

WERKPLAN HORIZONTAAL GESTUURDE BORING

Opdrachtgever: KPN / VW Telecom Infratechniek
Referentie: 495511
Projectnummer: 1500322.001
Locatie: Angstel / Rijksstraatweg 2 te Baambrugge

Van de Beek Gestuurd Boren B.V.

23 april 2015

Definitief werkplan

1500322.001

INHOUD

Inleiding	3
Technische specificaties	3
Korte beschrijving boormethode	4
Beschrijving werkzaamheden m.b.t. de uitvoering	5
Planning van de werkzaamheden	6
Werktekening	7
Grondonderzoek	8
Sterkteberekening/Boorspoeldrukberkeningen	9

INLEIDING

I.v.m. het definitief herstel van een KPN kabel dient er een kruising gemaakt te worden onder de Angstel d.m.v. gestuurd boren. De boring bestaat uit een HPE buis welke bestemd is voor kabels. Tevens zal er een kabel gelegd en gelast moeten worden om de bestaande verbinding definitief te kunnen herstellen.

In dit rapport is zijn diverse gegevens opgenomen die nodig zijn voor de aanvraag van de vergunning(en).

Uitgangspunten voor de berekeningen zijn de normen: NEN 3650 en NEN 3651.

Opdrachtgever van de boring is:

VolkerWessels Telecom Infratechniek

Contactpersoon: Dhr. T. van Velzen

t.j.vanvelzen@vwtelecom.com

Tel. (088) 186 09 81

Engineering:

Van de Beek Gestuurd Boren B.V.

Contactpersoon: Dhr. R. Zwaan

Tel. (06) 51 30 43 30

rzwaan@beekbedrijven.nl

TECHNISCHE SPECIFICATIES

Ontwerpgegevens van de HPE mantelbuis:

Diameter: 63 mm

Wanddikte: 5,8 mm

Materiaal: HPE

Klasse: SDR 11 PE 100

Medium: geen (betreft een HPE buis voor kabels)

KORTE BESCHRIJVING BOORMETHODE

Horizontaal gestuurd boren is een succesvol systeem voor aanleg van kabels en leidingen onder rivieren, kanalen, wegen en diverse obstakels. Overlast m.b.t de omgeving, omwonenden en milieu wordt veelal tot een minimum beperkt.

Een horizontaal gestuurd boorsysteem bestaat uit een boorunit en een mengunit.

Met behulp van de (hydraulische) boorunit worden vanaf het intredepunt boorstangen de grond ingedrukt en teruggetrokken, al dat niet met gelijktijdig roteren. Tevens wordt tijdens het boorproces een mengsel van water en bentoniet/quickgel via de boorkop de grond ingespoten. Bentoniet zorgt o.a. voor de afvoer van geboorde grond, koeling van de boorkop en opvulling van het geboorde gat.

De eigenschappen van de boorspoeling kunnen tijdens de verschillende fasen van het proces worden aangepast aan de gewenste eisen van de boormeester, door o.a. de verhouding tussen water en bentoniet aan te passen.

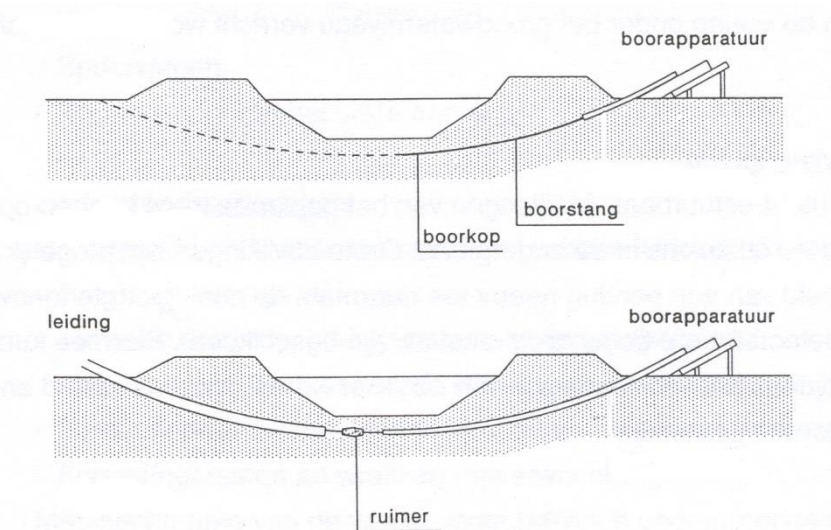
De bentoniet wordt via een hogedruk slang aangevoerd vanaf de mengunit naar de boorunit.

Het volledige boorproces wordt bediend vanaf de boormachine door de boormeester.

Tevens heeft de boormeester tijdens het boorproces voortdurend contact met de persoon die de boorkop vanaf het maaiveld lokaliseert.

Nadat de zogenaamde pilotboring is voltooid wordt de boorgang, indien nodig, tot voldoende diameter geruimd. Deze keuze van het aantal ruimgangen wordt beslist door de boormeester.

Na de boor- en/of ruimfase wordt vanaf het uitredepunt de reeds gereedliggende mantelbuis teruggetrokken naar de boormachine. Tijdens de terugtrekfase wordt ook gebruik gemaakt van een ruimer die voorzien is van een wartellager om het meedraaien van de mantelbuis te voorkomen.



Schets boorproces

BESCHRIJVING WERKZAAMHEDEN M.B.T UITVOERING

Verkeersmaatregelen

- Voor aanvang van de werkzaamheden worden verkeersmaatregelen genomen om zodoende een veilige situatie te creëren voor de werknemers en overige weggebruikers.
- Alle werknemers van de boorploeg zijn verplicht veiligheidskleding te dragen en te werken conform de eisen van Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht (Waternet) en Gemeente De Ronde Venen.

Intredewerkplek

- Kabels en leidingen nabij het intredepunt worden vrij gegraven om zodoende schades tot een minimum te beperken.
- T.h.v. het intredepunt wordt een gat gegraven waarin de boorspoeling tijdens de boorfase opgevangen wordt. Overtollige boorspoeling wordt afgevoerd.
- De boring zal worden uitgevoerd met een minirig.
- De boormachine wordt zo veel mogelijk opgesteld in de zichtlijn van de boring.
- De mengunit en het overige materieel wordt zo dicht mogelijk opgesteld bij de boorunit.

Uittredewerkplek

- Kabels en leidingen nabij het uittredepunt worden vrij gegraven om zodoende schades tot een minimum te beperken.
- T.h.v. het uittredepunt wordt een gat gegraven waarin de boorspoeling tijdens de intrekfase opgevangen wordt. Overtollige boorspoeling wordt afgevoerd.
- De HPE buis wordt klaargelegd.

Pilotboring / lokaliseren van de boorkop

Na iedere geboorde stang worden er metingen verricht die van belang zijn voor het verloop van de boring en voor de uitwerking van de revisie.

Intrekfase

Na de pilotboring zal de HPE buis, voorzien van een 'trekkop', ingetrokken worden vanaf het uittredepunt van de boring.

PLANNING VAN DE WERKZAAMHEDEN

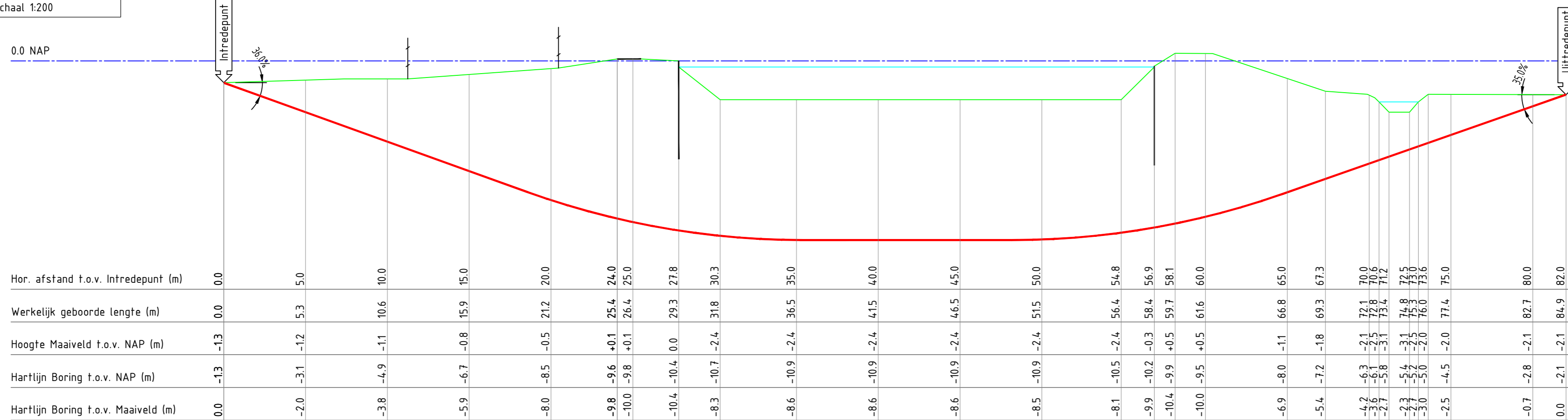
Onderstaand overzicht geeft een globale tijdsplanning voor de realisatie van de boring:

- Voorbereidende werkzaamheden (graafwerkzaamheden, opstellen boormachine en derg.) 0,25 dag
- Realiseren van de pilotboring 1,00 dag
- Intrekfase 0,25 dag

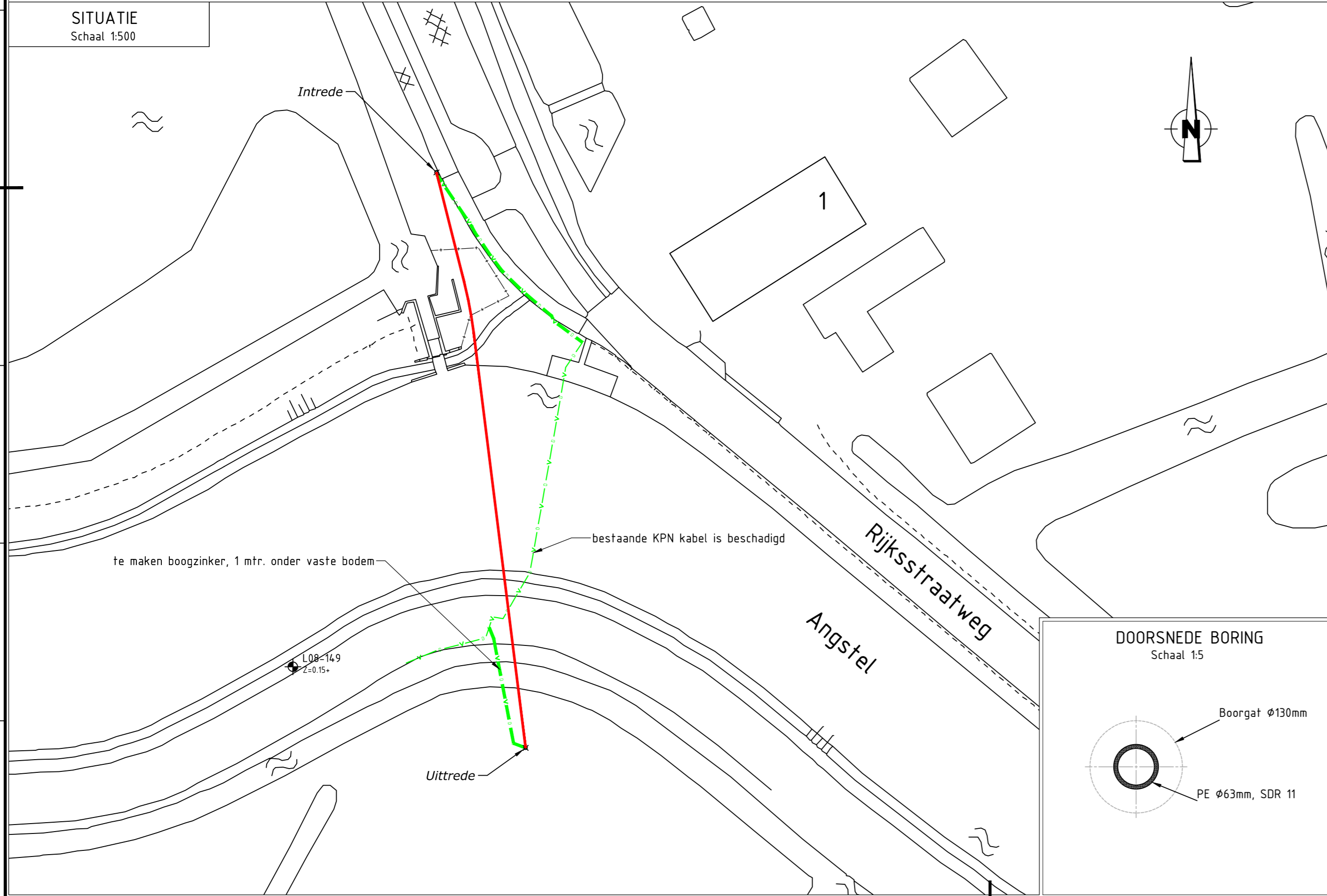
WERKTEKENING

LENGTEPROFIEL
Schaal 1:200

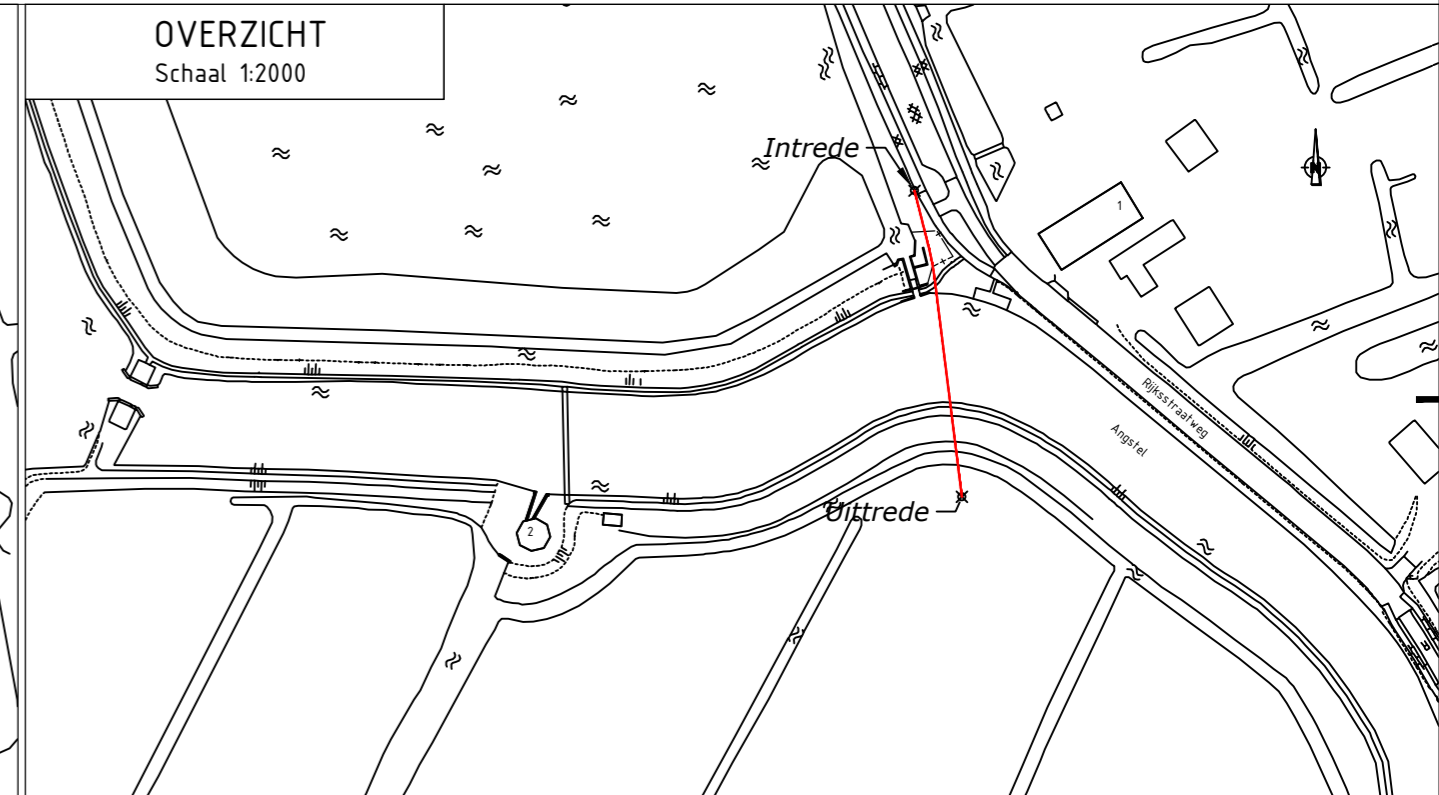
0.0 NAP



SITUATIE
Schaal 1:500



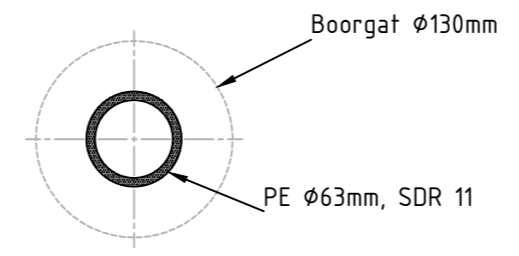
OVERZICHT
Schaal 1:2000



LEGENDA

- Gestuurde Boring Nieuw
- Bestaande KPN kabel
- - - Nieuw te leggen KPN kabel

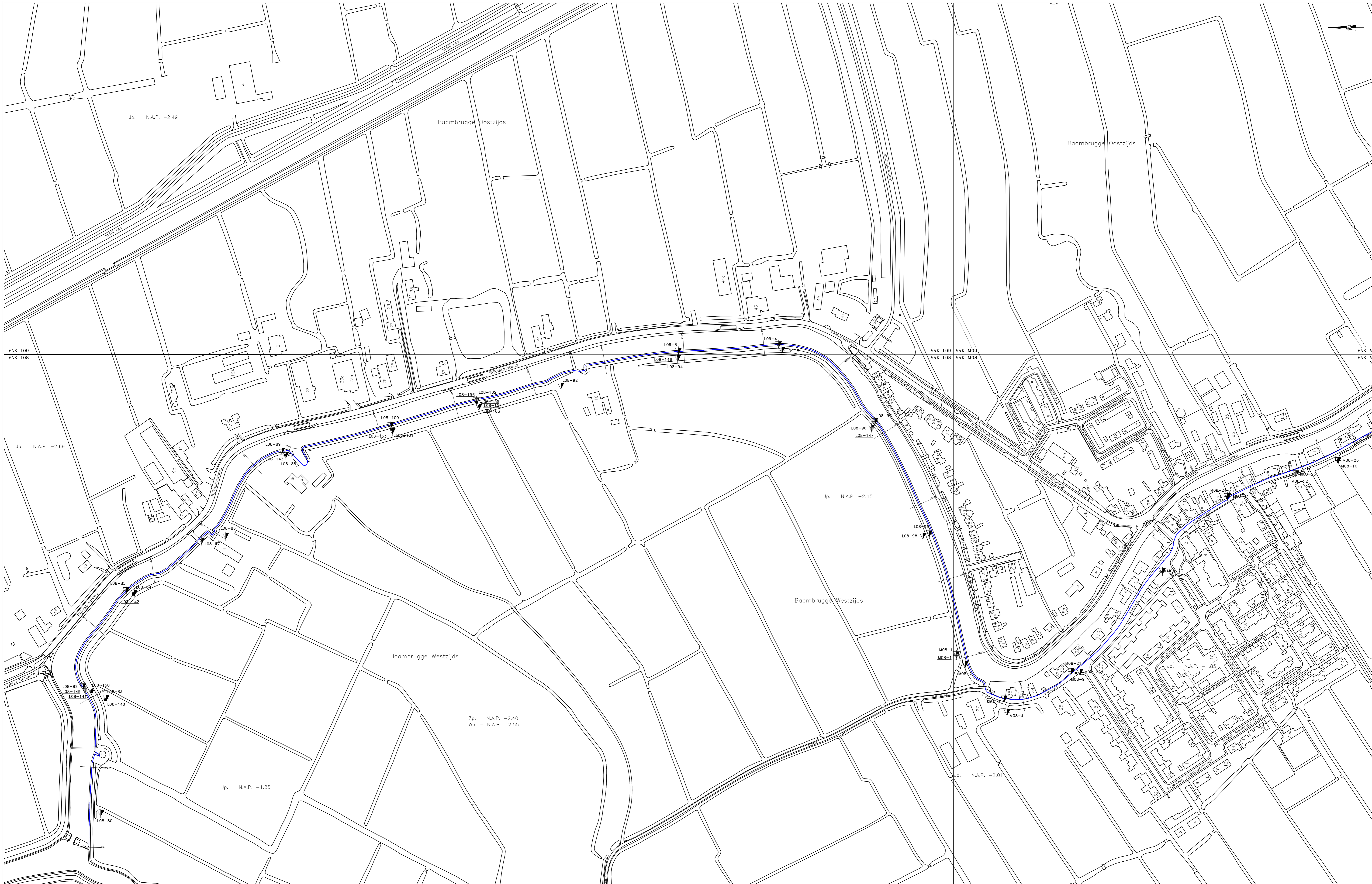
DOORSNEDE BORING
Schaal 1:5



A		HDD dieper en buiten veiligheidszones		23-04-2015	RZ	HvdB
Getekend door RZ	Gecontroleerd door HvdB	Goedgekeurd 09-03-2015	Blad 1	Aantal 1	Status Werkplan	
Projectnr. Opdrachtgever: 495511	Projectnr. 1500322.001	Schaal DIV	Formaat A2	Datum uitgifte 09-03-2015		
Opdrachtgever KPN / VolkerWessels Telecom Infratechniek						
Projectomschrijving Gestuurde Boring Definitief herstel kabelschade KPN						
Locatie Angstel / Rijksstraatweg 2 te Baambrugge (molen)						
vandebek kabels-leidingen.nl						Tekeningnummer 1500322.001

GRONDONDERZOEK

Om een beeld te krijgen van de grondsamenstelling is er een grondboring gebruikt die gemaakt is voor de ophoging van de Angstelkade te Baambrugge.



Peilfilters:	W.S.M:
Ackermannboring LOB-149	nabij sondering MO8-19 WSM 00
Ackermannboring MO8-6	nabij sondering MO9-12 WSM 1
Ackermannboring MO9-8	nabij sondering MO9-11 WSM 2
boring LOB-148	nabij sondering MO9-11 WSM 3
boring LOB-150	nabij sondering MO8-19 WSM 6
boring MO8-7	nabij sondering LOB-82 WSM 16
boring MO8-8	nabij sondering LOB-82 WSM 17
boring MO9-6	nabij sondering LOB-83 WSM 18
boring MO9-7	nabij sondering MO8-20 WSM 21
	nabij sondering MO8-20 WSM 23

- LEGENDA:
- boring
 - ⊕ Ackermannboring
 - ▼ sondering
 - tracé
 - VAK O2/P2

Onderzoek & Projecten
 Afdeling O&P
 Spilweg 16
 1094 BX Amsterdam

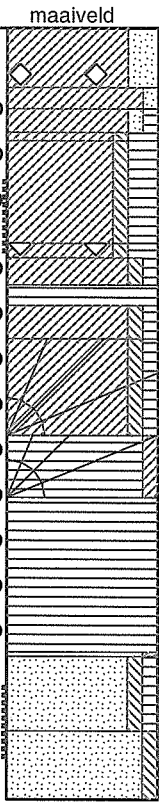
wateronnet

Projectgegevens	
Projectnaam	Amstelwater Baambrugge (P030-P031)
Projectnummer	1056481000
Projectleider	
Projectstart	2015-04-04
Projectstop	2015-10-01
Projectstatus	Bepland
Projectversie	1.0
Projectdatum	2015-09-23
Projectlocatie	

m +/-
N.A.P.

4
3
2
1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
-19
-20

L08-149

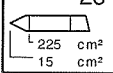
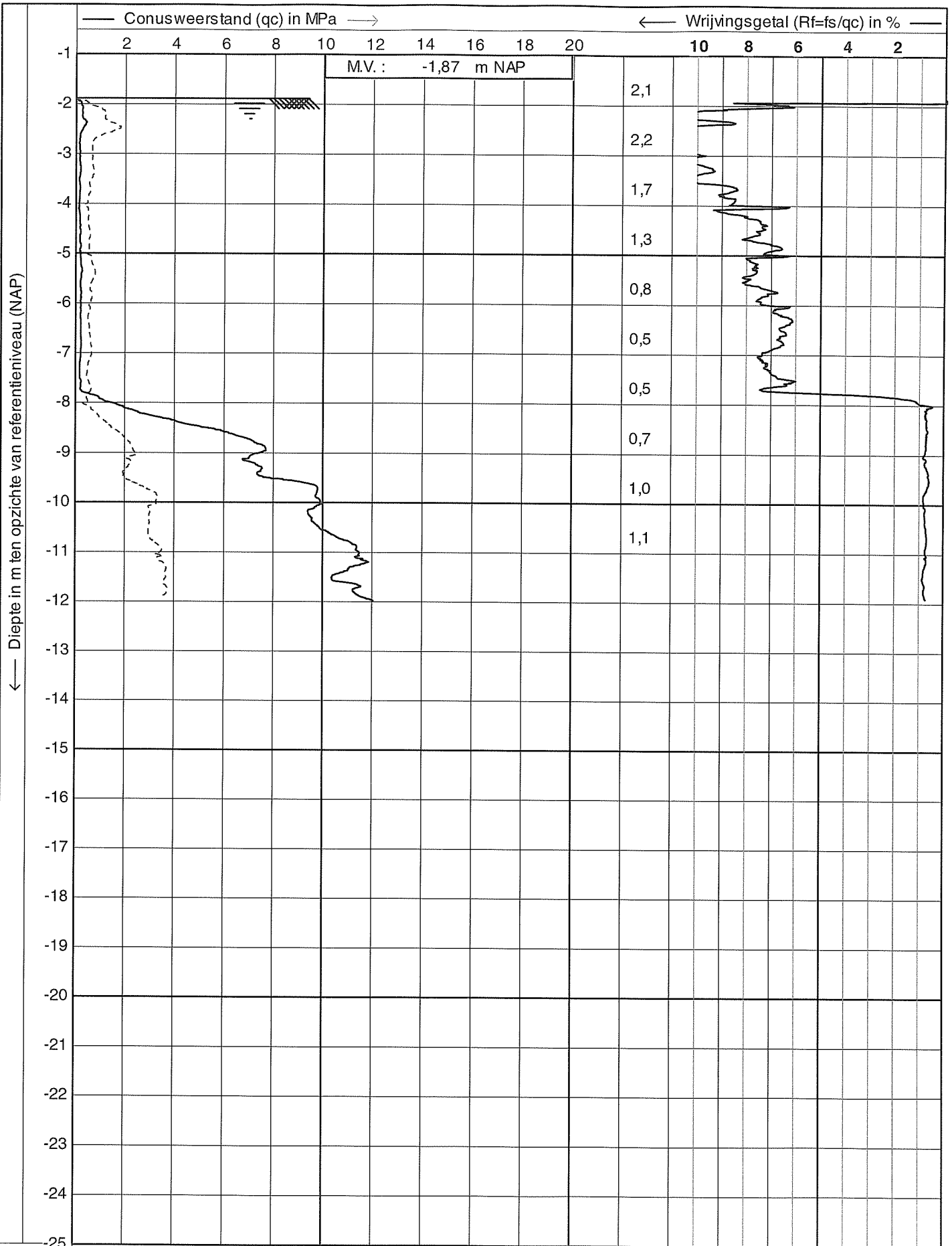


- Klei (vast), zeer zandig, met puin
- Klei (vast), weinig zandig, roestsporen
- Klei (vast), weinig zandig, met sporen veen
- Klei (vast), weinig siltig, zeer humeus
- Klei (vast), weinig siltig, zeer humeus
- Klei (matig vast), weinig siltig, zeer humeus, met puin
- Klei (matig vast), weinig siltig, met sporen veen
- Veen (matig slap)
- Klei (slap), weinig siltig, met sporen veen
- Klei (matig vast), weinig siltig, met sporen veen en houtresten
- Veen (matig vast), kleilig, met houtresten
- Veen (vast)
- Veen (matig slap), kleilig
- Zand (zeer fijn), weinig siltig, met sporen veen
- Zand (matig fijn), weinig siltig, grofgrindje

Ackermannboring
geboord op: 02-03-2007
coördinaten: (127,681, 474,583)
maaiveld op: N.A.P. + 0,15 m
geboord tot: N.A.P. - 10,05 m
bij visuele inspectie geen
asbest waargenomen

filters monsters: ongeroerd geroerd | volume

06-03-2007 / Fr.V	Angsteltkade Baambrugge	63338-4 / 0
		L08-149 Blz 1 van 1



STERKTEBEREKENING/BOORSPOELDRUKBEREKENINGEN

Op basis van het grondonderzoek zijn berekeningen gemaakt.

Er zijn berekeningen uitgevoerd op meerdere punten van het boorprofiel.

De parameters zijn met behulp van onderstaande tabel uit NEN 6740 bepaald

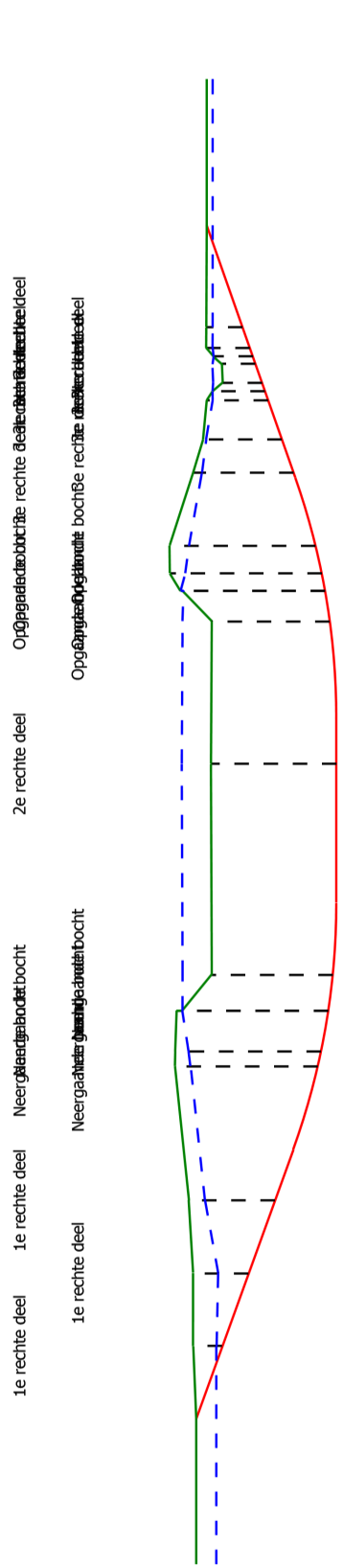
Hoofd-naam	Bijmengsel	Consistentie ^b	γ^c kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	$q_c^{d,g}$ MPa	C'_p	C'_s	$C_d/(1+e_0)$ [-]	C_o^f [-]	$C_{sw}/(1+e_0)^e$ [-]	E_{100}^f MPa	ϕ'^f Graden	c' kPa	c_u kPa
Grind	zwak siltig	Los	17	19	15	500	∞	0,0046	0	0,0015	45	32,5	0	n.v.t.
		Matig	18	20	25	1000	∞	0,0023	0	0,0008	75	35,0	0	
		Vast	19 20	21 22	30	1200 1400	∞	0,0019 0,0016	0	0,0006 0,0005	90 105	37,5 40,0	0	
	sterk siltig	Los	18	20	10	400	∞	0,0058	0	0,0019	30	30,0	0	n.v.t.
		Matig	19	21	15	600	∞	0,0038	0	0,0013	45	32,5	0	
		Vast	20 21	22 22,5	25	1000 1500	∞	0,0023 0,0015	0	0,0008 0,0005	75 110	35,0 40,0	0	
Zand	schoon	Los	17	19	5	200	∞	0,0115	0	0,0038	15	30,0	0	n.v.t.
		Matig	18	20	15	600	∞	0,0038	0	0,0013	45	32,5	0	
		Vast	19 20	21 22	25	1000 1500	∞	0,0023 0,0015	0	0,0008 0,0005	75 110	35,0 40,0	0	
	zwak siltig, kleilig	18 19	20 21	12	450 650	∞	0,0051 0,0035	0	0,0017 0,0012	35 50	27,0 32,5	0	n.v.t.	
sterk siltig, kleilig	18 19	20 21	8	200 400	∞	0,0115 0,0058	0	0,0038 0,0019	15 30	25,0 30,0	0	n.v.t.		
Leem ^e	zwak zandig	Slap	19	19	1	25	650	0,0920	0,0037	0,0307	2	27,5 30,0	0	50
		Matig	20	20	2	45	1300	0,0511	0,0020	0,0170	3	27,5 32,5	1	100
		Vast	21 22	21 22	3	70 100	1900 2500	0,0329 0,0230	0,0013 0,0009	0,0110 0,0077	5 7	27,5 35,0	2,5 3,8	200 300
	sterk zandig	19 20	19 20	2	45 70	1300 2000	0,0511 0,0329	0,0020 0,0013	0,0170 0,0110	3 5	27,5 35,0	0 1	50 100	
Klei	schoon	Slap	14	14	0,5	7	80	0,3286	0,0131	0,1095	1	17,5	0	25
		Matig	17	17	1,0	15	160	0,1533	0,0061	0,0511	2	17,5	5	50
		Vast	19 20	19 20	2,0	25 30	320 500	0,0920 0,0767	0,0037 0,0031	0,0307 0,0256	4 10	17,5 25,0	13 15	100 200
	zwak zandig	Slap	15	15	0,7	10	110	0,2300	0,0092	0,0767	1,5	22,5	0	40
		Matig	18	18	1,5	20	240	0,1150	0,0046	0,0383	3	22,5	5	80
		Vast	20 21	20 21	2,5	30 50	400 600	0,0767 0,0460	0,0031 0,0018	0,0256 0,0153	5 10	22,5 27,5	13 15	120 170
	sterk zandig	-	18 20	18 20	1,0	25 140	320 1680	0,0920 0,0164	0,0037 0,0007	0,0307 0,0055	2 5	27,5 32,5	0 1	0 10
	organisch	Slap	13	13	0,2	7,5	30	0,3067	0,0153	0,1022	0,5	15,0	0 1	10
Matig		15 16	15 16	0,5	10 15	40 60	0,2300 0,1533	0,0115 0,0077	0,0767 0,0511	1,0 2,0	15,0	0 1	25 30	
Veen	niet voorbelast	Slap	10 12	10 12	0,1	5 7,5	20 30	0,4600 0,3067	0,0230 0,0153	0,1533 0,1022	0,2 0,5	15,0	1 2,5	10 20
	matig voorbelast	Matig	12 13	12 13	0,2	7,5 10	30 40	0,3067 0,2300	0,0153 0,0115	0,1022 0,0767	0,5 1,0	15,0	2,5 5	20 30
Variatiecoëfficiënt			0,05		-	0,25			0,10			0,20		

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Gestuurde Boring onder de Angstel te Baambrugge		
Projectonderdeel	: Definitief herstel KPN kabel		
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
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/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 63,00	mm
Wanddikte	d _n	= 5,8	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet			= 100 %
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D _g	= 130	mm
Diameter boorstang	D _b	= 60	mm
Totale lengte	L	= 84,89	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 19,66	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 17,28	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 12,71	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 16,84	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 18,40	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 50,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 50,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 50,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 19,80 / 36	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 19,30 / 35,02	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Totaalfactor bij normale boring	f	= 1,4	
Belastingfactor	f _{k,b}	= 1,1	
Belastingfactor	f _{k,o}	= 1,4	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f ₁	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃	= 0,2	
		23-04-2015 14:16:03	

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 [°]
1e rechte deel	5,30	2,00	1,60	Klei	17,00	17,00	17,50
1e rechte deel	10,63	3,80	1,70	Klei	17,00	17,00	17,50
1e rechte deel	15,94	5,90	1,10	Klei	15,50	15,50	16,50
Neergaande bocht	25,40	9,80	1,08	Klei	16,00	16,00	16,80
Neergaande bocht	26,43	10,00	0,93	Klei	16,00	16,00	16,80
Neergaande bocht	29,27	10,40	0,40	Zand	16,00	18,00	30,00
Neergaande bocht	29,27	10,00	0,00	Zand	16,00	18,00	30,00
Neergaande bocht	31,80	8,30	-2,00	Zand	16,00	18,00	30,00
2e rechte deel	46,50	8,60	-2,00	Zand	16,00	18,00	30,00
Opgaande bocht	56,32	8,10	-2,00	Zand	16,00	18,00	30,00
Opgaande bocht	58,45	9,80	0,10	Zand	16,00	18,00	30,00
Opgaande bocht	58,45	9,90	0,00	Zand	16,00	18,00	30,00
Opgaande bocht	59,67	10,40	1,05	Klei	15,50	15,50	16,50
Opgaande bocht	61,61	10,00	1,33	Klei	15,50	15,50	16,50
3e rechte deel	66,82	6,90	0,60	Klei	15,50	15,50	16,50
3e rechte deel	69,26	5,40	0,20	Klei	15,50	15,50	16,50
3e rechte deel	72,12	4,20	0,40	Klei	15,50	15,50	16,50
3e rechte deel	72,76	3,60	0,00	Klei	15,50	15,50	16,50
3e rechte deel	73,39	2,70	-0,65	Klei	15,50	15,50	16,50
3e rechte deel	74,77	2,30	-0,65	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	75,30	2,70	0,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	75,94	3,00	0,45	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	77,42	2,50	0,45	Klei	17,00	17,00	17,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	-	5,00	2,00	Grafiek II
1e rechte deel	Geen	-	5,00	2,00	Grafiek II
1e rechte deel	Geen	-	6,80	1,60	Grafiek II
Neergaande bocht	Geen	0,0110	6,30	1,70	Grafiek II
Neergaande bocht	Geen	0,0110	6,30	1,70	Grafiek II
Neergaande bocht	Geen	0,1100	0,00	15,00	Grafiek II
Neergaande bocht	Geen	0,1100	0,00	15,00	Grafiek II
Neergaande bocht	Geen	0,1100	0,00	15,00	Grafiek II
2e rechte deel	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek II
Opgaande bocht	Geen	0,1100	0,00	15,00	Grafiek II
Opgaande bocht	Geen	0,1100	0,00	15,00	Grafiek II
Opgaande bocht	Geen	0,1100	0,00	15,00	Grafiek II
Opgaande bocht	Geen	0,0110	6,80	1,60	Grafiek II
Opgaande bocht	Geen	0,0110	6,80	1,60	Grafiek II
3e rechte deel	Geen	-	6,80	1,60	Grafiek II
3e rechte deel	Geen	-	6,80	1,60	Grafiek II
3e rechte deel	Geen	-	6,80	1,60	Grafiek II
3e rechte deel	Geen	-	6,80	1,60	Grafiek II
3e rechte deel	Geen	-	6,80	1,60	Grafiek II
3e rechte deel	Geen	-	5,00	2,00	Grafiek II
3e rechte deel	Geen	-	5,00	2,00	Grafiek II
3e rechte deel	Geen	-	5,00	2,00	Grafiek II
3e rechte deel	Geen	-	5,00	2,00	Grafiek II



* Niet op schaal

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 51,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 57,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 63,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 31,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 25,70	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 28,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 430.644,04	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 13.671,24	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 16,26	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 5,61	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 1.042,25	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0100	N/mm ¹

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

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>		<i>Leiding in boorgat</i>	
Gewicht mediumleiding	g	= 0,0100 N/mm ¹	g	= 0,0100 N/mm ¹
Gewicht vulling	g_{vul}	= N.v.t. +	g_{vul}	= N.v.t. +
Totaal gewicht	g_{rol}	= 0,0100 N/mm ¹	g_{gat}	= 0,0100 N/mm ¹

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkraft T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	84,89	355
Na 1 ^e deel intrekken	66,49	278
Na 2 ^e deel intrekken	49,65	208
Na 3 ^e deel intrekken	36,94	154
Na 4 ^e deel intrekken	19,66	82

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,0100 \cdot 0,3$$

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	355	0,34
Na 1 ^e deel intrekken	278	0,27
Na 2 ^e deel intrekken	208	0,20
Na 3 ^e deel intrekken	154	0,15
Na 4 ^e deel intrekken	82	0,08

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{1.042,25}$$

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

Sigma 2012 3.0 ©

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{430.644}{50.000} = 9.237,31 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{9.237,31}{13.671} = \mathbf{0,68 \text{ N/mm}^2}$$

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	0,34	0,78
Na 1 ^e deel intrekken	0,27	0,71
Na 2 ^e deel intrekken	0,20	0,64
Na 3 ^e deel intrekken	0,15	0,59
Na 4 ^e deel intrekken	0,08	0,52

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,68 + \sigma_t$$

 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: $D_{e,omtrek} = 197,92 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,00995 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 63,00^2 \cdot \pi/4 = 0,0358 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0259 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	18,40	388	-
2 ^e deel intrekken	35,24	-	744
3 ^e deel intrekken	47,95	1.012	-
4 ^e deel intrekken	65,23	-	1.377
Geheel ingetrokken	84,89	1.792	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (197,92 \cdot 0,00005 + 0,0259 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (197,92 \cdot 0,00005 + 0,0259 \cdot 0,2)$

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]
Neergaande bocht	0,0045	50	0,00097	24
Neergaande bocht	0,0045	50	0,00097	24
Neergaande bocht	0,0080	50	0,0031	42
Neergaande bocht	0,0080	50	0,0031	42
Neergaande bocht	0,0080	50	0,0031	42
Opgaande bocht	0,0080	50	0,0031	42
Opgaande bocht	0,0080	50	0,0031	42
Opgaande bocht	0,0080	50	0,0031	42
Opgaande bocht	0,0045	50	0,00097	24
Opgaande bocht	0,0045	50	0,00097	24

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 63 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

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

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	208	744	42	-	994
Opgaande bocht	82	1.377	42	42	1.544

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

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	9,90	994	96
Opgaande bocht	9,65	1.544	149

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

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

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

$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,4 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$

5.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	278	388	-	-	-	-	666
2 ^e deel intrekken	208	744	42	96	-	-	1.089
3 ^e deel intrekken	154	1.012	42	96	-	-	1.304
4 ^e deel intrekken	82	1.377	42	96	42	149	1.784
Geheel intrekken	0	1.792	42	96	42	149	2.117

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

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	666	0,64
2 ^e deel intrekken	1.089	1,05
3 ^e deel intrekken	1.304	1,25
4 ^e deel intrekken	1.784	1,71
Geheel intrekken	2.117	2,03

$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{1.042,25}$

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{430.644,04}{0,9 \cdot 50.000} = 13.062,87 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{13.062,87}{13.671,24} = \mathbf{0,96 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{430.644,04}{0,9 \cdot 50.000} = 13.062,87 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{13.062,87}{13.671,24} = \mathbf{0,96 \text{ N/mm}^2}$$

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	666	0,64	-	0,64
Na 1 ^e deel intrekken	1.089	1,05	0,96	1,67
Na 2 ^e deel intrekken	1.304	1,25	-	1,25
Na 3 ^e deel intrekken	1.784	1,71	0,96	2,33
Na 4 ^e deel intrekken	2.117	2,03	-	2,03

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{1.042,25} = \sigma_t$

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

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

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
---	------------------

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

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

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 ¹]
1e rechte deel	2,00	1,60	Klei	29,92	7,48	37,40	2,10
1e rechte deel	3,80	1,70	Klei	31,79	39,27	71,06	3,15
1e rechte deel	5,90	1,10	Klei	18,76	81,84	100,60	3,31
Neergaande bocht	9,80	1,08	Klei	19,01	153,47	172,48	5,37
Neergaande bocht	10,00	0,93	Klei	16,37	159,63	176,00	5,37
Neergaande bocht	10,40	0,40	Zand	7,04	198,00	205,04	6,62
Neergaande bocht	10,00	0,00	Zand	0,00	198,00	198,00	6,17
Neergaande bocht	8,30	-2,00	Zand	0,00	164,34	164,34	5,12
2e rechte deel	8,60	-2,00	Zand	0,00	170,28	170,28	5,31
Opgaande bocht	8,10	-2,00	Zand	0,00	160,38	160,38	5,00
Opgaande bocht	9,80	0,10	Zand	1,76	192,06	193,82	6,10
Opgaande bocht	9,90	0,00	Zand	0,00	196,02	196,02	6,11
Opgaande bocht	10,40	1,05	Klei	17,90	159,42	177,32	5,28
Opgaande bocht	10,00	1,33	Klei	22,68	147,82	170,50	5,28
3e rechte deel	6,90	0,60	Klei	10,23	107,42	117,65	3,44
3e rechte deel	5,40	0,20	Klei	3,41	88,66	92,07	2,52
3e rechte deel	4,20	0,40	Klei	6,82	64,79	71,61	2,12
3e rechte deel	3,60	0,00	Klei	0,00	61,38	61,38	1,60
3e rechte deel	2,70	-0,65	Klei	0,00	46,04	46,04	1,20
3e rechte deel	2,30	-0,65	Klei	0,00	43,01	43,01	1,26
3e rechte deel	2,70	0,00	Klei	0,00	50,49	50,49	1,48
3e rechte deel	3,00	0,45	Klei	8,42	47,69	56,10	1,93
3e rechte deel	2,50	0,45	Klei	8,42	38,34	46,75	1,65

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

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]
1e rechte deel	2,00	Grafiek II	13,13	0,83
1e rechte deel	3,80	Grafiek II	5,64	0,36
1e rechte deel	5,90	Grafiek II	3,28	0,21
Neergaande bocht	9,80	Grafiek II	1,72	0,11
Neergaande bocht	10,00	Grafiek II	1,67	0,11
Neergaande bocht	10,40	Grafiek II	1,59	0,10
Neergaande bocht	10,00	Grafiek II	1,67	0,11
Neergaande bocht	8,30	Grafiek II	2,14	0,14
2e rechte deel	8,60	Grafiek II	2,05	0,13
Opgaande bocht	8,10	Grafiek II	2,21	0,14
Opgaande bocht	9,80	Grafiek II	1,72	0,11
Opgaande bocht	9,90	Grafiek II	1,70	0,11
Opgaande bocht	10,40	Grafiek II	1,59	0,10
Opgaande bocht	10,00	Grafiek II	1,67	0,11
3e rechte deel	6,90	Grafiek II	2,71	0,17
3e rechte deel	5,40	Grafiek II	3,66	0,23
3e rechte deel	4,20	Grafiek II	4,98	0,31
3e rechte deel	3,60	Grafiek II	6,03	0,38
3e rechte deel	2,70	Grafiek II	8,71	0,55
3e rechte deel	2,30	Grafiek II	10,79	0,68
3e rechte deel	2,70	Grafiek II	8,71	0,55
3e rechte deel	3,00	Grafiek II	7,59	0,48
3e rechte deel	2,50	Grafiek II	9,64	0,61

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 63$$

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 ¹]
1e rechte deel	2,10	0,83	2,93	11,57	2,06
1e rechte deel	3,15	0,36	3,51	13,85	2,47
1e rechte deel	3,31	0,21	3,52	13,89	2,48
Neergaande bocht	5,37	0,11	5,48	21,63	3,86
Neergaande bocht	5,37	0,11	5,48	21,63	3,86
Neergaande bocht	6,62	0,10	6,72	26,51	4,73
Neergaande bocht	6,17	0,11	6,28	24,78	4,42
Neergaande bocht	5,12	0,14	5,26	20,76	3,70
2e rechte deel	5,31	0,13	5,44	21,47	3,83
Opgaande bocht	5,00	0,14	5,14	20,29	3,62
Opgaande bocht	6,10	0,11	6,21	24,50	4,37
Opgaande bocht	6,11	0,11	6,22	24,55	4,38
Opgaande bocht	5,28	0,10	5,38	21,24	3,79
Opgaande bocht	5,28	0,11	5,38	21,25	3,79
3e rechte deel	3,44	0,17	3,61	14,26	2,54
3e rechte deel	2,52	0,23	2,76	10,87	1,94
3e rechte deel	2,12	0,31	2,43	9,60	1,71
3e rechte deel	1,60	0,38	1,98	7,81	1,39
3e rechte deel	1,20	0,55	1,75	6,90	1,23
3e rechte deel	1,26	0,68	1,94	7,66	1,37
3e rechte deel	1,48	0,55	2,03	8,01	1,43
3e rechte deel	1,93	0,48	2,41	9,50	1,69
3e rechte deel	1,65	0,61	2,26	8,92	1,59

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 28,60$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{5,61}$$

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

Locatie	R [m]	Q _r [N/mm ²]	σ _{qr} [N/mm ²]
Neergaande bocht	50	0,00097	0,028
Neergaande bocht	50	0,00097	0,028
Neergaande bocht	50	0,0031	0,090
Neergaande bocht	50	0,0031	0,090
Neergaande bocht	50	0,0031	0,090
Opgaande bocht	50	0,0031	0,090
Opgaande bocht	50	0,0031	0,090
Opgaande bocht	50	0,0031	0,090
Opgaande bocht	50	0,00097	0,028
Opgaande bocht	50	0,00097	0,028

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 63 \cdot \frac{31,50}{5,61}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
---	------------------

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

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = 0 \text{ N/mm}^2$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{16,26}{57,2^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = 84,71 \text{ kN/m}^2$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = 0,5 kN/m²

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 16,26}{57,20^3} = 1,61 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 16,26}{57,20^3} = 0,29 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,96** 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]
1e rechte deel	2,06	-	0,65	1,34
1e rechte deel	2,47	-	0,65	1,61
1e rechte deel	2,48	-	0,65	1,61
Neergaande bocht	3,86	0,028	0,65	2,53
Neergaande bocht	3,86	0,028	0,65	2,53
Neergaande bocht	4,73	0,090	0,65	3,13
Neergaande bocht	4,42	0,090	0,65	2,93
Neergaande bocht	3,70	0,090	0,65	2,47
2e rechte deel	3,83	-	0,65	2,49
Opgaande bocht	3,62	0,090	0,65	2,41
Opgaande bocht	4,37	0,090	0,65	2,90
Opgaande bocht	4,38	0,090	0,65	2,90
Opgaande bocht	3,79	0,028	0,65	2,48
Opgaande bocht	3,79	0,028	0,65	2,48
3e rechte deel	2,54	-	0,65	1,65
3e rechte deel	1,94	-	0,65	1,26
3e rechte deel	1,71	-	0,65	1,11
3e rechte deel	1,39	-	0,65	0,91
3e rechte deel	1,23	-	0,65	0,80
3e rechte deel	1,37	-	0,65	0,89
3e rechte deel	1,43	-	0,65	0,93
3e rechte deel	1,69	-	0,65	1,10
3e rechte deel	1,59	-	0,65	1,03

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

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

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm²

9.2 Optredende spanningen in langsricting van de leiding

Locatie	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_{σ} [-]	σ_x [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
1e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Neergaande bocht	0,00	0,96	0,65	0,62
Neergaande bocht	0,00	0,96	0,65	0,62
Neergaande bocht	0,00	0,96	0,65	0,62
Neergaande bocht	0,00	0,96	0,65	0,62
Neergaande bocht	0,00	0,96	0,65	0,62
2e rechte deel	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	0,96	0,65	0,62
Opgaande bocht	0,00	0,96	0,65	0,62
Opgaande bocht	0,00	0,96	0,65	0,62
Opgaande bocht	0,00	0,96	0,65	0,62
Opgaande bocht	0,00	0,96	0,65	0,62
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00
3e rechte deel	0,00	-	-	0,00

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

Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm²

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 [%]
1e rechte deel	2,10	0,83	-	0,37	0,65
1e rechte deel	3,15	0,36	-	0,45	0,78
1e rechte deel	3,31	0,21	-	0,43	0,75
Neergaande bocht	5,37	0,11	0,00097	0,68	1,18
Neergaande bocht	5,37	0,11	0,00097	0,68	1,18
Neergaande bocht	6,62	0,10	0,0031	1,31	2,29
Neergaande bocht	6,17	0,11	0,0031	1,23	2,14
Neergaande bocht	5,12	0,14	0,0031	1,03	1,80
2e rechte deel	5,31	0,13	-	1,06	1,86
Opgaande bocht	5,00	0,14	0,0031	1,00	1,76
Opgaande bocht	6,10	0,11	0,0031	1,21	2,12
Opgaande bocht	6,11	0,11	0,0031	1,21	2,12
Opgaande bocht	5,28	0,10	0,00097	0,65	1,14
Opgaande bocht	5,28	0,11	0,00097	0,65	1,14
3e rechte deel	3,44	0,17	-	0,44	0,77
3e rechte deel	2,52	0,23	-	0,33	0,59
3e rechte deel	2,12	0,31	-	0,30	0,52
3e rechte deel	1,60	0,38	-	0,24	0,42
3e rechte deel	1,20	0,55	-	0,21	0,37
3e rechte deel	1,26	0,68	-	0,25	0,43
3e rechte deel	1,48	0,55	-	0,26	0,45
3e rechte deel	1,93	0,48	-	0,31	0,54
3e rechte deel	1,65	0,61	-	0,29	0,50

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

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 28,60^3}{350 \cdot 16,26}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 57,20 = **4,58 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]
1e rechte deel	2,00	26,91	18,82	22,86	34,51	0,71
1e rechte deel	3,80	37,73	26,38	32,05	46,46	0,71
1e rechte deel	5,90	35,14	25,16	30,15	45,23	0,57
Neergaande bocht	9,80	55,35	39,35	47,35	67,06	0,61
Neergaande bocht	10,00	54,75	38,93	46,84	66,41	0,61
Neergaande bocht	10,40	69,45	34,73	52,09	78,14	5,77
Neergaande bocht	10,00	63,64	31,82	47,73	71,59	5,77
Neergaande bocht	8,30	52,82	26,41	39,61	59,42	5,77
2e rechte deel	8,60	54,73	27,36	41,05	61,57	5,77
Opgaande bocht	8,10	51,55	25,77	38,66	57,99	5,77
Opgaande bocht	9,80	63,18	31,59	47,39	71,08	5,77
Opgaande bocht	9,90	63,00	31,50	47,25	70,88	5,77
Opgaande bocht	10,40	53,05	37,98	45,51	64,96	0,57
Opgaande bocht	10,00	54,21	38,81	46,51	66,24	0,57
3e rechte deel	6,90	34,23	24,51	29,37	44,23	0,57
3e rechte deel	5,40	24,09	17,25	20,67	33,06	0,57
3e rechte deel	4,20	21,18	15,17	18,17	29,86	0,57
3e rechte deel	3,60	14,73	10,54	12,64	22,74	0,57
3e rechte deel	2,70	11,05	7,91	9,48	18,69	0,57
3e rechte deel	2,30	12,55	8,77	10,66	18,63	0,71
3e rechte deel	2,70	14,73	10,30	12,51	21,04	0,71
3e rechte deel	3,00	20,86	14,59	17,73	27,83	0,71
3e rechte deel	2,50	18,14	12,68	15,41	24,81	0,71

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

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	Δ _p [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]
1e rechte deel	0,016	1,00	0,0040	0,004513	0,00	0,12
1e rechte deel	0,020	1,90	0,0210	0,02369	0,01	0,16
1e rechte deel	0,026	2,95	0,0480	0,05415	0,01	0,18
Neergaande bocht	0,032	4,90	0,0872	0,09837	0,02	0,26
Neergaande bocht	0,032	5,00	0,0907	0,1023	0,02	0,26
Neergaande bocht	0,0045	0,31	0,1000	0,1128	0,03	0,57
Neergaande bocht	0,0041	0,32	0,1000	0,1128	0,03	0,55
Neergaande bocht	0,0034	0,35	0,1030	0,1162	0,03	0,50
2e rechte deel	0,0036	0,34	0,1060	0,1196	0,04	0,51
Opgaande bocht	0,0034	0,36	0,1010	0,1139	0,05	0,49
Opgaande bocht	0,0041	0,32	0,0970	0,1094	0,05	0,54
Opgaande bocht	0,0041	0,32	0,0990	0,1117	0,05	0,54
Opgaande bocht	0,034	5,20	0,0935	0,1055	0,05	0,26
Opgaande bocht	0,035	5,00	0,0867	0,09781	0,05	0,25
3e rechte deel	0,026	3,45	0,0630	0,07107	0,06	0,19
3e rechte deel	0,022	2,70	0,0520	0,05866	0,06	0,16
3e rechte deel	0,020	2,10	0,0380	0,04287	0,06	0,14
3e rechte deel	0,018	1,80	0,0360	0,04061	0,06	0,12
3e rechte deel	0,016	1,35	0,0335	0,03779	0,06	0,11
3e rechte deel	0,011	1,15	0,0295	0,03328	0,06	0,11
3e rechte deel	0,012	1,35	0,0270	0,03046	0,06	0,11
3e rechte deel	0,014	1,50	0,0255	0,02877	0,07	0,13
3e rechte deel	0,013	1,25	0,0205	0,02313	0,07	0,12

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

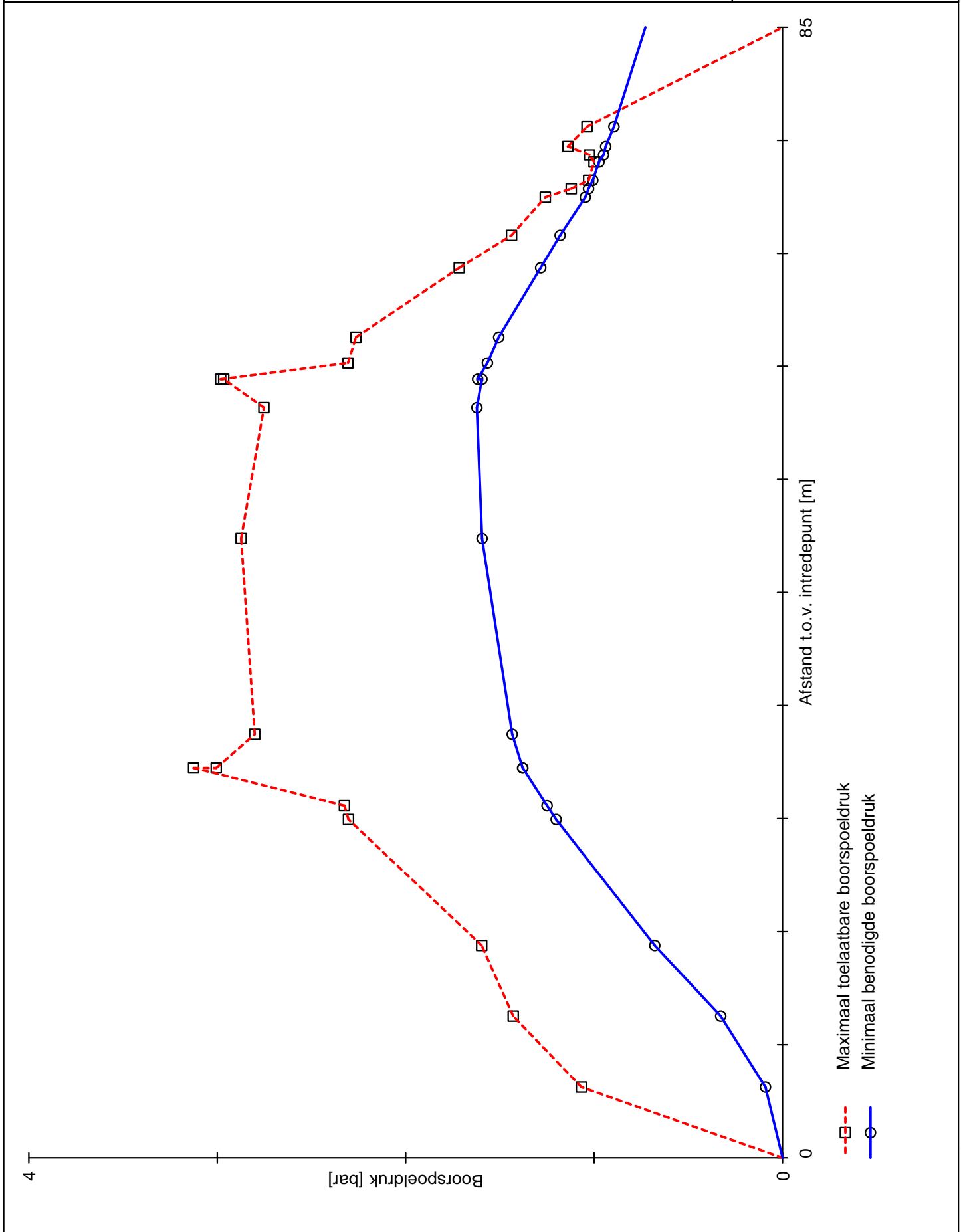
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

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

Locatie	p_{max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1e rechte deel	0,11	0,11	0,01	1,12	1,07	0,09
1e rechte deel	0,16	0,14	0,03	1,57	1,43	0,33
1e rechte deel	0,18	0,16	0,07	1,77	1,60	0,68
Neergaande bocht	0,26	0,23	0,12	2,56	2,30	1,20
Neergaande bocht	0,26	0,23	0,12	2,58	2,33	1,25
Neergaande bocht	0,31	0,52	0,14	3,13	5,15	1,38
Neergaande bocht	0,30	0,49	0,14	3,01	4,91	1,38
Neergaande bocht	0,28	0,45	0,14	2,80	4,47	1,43
2e rechte deel	0,29	0,46	0,16	2,87	4,58	1,59
Opgaande bocht	0,28	0,44	0,16	2,75	4,40	1,62
Opgaande bocht	0,30	0,49	0,16	2,97	4,87	1,60
Opgaande bocht	0,30	0,49	0,16	2,98	4,88	1,62
Opgaande bocht	0,26	0,23	0,16	2,56	2,31	1,57
Opgaande bocht	0,25	0,23	0,15	2,51	2,26	1,51
3e rechte deel	0,19	0,17	0,13	1,90	1,72	1,28
3e rechte deel	0,16	0,14	0,12	1,59	1,44	1,18
3e rechte deel	0,14	0,13	0,10	1,39	1,26	1,05
3e rechte deel	0,12	0,11	0,10	1,23	1,12	1,03
3e rechte deel	0,11	0,10	0,10	1,11	1,03	1,01
3e rechte deel	0,11	0,10	0,10	1,06	1,00	0,97
3e rechte deel	0,11	0,10	0,10	1,10	1,02	0,95
3e rechte deel	0,12	0,11	0,09	1,23	1,14	0,94
3e rechte deel	0,11	0,10	0,09	1,11	1,04	0,89

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

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



3.0.10.0/12-2012/10-10437934

23-04-2015 14:16:04