7,21	2,62	Klei	19,38	16,59	22,50
5	33,81	9,17	2,56	Zand	16,13	16,95	35,00
6	41,76	11,25	2,56	Zand	16,13	17,00	32,50
7	49,9	13,10	2,59	Zand	16,11	17,66	35,00
8	58,25	14,68	2,62	Zand	16,06	18,07	35,00
9	66,39	15,95	2,65	Zand	16,04	18,36	35,00
10	75,14	17,01	2,66	Zand	16,02	18,56	35,00
11	83,43	17,75	2,67	Zand	16,02	18,68	35,00
12	92,92	18,46	2,83	Zand	15,84	18,81	32,50
13	101,86	18,60	2,76	Zand	15,91	18,80	35,00
14	109,08	18,58	2,78	Zand	15,88	18,80	35,00
15	117,07	18,49	2,76	Zand	15,91	18,78	32,50
16	125,01	18,52	2,87	Zand	14,94	17,99	35,00
17	133,11	18,54	2,96	Zand	14,91	18,02	35,00
18	140,87	18,59	3,08	Zand	14,88	18,06	35,00
19	148,93	18,62	3,18	Zand	14,85	18,09	35,00
20	156,8	18,68	3,32	Zand	14,81	18,15	35,00
21	164,76	18,71	3,43	Zand	14,76	18,18	35,00
22	171,71	19,93	4,71	Zand	14,51	18,77	35,00
23	178,02	21,62	6,46	Zand	14,60	19,46	35,00
24	184,91	22,62	7,52	Zand	15,74	19,92	35,00
25	194,37	21,03	6,02	Zand	15,85	19,37	35,00
26	203,42	20,02	5,09	Zand	16,28	18,90	35,00
27	212,91	18,48	3,64	Zand	17,69	18,09	35,00
28	221,67	17,80	3,04	Zand	18,54	17,76	35,00
29	230	17,48	2,80	Zand	18,71	17,67	35,00
30	238,27	17,13	2,52	Zand	16,71	18,46	35,00
31	247,08	16,47	1,95	Zand	17,77	18,14	35,00
32	255,93	15,53	1,08	Zand	17,44	17,99	35,00
33	263,47	16,14	1,77	Zand	18,16	18,02	35,00
34	271,13	16,28	1,98	Zand	17,73	18,11	35,00
35	279,06	16,31	2,08	Zand	17,51	18,15	35,00
36	288,52	16,02	1,88	Zand	17,89	18,03	35,00
37	296,47	16,08	1,96	Zand	17,77	18,06	35,00
38	303,44	16,32	2,22	Zand	17,22	18,20	35,00
39	312,73	15,33	1,50	Zand	13,77	17,99	35,00
40	321,07	14,97	1,64	Zand	13,64	17,97	35,00
41	329,01	14,63	2,01	Zand	13,52	18,04	35,00
42	337,22	13,87	2,23	Zand	13,50	17,93	35,00
43	345,61	12,70	2,34	Zand	13,44	17,66	35,00
44	353,9	11,13	2,33	Zand	13,44	17,05	35,00
45	361,79	9,42	2,37	Zand	13,43	16,11	35,00
46	370,7	7,08	2,38	Klei	13,60	13,04	22,50
47	377,54	5,07	2,41	Klei	13,59	11,45	15,00



Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
2	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
3	Geen	-	1,00	5,00	Grafiek ½ x II
4	Geen	-	5,00	3,00	Grafiek ½ x II
5	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
6	Geen	0,0060	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
7	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
8	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
9	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
10	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
11	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek II
12	Geen	0,0060	0,00	45,00	Grafiek II
13	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
14	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
15	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
16	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
17	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
18	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
19	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
20	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
21	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
22	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
23	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek II
24	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek II
25	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
26	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
27	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
28	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
29	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
30	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
31	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
32	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
33	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
34	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
35	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
36	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
37	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
38	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
39	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
40	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
41	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
42	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
43	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
44	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
45	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
46	Geen	-	0,00	1,50	Grafiek ½ x II
47	Geen	-	2,50	0,50	Grafiek ½ x II



1. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
1	0,56	10,55	4,50	7,53	11,84	28,85
2	2,75	59,19	27,39	43,29	66,54	17,31
3	4,68	72,73	39,14	55,93	82,65	1,79
4	7,21	95,13	58,72	76,92	110,98	1,07
5	9,17	104,27	44,46	74,37	117,02	28,85
6	11,25	123,13	56,97	90,05	138,43	17,31
7	13,10	147,49	62,89	105,19	165,53	28,85
8	14,68	168,29	71,76	120,03	188,87	28,85
9	15,95	185,55	79,12	132,34	208,24	28,85
10	17,01	199,78	85,19	142,48	224,21	28,85
11	17,75	209,72	89,43	149,57	235,37	28,85
12	18,46	220,18	101,88	161,03	247,54	17,31
13	18,60	221,27	94,36	157,81	248,33	28,85
14	18,58	221,10	94,28	157,69	248,13	28,85
15	18,49	219,72	101,67	160,69	247,04	17,31
16	18,52	203,97	86,98	145,47	228,91	28,85
17	18,54	205,18	87,50	146,34	230,28	28,85
18	18,59	207,06	88,29	147,68	232,38	28,85
19	18,62	208,41	88,87	148,64	233,90	28,85
20	18,68	210,79	89,89	150,34	236,57	28,85
21	18,71	212,11	90,45	151,28	238,05	28,85
22	19,93	241,16	102,84	172,00	270,65	28,85
23	21,62	280,99	119,82	200,40	315,35	28,85
24	22,62	314,73	134,21	224,47	353,22	28,85
25	21,03	278,97	118,96	198,96	313,08	28,85
26	20,02	256,30	109,29	182,80	287,65	28,85
27	18,48	221,43	94,42	157,93	248,51	28,85
28	17,80	206,29	87,97	147,13	231,52	28,85
29	17,48	199,63	85,13	142,38	224,04	28,85
30	17,13	200,36	85,44	142,90	224,86	28,85
31	16,47	185,96	79,30	132,63	208,70	28,85
32	15,53	165,27	70,47	117,87	185,48	28,85
33	16,14	179,73	76,64	128,19	201,71	28,85
34	16,28	183,75	78,36	131,06	206,23	28,85
35	16,31	185,14	78,95	132,04	207,78	28,85
36	16,02	179,24	76,43	127,84	201,16	28,85
37	16,08	180,84	77,11	128,98	202,96	28,85
38	16,32	186,61	79,57	133,09	209,43	28,85
39	15,33	161,10	68,70	114,90	180,80	28,85
40	14,97	157,71	67,25	112,48	177,00	28,85
41	14,63	156,96	66,93	111,94	176,15	28,85
42	13,87	148,94	63,51	106,23	167,16	28,85
43	12,70	134,63	57,41	96,02	151,09	28,85
44	11,13	113,51	48,40	80,95	127,39	28,85
45	9,42	91,06	38,83	64,95	102,20	28,85
46	7,08	57,06	35,23	46,14	63,80	0,54
47	5,07	43,63	32,34	37,99	50,23	0,18

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{\text{hor}} = \sigma_{\text{vert}} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{\text{vert}} + \sigma_{\text{hor}}}{2}$$

$$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$



Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	Δp [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]
1	0,00015	0,28	0,0000	0,0000	0,00	0,29
2	0,0013	0,58	0,0000	0,0000	0,01	0,67
3	0,015	2,34	0,0192	0,02166	0,02	0,34
4	0,032	3,61	0,0459	0,05178	0,04	0,35
5	0,0015	0,56	0,0661	0,07457	0,04	1,32
6	0,0028	0,40	0,0869	0,09804	0,05	1,17
7	0,0021	0,47	0,1051	0,1186	0,07	1,67
8	0,0024	0,44	0,1206	0,1361	0,08	1,83
9	0,0026	0,42	0,1330	0,1500	0,09	1,95
10	0,0028	0,40	0,1435	0,1619	0,10	2,05
11	0,0030	0,39	0,1508	0,1701	0,11	2,11
12	0,0050	0,30	0,1563	0,1763	0,12	1,73
13	0,0031	0,38	0,1584	0,1787	0,13	2,19
14	0,0031	0,38	0,1580	0,1782	0,14	2,19
15	0,0050	0,30	0,1573	0,1775	0,15	1,73
16	0,0029	0,40	0,1565	0,1766	0,16	2,08
17	0,0029	0,40	0,1558	0,1758	0,17	2,09
18	0,0029	0,39	0,1551	0,1750	0,18	2,10
19	0,0030	0,39	0,1544	0,1742	0,19	2,11
20	0,0030	0,39	0,1536	0,1733	0,20	2,12
21	0,0030	0,39	0,1528	0,1724	0,21	2,13
22	0,0034	0,36	0,1522	0,1717	0,22	2,30
23	0,0040	0,34	0,1516	0,1710	0,23	2,51
24	0,0045	0,32	0,1510	0,1704	0,24	2,69
25	0,0040	0,34	0,1501	0,1693	0,25	2,50
26	0,0036	0,35	0,1493	0,1684	0,27	2,38
27	0,0031	0,38	0,1484	0,1674	0,28	2,18
28	0,0029	0,39	0,1476	0,1665	0,29	2,09
29	0,0028	0,40	0,1468	0,1656	0,30	2,05
30	0,0028	0,40	0,1461	0,1648	0,31	2,05
31	0,0026	0,42	0,1452	0,1638	0,32	1,96
32	0,0023	0,44	0,1445	0,1630	0,33	1,83
33	0,0025	0,42	0,1437	0,1621	0,34	1,92
34	0,0026	0,42	0,1430	0,1613	0,35	1,95
35	0,0026	0,42	0,1423	0,1605	0,36	1,95
36	0,0025	0,42	0,1414	0,1595	0,38	1,92
37	0,0026	0,42	0,1412	0,1593	0,39	1,93
38	0,0026	0,41	0,1410	0,1591	0,40	1,96
39	0,0023	0,45	0,1383	0,1560	0,41	1,80
40	0,0022	0,45	0,1333	0,1504	0,42	1,77
41	0,0022	0,45	0,1262	0,1424	0,43	1,76
42	0,0021	0,46	0,1164	0,1313	0,44	1,70
43	0,0019	0,49	0,1036	0,1169	0,45	1,58
44	0,0016	0,53	0,0880	0,09928	0,46	1,42
45	0,0013	0,59	0,0705	0,07953	0,47	1,23
46	0,033	3,54	0,0470	0,05302	0,48	0,21
47	0,069	2,54	0,0266	0,03001	0,49	0,12

$$Q = \frac{\sigma'_0 \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}, R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_0^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$



Locatie	$p_{\max}$ [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	$p_{\max}$ [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1	33,38	264,19	2,31	0,33	2,64	0,02
2	290,27	603,98	12,60	2,90	6,04	0,13
3	330,83	302,61	45,16	3,31	3,03	0,45
4	352,47	318,10	87,01	3,52	3,18	0,87
5	591,23	1.192,15	118,67	5,91	11,92	1,19
6	554,36	1.050,87	152,51	5,54	10,51	1,53
7	759,70	1.506,51	183,66	7,60	15,07	1,84
8	832,44	1.643,93	212,03	8,32	16,44	2,12
9	890,41	1.753,37	236,64	8,90	17,53	2,37
10	937,32	1.841,35	259,90	9,37	18,41	2,60
11	969,50	1.901,60	278,95	9,70	19,02	2,79
12	838,55	1.560,25	297,53	8,39	15,60	2,98
13	1.005,48	1.969,64	311,56	10,05	19,70	3,12
14	1.004,65	1.968,36	320,53	10,05	19,68	3,21
15	838,63	1.559,25	330,16	8,39	15,59	3,30
16	960,86	1.875,79	339,61	9,61	18,76	3,40
17	963,20	1.881,73	349,39	9,63	18,82	3,49
18	967,18	1.891,18	358,72	9,67	18,91	3,59
19	969,86	1.897,84	368,44	9,70	18,98	3,68
20	974,96	1.909,85	377,81	9,75	19,10	3,78
21	977,41	1.916,15	387,29	9,77	19,16	3,87
22	1.046,89	2.066,77	395,67	10,47	20,67	3,96
23	1.137,57	2.263,11	403,23	11,38	22,63	4,03
24	1.210,65	2.421,49	411,54	12,11	24,21	4,12
25	1.131,56	2.252,02	422,86	11,32	22,52	4,23
26	1.079,31	2.140,32	433,76	10,79	21,40	4,34
27	995,86	1.961,48	445,13	9,96	19,61	4,45
28	957,76	1.880,30	455,65	9,58	18,80	4,56
29	940,24	1.843,50	465,61	9,40	18,44	4,66
30	941,38	1.846,84	475,61	9,41	18,47	4,76
31	903,67	1.766,65	486,09	9,04	17,67	4,86
32	848,19	1.647,86	496,84	8,48	16,48	4,97
33	885,93	1.730,28	505,77	8,86	17,30	5,06
34	895,74	1.752,31	514,97	8,96	17,52	5,15
35	898,64	1.759,45	524,53	8,99	17,59	5,25
36	882,34	1.725,42	535,85	8,82	17,25	5,36
37	886,34	1.734,28	545,99	8,86	17,34	5,46
38	901,15	1.766,50	554,86	9,01	17,66	5,55
39	830,65	1.617,82	563,93	8,31	16,18	5,64
40	816,37	1.593,30	569,17	8,16	15,93	5,69
41	807,19	1.582,42	571,52	8,07	15,82	5,72
42	775,09	1.525,51	571,17	7,75	15,26	5,71
43	721,32	1.425,63	567,67	7,21	14,26	5,68
44	642,23	1.274,63	560,89	6,42	12,75	5,61
45	552,31	1.102,69	551,43	5,52	11,03	5,51
46	210,56	189,95	536,54	2,11	1,90	5,37
47	120,39	108,55	522,45	1,20	1,09	5,22

$$p_{\max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o}{R_{p,\max}} \right)^{\frac{2}{1+\sin \varphi}} + Q - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{\min} = p_{st} + \Delta p$$



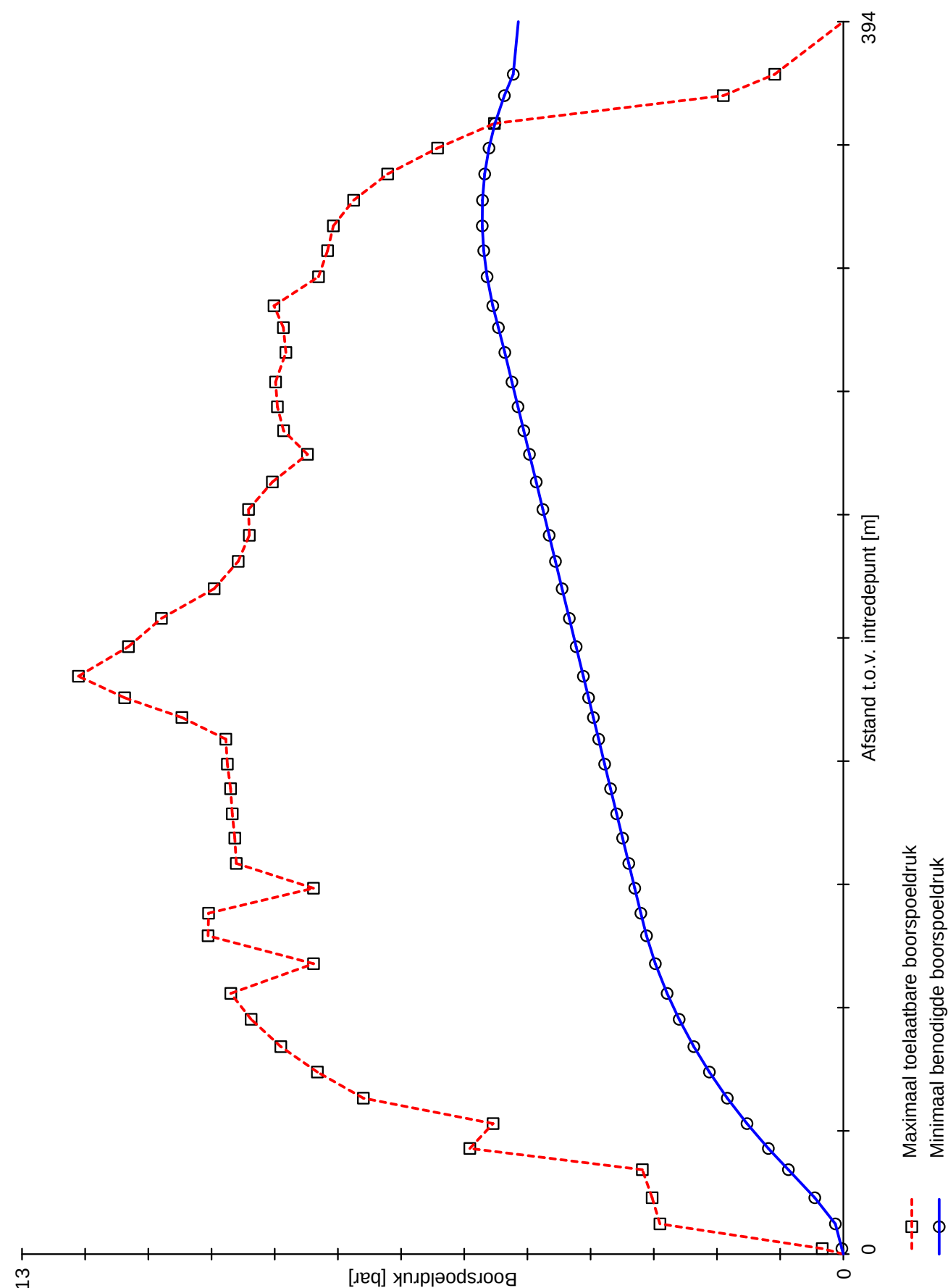
VAN DEN HEUVEL

INFRASTRUCTUUR VOOR WATER EN ENERGIE

van den Heuvel Aannemingsbedrijf B.V.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©



1.5.0.0/07-2018/10-10559299

23-07-2019 08:37:29

**ENGINEERING HDD-BORING ONDER DE LEKDIJK NABIJ
DE OSSENWAARD TE TULL EN 'T WAAL**

Bijlage 4: Sterkte-, trekkracht en boorspoeldruk berekening HDD-boring Ø90



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Gestuurde boring Lekdijk te Tull en 't Waal			
Projectonderdeel : HDD Vitens 1xØ90mm PE100, SDR9 Tull en 't Waal			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²
Materiaalfactor	γ _M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	σ _t	= 8,00	N/mm²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α _g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α _σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ _L	= 9,55	kN/m³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 90,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,375	N/mm²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ _m	= 11,5	kN/m³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ _y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D _g	= 135	mm
Diameter boorstang	D _b	= 89	mm
Totale lengte	L	= 394,37	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 34,73	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 69,81	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 195,34	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 69,81	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 24,68	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 50,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 250,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 250,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α ₁	= 16,00 / 28,67	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α ₂	= 16,00 / 28,67	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 0,9	
Totaalfactor bij moeilijke omstandigheden	f	= 2	
Belastingfactor, bovengronds	f _{k,b}	= 1,1	
Belastingfactor, ondergronds	f _{k,o}	= 1,4	
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	f _{r,o}	= 0,9	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f ₁	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂	= 0,00005	N/mm²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃	= 0,2	
23-07-2019 08:35:45			

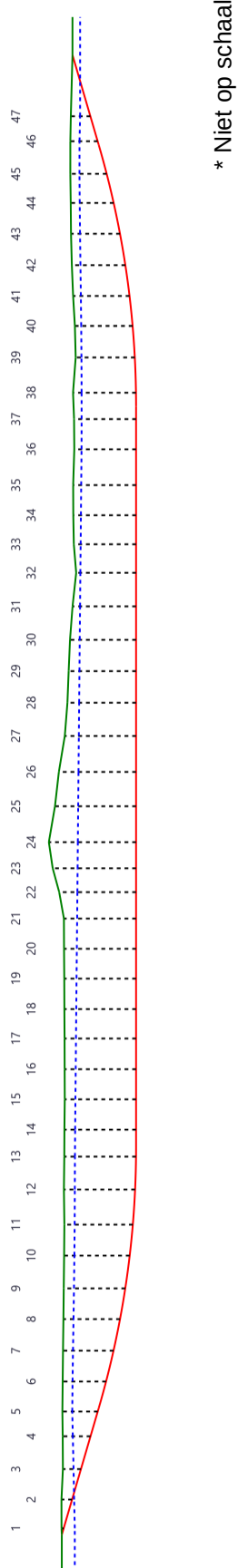


Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
1	1,77	0,56	-	Zand	16,96	-	35,00
2	9,66	2,75	-	Zand	19,37	-	32,50
3	18,02	4,68	2,76	Klei	19,36	15,26	27,50
4	27,01	7,21	2,62	Klei	19,38	16,59	22,50
5	33,81	9,17	2,56	Zand	16,13	16,95	35,00
6	41,76	11,25	2,56	Zand	16,13	17,00	32,50
7	49,9	13,10	2,59	Zand	16,11	17,66	35,00
8	58,25	14,68	2,62	Zand	16,06	18,07	35,00
9	66,39	15,95	2,65	Zand	16,04	18,36	35,00
10	75,14	17,01	2,66	Zand	16,02	18,56	35,00
11	83,43	17,75	2,67	Zand	16,02	18,68	35,00
12	92,92	18,46	2,83	Zand	15,84	18,81	32,50
13	101,86	18,60	2,76	Zand	15,91	18,80	35,00
14	109,08	18,58	2,78	Zand	15,88	18,80	35,00
15	117,07	18,49	2,76	Zand	15,91	18,78	32,50
16	125,01	18,52	2,87	Zand	14,94	17,99	35,00
17	133,11	18,54	2,96	Zand	14,91	18,02	35,00
18	140,87	18,59	3,08	Zand	14,88	18,06	35,00
19	148,93	18,62	3,18	Zand	14,85	18,09	35,00
20	156,8	18,68	3,32	Zand	14,81	18,15	35,00
21	164,76	18,71	3,43	Zand	14,76	18,18	35,00
22	171,71	19,93	4,71	Zand	14,51	18,77	35,00
23	178,02	21,62	6,46	Zand	14,60	19,46	35,00
24	184,91	22,62	7,52	Zand	15,74	19,92	35,00
25	194,37	21,03	6,02	Zand	15,85	19,37	35,00
26	203,42	20,02	5,09	Zand	16,28	18,90	35,00
27	212,91	18,48	3,64	Zand	17,69	18,09	35,00
28	221,67	17,80	3,04	Zand	18,54	17,76	35,00
29	230	17,48	2,80	Zand	18,71	17,67	35,00
30	238,27	17,13	2,52	Zand	16,71	18,46	35,00
31	247,08	16,47	1,95	Zand	17,77	18,14	35,00
32	255,93	15,53	1,08	Zand	17,44	17,99	35,00
33	263,47	16,14	1,77	Zand	18,16	18,02	35,00
34	271,13	16,28	1,98	Zand	17,73	18,11	35,00
35	279,06	16,31	2,08	Zand	17,51	18,15	35,00
36	288,52	16,02	1,88	Zand	17,89	18,03	35,00
37	296,47	16,08	1,96	Zand	17,77	18,06	35,00
38	303,44	16,32	2,22	Zand	17,22	18,20	35,00
39	312,73	15,33	1,50	Zand	13,77	17,99	35,00
40	321,07	14,97	1,64	Zand	13,64	17,97	35,00
41	329,01	14,63	2,01	Zand	13,52	18,04	35,00
42	337,22	13,87	2,23	Zand	13,50	17,93	35,00
43	345,61	12,70	2,34	Zand	13,44	17,66	35,00
44	353,9	11,13	2,33	Zand	13,44	17,05	35,00
45	361,79	9,42	2,37	Zand	13,43	16,11	35,00
46	370,7	7,08	2,38	Klei	13,60	13,04	22,50
47	377,54	5,07	2,41	Klei	13,59	11,45	15,00



Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
2	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
3	Geen	-	1,00	5,00	Grafiek ½ x II
4	Geen	-	5,00	3,00	Grafiek ½ x II
5	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
6	Geen	0,0060	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
7	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
8	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
9	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
10	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
11	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek II
12	Geen	0,0060	0,00	45,00	Grafiek II
13	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
14	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
15	Geen	-	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
16	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
17	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
18	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
19	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
20	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
21	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
22	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
23	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek II
24	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek II
25	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
26	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
27	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
28	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
29	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
30	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
31	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
32	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
33	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
34	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
35	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
36	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
37	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
38	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
39	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
40	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
41	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
42	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
43	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
44	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
45	Geen	0,0060	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
46	Geen	-	0,00	1,50	Grafiek ½ x II
47	Geen	-	2,50	0,50	Grafiek ½ x II



**2. Eigenschappen van de leiding**

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 70,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 80,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 90,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 45,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 35,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 40,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 2.042.035,22	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 45.378,56	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 2.513,27	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0240	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	<i>Leiding op rollenbaan/maaienveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,0240 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0240 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0240 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0240 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds**4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaienveld**

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	394,37	5.679
Na 1 ^e deel intrekken	369,69	5.324
Na 2 ^e deel intrekken	299,88	4.319
Na 3 ^e deel intrekken	104,54	1.505
Na 4 ^e deel intrekken	34,73	500

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 2 \cdot L \cdot 0,0240 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaienveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	5.679	2,26
Na 1 ^e deel intrekken	5.324	2,12
Na 2 ^e deel intrekken	4.319	1,72
Na 3 ^e deel intrekken	1.505	0,60
Na 4 ^e deel intrekken	500	0,20

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{2.513,27}$$



van den Heuvel Aannemingsbedrijf B.V.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

4.3 Berekening van de optredende spanning t.g.v. kromming van de leiding op rollenbaan/maaiveld

$$M_b = f_{k,b} \cdot E \cdot \frac{I_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{2.042.035}{50.000} = 43.801,66 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{43.801,66}{45.379} = \mathbf{0,97 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	2,26	2,89
Na 1 ^e deel intrekken	2,12	2,75
Na 2 ^e deel intrekken	1,72	2,35
Na 3 ^e deel intrekken	0,60	1,23
Na 4 ^e deel intrekken	0,20	0,83

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,97 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00 \text{ N/mm}^2}$

**5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat****5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand**

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 282,74 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0240 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 90,00^2 \cdot \pi/4 = 0,0732 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0492 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	24,68	1.183	-
2 ^e deel intrekken	94,49	-	4.530
3 ^e deel intrekken	289,83	13.894	-
4 ^e deel intrekken	359,64	-	17.240
Geheel ingetrokken	394,37	18.905	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 2 \cdot L \cdot (282,74 \cdot 0,00005 + 0,0492 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 2 \cdot L \cdot (282,74 \cdot 0,00005 + 0,0492 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
6	0,0029	250	0,00026	21
7	0,0029	250	0,00026	21
8	0,0029	250	0,00026	21
9	0,0029	250	0,00026	21
10	0,0029	250	0,00026	21
11	0,0029	250	0,00026	21
12	0,0029	250	0,00026	21
13	0,0029	250	0,00026	21
38	0,0029	250	0,00026	21
39	0,0029	250	0,00026	21
40	0,0029	250	0,00026	21
41	0,0029	250	0,00026	21
42	0,0029	250	0,00026	21
43	0,0029	250	0,00026	21
44	0,0029	250	0,00026	21
45	0,0029	250	0,00026	21

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 2 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 90 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$



van den Heuvel Aannemingsbedrijf B.V.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

5.4 Berekening van de wrijving door bochtcracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	4.319	4.530	21	-	8.869
Opgaande bocht	500	17.240	21	21	17.782

Neergaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a, \text{neer}} + T_{3b, \text{neer, max}}$ Opgaande bocht: $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a, \text{neer}} + T_{3b, \text{neer, max}} + T_{3a, \text{op}} + T_{3b, \text{op, max}}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	8,00	8.869	987
Opgaande bocht	8,00	17.782	1.980

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 2 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3c, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	$T_{3c, \text{op}}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	5.324	1.183	-	-	-	-	6.507
2 ^e deel intrekken	4.319	4.530	21	987	-	-	9.856
3 ^e deel intrekken	1.505	13.894	21	987	-	-	16.407
4 ^e deel intrekken	500	17.240	21	987	21	1.980	20.749
Geheel intrekken	0	18.905	21	987	21	1.980	21.913

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b, \text{neer, max}} + T_{3c, \text{neer}} + T_{3b, \text{op, max}} + T_{3c, \text{op}}$$

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm²]
1 ^e deel intrekken	6.507	2,59
2 ^e deel intrekken	9.856	3,92
3 ^e deel intrekken	16.407	6,53
4 ^e deel intrekken	20.749	8,26
Geheel intrekken	21.913	8,72

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{2.513,27}$$

*5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat*5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{2.042.035,22}{0,9 \cdot 250.000} = 12.388,35 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{12.388,35}{45.378,56} = \mathbf{0,27 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{2.042.035,22}{0,9 \cdot 250.000} = 12.388,35 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{12.388,35}{45.378,56} = \mathbf{0,27 \text{ N/mm}^2}$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	6.507	2,59	-	2,59
Na 1 ^e deel intrekken	9.856	3,92	0,27	4,10
Na 2 ^e deel intrekken	16.407	6,53	-	6,53
Na 3 ^e deel intrekken	20.749	8,26	0,27	8,43
Na 4 ^e deel intrekken	21.913	8,72	-	8,72

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{2.513,27} = \sigma_t$$

$$\text{Gebogen delen: } \sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

$$\text{Toelaatbare spanning: } \sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00 \text{ N/mm}^2}$$

**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase***6.1 Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk*

$$D_g/d_n = 80,00/10,00 = 8,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

$$\sigma_p = \frac{45,00^2 + 35,00^2}{45,00^2 - 35,00^2} \cdot 0,375 = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,52 = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$$

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,375 \cdot 40^3 \cdot 0,089}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,95$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ²]
1	0,56	-	Zand	-	-	8,55	0,77
2	2,75	-	Zand	-	-	47,94	4,31
3	4,68	2,76	Klei	48,09	26,37	74,46	4,97
4	7,21	2,62	Klei	45,70	68,53	114,23	6,15
5	9,17	2,56	Zand	37,16	100,84	138,00	6,47
6	11,25	2,56	Zand	37,16	132,96	170,12	7,49
7	13,10	2,59	Zand	37,55	167,05	204,60	8,95
8	14,68	2,62	Zand	37,87	196,13	234,00	10,21
9	15,95	2,65	Zand	38,26	219,77	258,02	11,25
10	17,01	2,66	Zand	38,35	239,70	278,05	12,11
11	17,75	2,67	Zand	38,50	253,52	292,02	12,71
12	18,46	2,83	Zand	40,34	264,60	304,94	13,38
13	18,60	2,76	Zand	39,52	268,01	307,53	13,42
14	18,58	2,78	Zand	39,73	267,34	307,07	13,42
15	18,49	2,76	Zand	39,52	265,87	305,39	13,33
16	18,52	2,87	Zand	38,59	253,39	291,98	12,19
17	18,54	2,96	Zand	39,72	252,68	292,40	12,29
18	18,59	3,08	Zand	41,25	252,10	293,35	12,44
19	18,62	3,18	Zand	42,50	251,38	293,88	12,55
20	18,68	3,32	Zand	44,25	250,91	295,16	12,74
21	18,71	3,43	Zand	45,56	250,01	295,58	12,85
22	19,93	4,71	Zand	61,51	257,11	318,62	14,98
23	21,62	6,46	Zand	84,88	265,51	350,40	17,89
24	22,62	7,52	Zand	106,53	270,71	377,24	20,36
25	21,03	6,02	Zand	85,88	261,67	347,54	17,77
26	20,02	5,09	Zand	74,58	253,96	328,54	16,13
27	18,48	3,64	Zand	57,95	241,61	299,56	13,60
28	17,80	3,04	Zand	50,73	235,92	286,65	12,51
29	17,48	2,80	Zand	47,15	233,46	280,61	12,04
30	17,13	2,52	Zand	37,90	242,73	280,63	12,11
31	16,47	1,95	Zand	31,19	237,05	268,24	11,07
32	15,53	1,08	Zand	16,95	233,96	250,91	9,58
33	16,14	1,77	Zand	28,93	233,05	261,98	10,65
34	16,28	1,98	Zand	31,59	233,08	264,67	10,95
35	16,31	2,08	Zand	32,78	232,45	265,23	11,06
36	16,02	1,88	Zand	30,27	229,45	259,72	10,65
37	16,08	1,96	Zand	31,35	229,51	260,85	10,77
38	16,32	2,22	Zand	34,41	230,96	265,36	11,19
39	15,33	1,50	Zand	18,59	223,92	242,51	9,38
40	14,97	1,64	Zand	20,13	215,59	235,72	9,22
41	14,63	2,01	Zand	24,46	204,90	229,36	9,28
42	13,87	2,23	Zand	27,09	187,83	214,93	8,87
43	12,70	2,34	Zand	28,30	164,66	192,97	8,04
44	11,13	2,33	Zand	28,18	135,04	163,22	6,77
45	9,42	2,37	Zand	28,65	102,22	130,86	5,43
46	7,08	2,38	Klei	29,13	55,16	84,29	3,36
47	5,07	2,41	Klei	29,48	27,41	56,89	2,73

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (0,9 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 0,9 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1	0,56	Grafiek ½ x II	45,86	4,13
2	2,75	Grafiek ½ x II	4,25	0,38
3	4,68	Grafiek ½ x II	2,18	0,20
4	7,21	Grafiek ½ x II	1,28	0,12
5	9,17	Grafiek ½ x II	0,94	0,08
6	11,25	Grafiek ½ x II	0,71	0,06
7	13,10	Grafiek ½ x II	0,57	0,05
8	14,68	Grafiek ½ x II	0,48	0,04
9	15,95	Grafiek ½ x II	0,42	0,04
10	17,01	Grafiek ½ x II	0,38	0,03
11	17,75	Grafiek II	0,70	0,06
12	18,46	Grafiek II	0,66	0,06
13	18,60	Grafiek ½ x II	0,32	0,03
14	18,58	Grafiek ½ x II	0,32	0,03
15	18,49	Grafiek ½ x II	0,33	0,03
16	18,52	Grafiek ½ x II	0,33	0,03
17	18,54	Grafiek ½ x II	0,33	0,03
18	18,59	Grafiek ½ x II	0,32	0,03
19	18,62	Grafiek ½ x II	0,32	0,03
20	18,68	Grafiek ½ x II	0,32	0,03
21	18,71	Grafiek ½ x II	0,32	0,03
22	19,93	Grafiek ½ x II	0,29	0,03
23	21,62	Grafiek II	0,50	0,04
24	22,62	Grafiek II	0,46	0,04
25	21,03	Grafiek ½ x II	0,26	0,02
26	20,02	Grafiek ½ x II	0,29	0,03
27	18,48	Grafiek ½ x II	0,33	0,03
28	17,80	Grafiek ½ x II	0,35	0,03
29	17,48	Grafiek ½ x II	0,36	0,03
30	17,13	Grafiek ½ x II	0,37	0,03
31	16,47	Grafiek ½ x II	0,40	0,04
32	15,53	Grafiek ½ x II	0,44	0,04
33	16,14	Grafiek ½ x II	0,41	0,04
34	16,28	Grafiek ½ x II	0,40	0,04
35	16,31	Grafiek ½ x II	0,40	0,04
36	16,02	Grafiek ½ x II	0,41	0,04
37	16,08	Grafiek ½ x II	0,41	0,04
38	16,32	Grafiek ½ x II	0,40	0,04
39	15,33	Grafiek ½ x II	0,44	0,04
40	14,97	Grafiek ½ x II	0,46	0,04
41	14,63	Grafiek ½ x II	0,48	0,04
42	13,87	Grafiek ½ x II	0,52	0,05
43	12,70	Grafiek ½ x II	0,59	0,05
44	11,13	Grafiek ½ x II	0,72	0,06
45	9,42	Grafiek ½ x II	0,91	0,08
46	7,08	Grafiek ½ x II	1,31	0,12
47	5,07	Grafiek ½ x II	1,98	0,18

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 90$$



6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ²]
1	0,77	4,13	4,90	27,03	1,54
2	4,31	0,38	4,70	25,93	1,48
3	4,97	0,20	5,17	28,54	1,63
4	6,15	0,12	6,27	34,58	1,97
5	6,47	0,08	6,56	36,19	2,06
6	7,49	0,06	7,55	41,70	2,38
7	8,95	0,05	9,01	49,71	2,83
8	10,21	0,04	10,25	56,57	3,22
9	11,25	0,04	11,29	62,32	3,55
10	12,11	0,03	12,14	67,03	3,82
11	12,71	0,06	12,77	70,51	4,02
12	13,38	0,06	13,44	74,17	4,23
13	13,42	0,03	13,45	74,25	4,23
14	13,42	0,03	13,45	74,22	4,23
15	13,33	0,03	13,36	73,73	4,20
16	12,19	0,03	12,22	67,47	3,85
17	12,29	0,03	12,32	68,02	3,88
18	12,44	0,03	12,47	68,84	3,92
19	12,55	0,03	12,58	69,45	3,96
20	12,74	0,03	12,77	70,49	4,02
21	12,85	0,03	12,88	71,09	4,05
22	14,98	0,03	15,00	82,82	4,72
23	17,89	0,04	17,94	99,01	5,64
24	20,36	0,04	20,40	112,63	6,42
25	17,77	0,02	17,79	98,22	5,60
26	16,13	0,03	16,16	89,19	5,08
27	13,60	0,03	13,63	75,26	4,29
28	12,51	0,03	12,55	69,25	3,95
29	12,04	0,03	12,07	66,65	3,80
30	12,11	0,03	12,14	67,02	3,82
31	11,07	0,04	11,11	61,32	3,50
32	9,58	0,04	9,62	53,08	3,03
33	10,65	0,04	10,68	58,97	3,36
34	10,95	0,04	10,99	60,65	3,46
35	11,06	0,04	11,10	61,27	3,49
36	10,65	0,04	10,69	58,99	3,36
37	10,77	0,04	10,81	59,65	3,40
38	11,19	0,04	11,23	61,98	3,53
39	9,38	0,04	9,42	51,99	2,96
40	9,22	0,04	9,26	51,11	2,91
41	9,28	0,04	9,33	51,49	2,93
42	8,87	0,05	8,91	49,21	2,80
43	8,04	0,05	8,10	44,69	2,55
44	6,77	0,06	6,83	37,73	2,15
45	5,43	0,08	5,51	30,44	1,74
46	3,36	0,12	3,47	19,18	1,09
47	2,73	0,18	2,90	16,03	0,91

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 40,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,95 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

6.6 Optredende spanning s_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
6	250	0,00026	0,0053
7	250	0,00026	0,0053
8	250	0,00026	0,0053
9	250	0,00026	0,0053
10	250	0,00026	0,0053
11	250	0,00026	0,0053
12	250	0,00026	0,0053
13	250	0,00026	0,0053
38	250	0,00026	0,0053
39	250	0,00026	0,0053
40	250	0,00026	0,0053
41	250	0,00026	0,0053
42	250	0,00026	0,0053
43	250	0,00026	0,0053
44	250	0,00026	0,0053
45	250	0,00026	0,0053

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 90 \cdot \frac{45,00}{16,67}$$

6.7 Berekening van de spanning s_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{80^3} = 0,159 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{158,69 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m²**

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{80,00^3} = 3,02 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{80,00^3} = 0,54 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **54,25 m** grondwater boven de leiding

**9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen****9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding**

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1	1,54	-	0,65	1,00
2	1,48	-	0,65	0,96
3	1,63	-	0,65	1,06
4	1,97	-	0,65	1,28
5	2,06	-	0,65	1,34
6	2,38	0,0053	0,65	1,55
7	2,83	0,0053	0,65	1,85
8	3,22	0,0053	0,65	2,10
9	3,55	0,0053	0,65	2,31
10	3,82	0,0053	0,65	2,49
11	4,02	0,0053	0,65	2,62
12	4,23	0,0053	0,65	2,75
13	4,23	0,0053	0,65	2,75
14	4,23	-	0,65	2,75
15	4,20	-	0,65	2,73
16	3,85	-	0,65	2,50
17	3,88	-	0,65	2,52
18	3,92	-	0,65	2,55
19	3,96	-	0,65	2,57
20	4,02	-	0,65	2,61
21	4,05	-	0,65	2,63
22	4,72	-	0,65	3,07
23	5,64	-	0,65	3,67
24	6,42	-	0,65	4,17
25	5,60	-	0,65	3,64
26	5,08	-	0,65	3,30
27	4,29	-	0,65	2,79
28	3,95	-	0,65	2,57
29	3,80	-	0,65	2,47
30	3,82	-	0,65	2,48
31	3,50	-	0,65	2,27
32	3,03	-	0,65	1,97
33	3,36	-	0,65	2,18
34	3,46	-	0,65	2,25
35	3,49	-	0,65	2,27
36	3,36	-	0,65	2,19
37	3,40	-	0,65	2,21
38	3,53	0,0053	0,65	2,30
39	2,96	0,0053	0,65	1,93
40	2,91	0,0053	0,65	1,90
41	2,93	0,0053	0,65	1,91
42	2,80	0,0053	0,65	1,83
43	2,55	0,0053	0,65	1,66
44	2,15	0,0053	0,65	1,40
45	1,74	0,0053	0,65	1,13
46	1,09	-	0,65	0,71
47	0,91	-	0,65	0,59

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$



9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
1	0,61	1,56	-	-	2,17
2	0,61	1,56	-	-	2,17
3	0,61	1,56	-	-	2,17
4	0,61	1,56	-	-	2,17
5	0,61	1,56	-	-	2,17
6	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
7	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
8	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
9	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
10	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
11	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
12	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
13	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
14	0,61	1,56	-	-	2,17
15	0,61	1,56	-	-	2,17
16	0,61	1,56	-	-	2,17
17	0,61	1,56	-	-	2,17
18	0,61	1,56	-	-	2,17
19	0,61	1,56	-	-	2,17
20	0,61	1,56	-	-	2,17
21	0,61	1,56	-	-	2,17
22	0,61	1,56	-	-	2,17
23	0,61	1,56	-	-	2,17
24	0,61	1,56	-	-	2,17
25	0,61	1,56	-	-	2,17
26	0,61	1,56	-	-	2,17
27	0,61	1,56	-	-	2,17
28	0,61	1,56	-	-	2,17
29	0,61	1,56	-	-	2,17
30	0,61	1,56	-	-	2,17
31	0,61	1,56	-	-	2,17
32	0,61	1,56	-	-	2,17
33	0,61	1,56	-	-	2,17
34	0,61	1,56	-	-	2,17
35	0,61	1,56	-	-	2,17
36	0,61	1,56	-	-	2,17
37	0,61	1,56	-	-	2,17
38	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
39	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
40	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
41	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
42	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
43	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
44	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
45	0,61	1,56	0,27	0,65	2,35
46	0,61	1,56	-	-	2,17
47	0,61	1,56	-	-	2,17

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$ Bochten: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \sigma_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$



10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_y [mm]	δ_y/D_g [%]
1	0,77	4,13	-	0,58	0,72
2	4,31	0,38	-	0,52	0,65
3	4,97	0,20	-	0,50	0,63
4	6,15	0,12	-	0,52	0,65
5	6,47	0,08	-	0,77	0,96
6	7,49	0,06	0,00026	0,84	1,05
7	8,95	0,05	0,00026	1,06	1,32
8	10,21	0,04	0,00026	1,21	1,51
9	11,25	0,04	0,00026	1,33	1,66
10	12,11	0,03	0,00026	1,43	1,79
11	12,71	0,06	0,00026	1,50	1,88
12	13,38	0,06	0,00026	1,49	1,86
13	13,42	0,03	0,00026	1,58	1,98
14	13,42	0,03	-	1,58	1,98
15	13,33	0,03	-	1,48	1,85
16	12,19	0,03	-	1,44	1,80
17	12,29	0,03	-	1,45	1,81
18	12,44	0,03	-	1,47	1,83
19	12,55	0,03	-	1,48	1,85
20	12,74	0,03	-	1,50	1,88
21	12,85	0,03	-	1,51	1,89
22	14,98	0,03	-	1,76	2,21
23	17,89	0,04	-	2,11	2,64
24	20,36	0,04	-	2,40	3,00
25	17,77	0,02	-	2,09	2,62
26	16,13	0,03	-	1,90	2,38
27	13,60	0,03	-	1,60	2,00
28	12,51	0,03	-	1,48	1,84
29	12,04	0,03	-	1,42	1,78
30	12,11	0,03	-	1,43	1,79
31	11,07	0,04	-	1,31	1,63
32	9,58	0,04	-	1,13	1,41
33	10,65	0,04	-	1,26	1,57
34	10,95	0,04	-	1,29	1,62
35	11,06	0,04	-	1,31	1,63
36	10,65	0,04	-	1,26	1,57
37	10,77	0,04	-	1,27	1,59
38	11,19	0,04	0,00026	1,32	1,65
39	9,38	0,04	0,00026	1,11	1,38
40	9,22	0,04	0,00026	1,09	1,36
41	9,28	0,04	0,00026	1,10	1,37
42	8,87	0,05	0,00026	1,05	1,31
43	8,04	0,05	0,00026	0,95	1,19
44	6,77	0,06	0,00026	0,80	1,00
45	5,43	0,08	0,00026	0,65	0,81
46	3,36	0,12	-	0,29	0,36
47	2,73	0,18	-	0,18	0,22

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 40,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 80,00 = \mathbf{6,40 \text{ mm}}$$



11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
1	0,56	10,55	4,50	7,53	11,84	28,85
2	2,75	59,19	27,39	43,29	66,54	17,31
3	4,68	72,73	39,14	55,93	82,65	1,79
4	7,21	95,13	58,72	76,92	110,98	1,07
5	9,17	104,27	44,46	74,37	117,02	28,85
6	11,25	123,13	56,97	90,05	138,43	17,31
7	13,10	147,49	62,89	105,19	165,53	28,85
8	14,68	168,29	71,76	120,03	188,87	28,85
9	15,95	185,55	79,12	132,34	208,24	28,85
10	17,01	199,78	85,19	142,48	224,21	28,85
11	17,75	209,72	89,43	149,57	235,37	28,85
12	18,46	220,18	101,88	161,03	247,54	17,31
13	18,60	221,27	94,36	157,81	248,33	28,85
14	18,58	221,10	94,28	157,69	248,13	28,85
15	18,49	219,72	101,67	160,69	247,04	17,31
16	18,52	203,97	86,98	145,47	228,91	28,85
17	18,54	205,18	87,50	146,34	230,28	28,85
18	18,59	207,06	88,29	147,68	232,38	28,85
19	18,62	208,41	88,87	148,64	233,90	28,85
20	18,68	210,79	89,89	150,34	236,57	28,85
21	18,71	212,11	90,45	151,28	238,05	28,85
22	19,93	241,16	102,84	172,00	270,65	28,85
23	21,62	280,99	119,82	200,40	315,35	28,85
24	22,62	314,73	134,21	224,47	353,22	28,85
25	21,03	278,97	118,96	198,96	313,08	28,85
26	20,02	256,30	109,29	182,80	287,65	28,85
27	18,48	221,43	94,42	157,93	248,51	28,85
28	17,80	206,29	87,97	147,13	231,52	28,85
29	17,48	199,63	85,13	142,38	224,04	28,85
30	17,13	200,36	85,44	142,90	224,86	28,85
31	16,47	185,96	79,30	132,63	208,70	28,85
32	15,53	165,27	70,47	117,87	185,48	28,85
33	16,14	179,73	76,64	128,19	201,71	28,85
34	16,28	183,75	78,36	131,06	206,23	28,85
35	16,31	185,14	78,95	132,04	207,78	28,85
36	16,02	179,24	76,43	127,84	201,16	28,85
37	16,08	180,84	77,11	128,98	202,96	28,85
38	16,32	186,61	79,57	133,09	209,43	28,85
39	15,33	161,10	68,70	114,90	180,80	28,85
40	14,97	157,71	67,25	112,48	177,00	28,85
41	14,63	156,96	66,93	111,94	176,15	28,85
42	13,87	148,94	63,51	106,23	167,16	28,85
43	12,70	134,63	57,41	96,02	151,09	28,85
44	11,13	113,51	48,40	80,95	127,39	28,85
45	9,42	91,06	38,83	64,95	102,20	28,85
46	7,08	57,06	35,23	46,14	63,80	0,54
47	5,07	43,63	32,34	37,99	50,23	0,18

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{\text{hor}} = \sigma_{\text{vert}} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{\text{vert}} + \sigma_{\text{hor}}}{2}$$

$$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$



Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	Δp [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]
1	0,00015	0,28	0,0000	0,0000	0,00	0,29
2	0,0013	0,58	0,0000	0,0000	0,01	0,67
3	0,015	2,34	0,0192	0,02166	0,02	0,34
4	0,032	3,61	0,0459	0,05178	0,04	0,35
5	0,0015	0,56	0,0661	0,07457	0,04	1,32
6	0,0028	0,40	0,0869	0,09804	0,05	1,17
7	0,0021	0,47	0,1051	0,1186	0,07	1,67
8	0,0024	0,44	0,1206	0,1361	0,08	1,83
9	0,0026	0,42	0,1330	0,1500	0,09	1,95
10	0,0028	0,40	0,1435	0,1619	0,10	2,05
11	0,0030	0,39	0,1508	0,1701	0,11	2,11
12	0,0050	0,30	0,1563	0,1763	0,12	1,73
13	0,0031	0,38	0,1584	0,1787	0,13	2,19
14	0,0031	0,38	0,1580	0,1782	0,14	2,19
15	0,0050	0,30	0,1573	0,1775	0,15	1,73
16	0,0029	0,40	0,1565	0,1766	0,16	2,08
17	0,0029	0,40	0,1558	0,1758	0,17	2,09
18	0,0029	0,39	0,1551	0,1750	0,18	2,10
19	0,0030	0,39	0,1544	0,1742	0,19	2,11
20	0,0030	0,39	0,1536	0,1733	0,20	2,12
21	0,0030	0,39	0,1528	0,1724	0,21	2,13
22	0,0034	0,36	0,1522	0,1717	0,22	2,30
23	0,0040	0,34	0,1516	0,1710	0,23	2,51
24	0,0045	0,32	0,1510	0,1704	0,24	2,69
25	0,0040	0,34	0,1501	0,1693	0,25	2,50
26	0,0036	0,35	0,1493	0,1684	0,27	2,38
27	0,0031	0,38	0,1484	0,1674	0,28	2,18
28	0,0029	0,39	0,1476	0,1665	0,29	2,09
29	0,0028	0,40	0,1468	0,1656	0,30	2,05
30	0,0028	0,40	0,1461	0,1648	0,31	2,05
31	0,0026	0,42	0,1452	0,1638	0,32	1,96
32	0,0023	0,44	0,1445	0,1630	0,33	1,83
33	0,0025	0,42	0,1437	0,1621	0,34	1,92
34	0,0026	0,42	0,1430	0,1613	0,35	1,95
35	0,0026	0,42	0,1423	0,1605	0,36	1,95
36	0,0025	0,42	0,1414	0,1595	0,38	1,92
37	0,0026	0,42	0,1412	0,1593	0,39	1,93
38	0,0026	0,41	0,1410	0,1591	0,40	1,96
39	0,0023	0,45	0,1383	0,1560	0,41	1,80
40	0,0022	0,45	0,1333	0,1504	0,42	1,77
41	0,0022	0,45	0,1262	0,1424	0,43	1,76
42	0,0021	0,46	0,1164	0,1313	0,44	1,70
43	0,0019	0,49	0,1036	0,1169	0,45	1,58
44	0,0016	0,53	0,0880	0,09928	0,46	1,42
45	0,0013	0,59	0,0705	0,07953	0,47	1,23
46	0,033	3,54	0,0470	0,05302	0,48	0,21
47	0,069	2,54	0,0266	0,03001	0,49	0,12

$$Q = \frac{\sigma'_0 \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}, R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_0^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$



Locatie	$p_{\max}$ [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	$p_{\max}$ [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1	33,38	264,19	2,31	0,33	2,64	0,02
2	290,27	603,98	12,60	2,90	6,04	0,13
3	330,83	302,61	45,16	3,31	3,03	0,45
4	352,47	318,10	87,01	3,52	3,18	0,87
5	591,23	1.192,15	118,67	5,91	11,92	1,19
6	554,36	1.050,87	152,51	5,54	10,51	1,53
7	759,70	1.506,51	183,66	7,60	15,07	1,84
8	832,44	1.643,93	212,03	8,32	16,44	2,12
9	890,41	1.753,37	236,64	8,90	17,53	2,37
10	937,32	1.841,35	259,90	9,37	18,41	2,60
11	969,50	1.901,60	278,95	9,70	19,02	2,79
12	838,55	1.560,25	297,53	8,39	15,60	2,98
13	1.005,48	1.969,64	311,56	10,05	19,70	3,12
14	1.004,65	1.968,36	320,53	10,05	19,68	3,21
15	838,63	1.559,25	330,16	8,39	15,59	3,30
16	960,86	1.875,79	339,61	9,61	18,76	3,40
17	963,20	1.881,73	349,39	9,63	18,82	3,49
18	967,18	1.891,18	358,72	9,67	18,91	3,59
19	969,86	1.897,84	368,44	9,70	18,98	3,68
20	974,96	1.909,85	377,81	9,75	19,10	3,78
21	977,41	1.916,15	387,29	9,77	19,16	3,87
22	1.046,89	2.066,77	395,67	10,47	20,67	3,96
23	1.137,57	2.263,11	403,23	11,38	22,63	4,03
24	1.210,65	2.421,49	411,54	12,11	24,21	4,12
25	1.131,56	2.252,02	422,86	11,32	22,52	4,23
26	1.079,31	2.140,32	433,76	10,79	21,40	4,34
27	995,86	1.961,48	445,13	9,96	19,61	4,45
28	957,76	1.880,30	455,65	9,58	18,80	4,56
29	940,24	1.843,50	465,61	9,40	18,44	4,66
30	941,38	1.846,84	475,61	9,41	18,47	4,76
31	903,67	1.766,65	486,09	9,04	17,67	4,86
32	848,19	1.647,86	496,84	8,48	16,48	4,97
33	885,93	1.730,28	505,77	8,86	17,30	5,06
34	895,74	1.752,31	514,97	8,96	17,52	5,15
35	898,64	1.759,45	524,53	8,99	17,59	5,25
36	882,34	1.725,42	535,85	8,82	17,25	5,36
37	886,34	1.734,28	545,99	8,86	17,34	5,46
38	901,15	1.766,50	554,86	9,01	17,66	5,55
39	830,65	1.617,82	563,93	8,31	16,18	5,64
40	816,37	1.593,30	569,17	8,16	15,93	5,69
41	807,19	1.582,42	571,52	8,07	15,82	5,72
42	775,09	1.525,51	571,17	7,75	15,26	5,71
43	721,32	1.425,63	567,67	7,21	14,26	5,68
44	642,23	1.274,63	560,89	6,42	12,75	5,61
45	552,31	1.102,69	551,43	5,52	11,03	5,51
46	210,56	189,95	536,54	2,11	1,90	5,37
47	120,39	108,55	522,45	1,20	1,09	5,22

$$p_{\max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o}{R_{p,\max}} \right)^{\frac{2}{1+\sin \varphi}} + Q - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{\min} = p_{st} + \Delta p$$

