

Verbree bv
De Liesbosch 33, 3439 LB Nieuwegein
(030) 606 33 62 / info@verbreebv.nl / www.verbreebv.nl



Weijpoort 1

Nieuwerbrug aan den Rijn

Boorplan

Nummer: B2021-018
Auteur: W. van Os

Opdrachtgever

BAM

Netbeheerder

Oasen

Versie : 02
Datum: 4 mei 2021

Handelsregister 30203857 te Utrecht

Inhoud

1. INLEIDING.....	3
2. UITGANGSPUNTEN	4
2.1 ONTWERPNORMEN.....	4
2.2 BIJZONDERHEDEN	4
2.3 VERKEERSBELASTING	4
2.4 KABELS EN LEIDINGEN.....	4
2.5 VERHARDING.....	4
2.6 BODEMOPBOUW	4
3. BEREKENING.....	5
3.1 ONDERDELEN BEREKENING	5
3.2 STERKTE VAN DE BUIS TIJDENS DE AANLEGFASE	5
3.3 STERKTE EN VERVORMING VAN DE BUIS IN DE BEDRIJFSFASE	5
3.4 SPOELDRUK (MUDDRUK).....	5
3.5 RESULTATEN.....	6
4. UITVOERING	7
4.1 KLIC-MELDING EN OPVRAGEN ADDITIONELE INFORMATIE	7
4.2 TRACÉ-BEPALING	7
4.3 GRAVEN VAN IN- EN UITTREDEGATEN	7
4.4 WERKTERREIN EN OPSTELLING MACHINES EN VOERTUIGEN	7
4.5 PILOTBORING	7
4.6 HET RUIMEN VAN HET BOORGAT.....	8
4.7 UITLEGGEN VAN DE BOORSTRENG	8
4.8 BOORVLOEISTOF	8
4.9 VERKEERSMAATREGELEN.....	9
5. CONCLUSIES EN AANDACHTSPUNTEN	9
6. REFERENTIES.....	9

Bijlagen

1. Ontwerptekening
2. Berekening
3. Grondonderzoek
4. DigiTrak F5 Walkover System
5. Productblad bentoniet
6. Gegevens in te zetten Rig

1. Inleiding

Verbree bv heeft opdracht gekregen van BAM om de ontwerptekening en berekening te maken voor het uitvoeren van een gestuurde boring nabij Weijpoort 1 te Nieuwerbrug aan den Rijn. In de onderhavige rapportage is het ontwerp van de boring t.b.v. 4x Ø 110mm buizen nader uitgewerkt.

In tabel 1 is een overzicht gegeven met de kenmerken van de boring

Tabel 1 Kenmerk boring

Buis	Kwaliteit	Bestemming
1 x Ø110 mm	PE100, SDR 11 KIWA	Watervoerende buis
1 x Ø110 mm	PE100, SDR 11 GAS	Gasvoerende buis
1 x Ø110 mm	PE100, SDR 11 Mantelbuis	LS
1 x Ø110 mm	PE100, SDR 11 Mantelbuis	Data

2. Uitgangspunten

2.1 Ontwerpnormen

Het ontwerp van de boring heeft zijn intrede in de zuidelijke berm van de weg "Zuidzijde" nabij de brug over de watergang de "Enkele Wiericke". Hiervandaan wordt er in oostelijke richting aan de zuidkant langs deze brug geboord. Nadat de brug is gepasseerd wordt er verder onder het weiland doorgeboord naar het uittredepunt dat zich in de zuidelijke berm van de weg "Weijpoort" nabij huisnummer 1 bevindt.

2.2 Bijzonderheden

De boring is noodzakelijk voor de vervanging van een bestaande watervoerende buis van Oasen die bovengronds langs de brug loopt. Verder wordt er een gasvoerende buis en 2x een mantelbuis voor LS en Data aangebracht.

2.3 Verkeersbelasting

Voor snel-, auto- en provinciale wegen wordt uitgegaan van belastingmodel 3 ('Load Model 3') conform NEN-EN 1991-2. Voor overige wegen wordt uitgegaan van 'Fatigue Load Model 2, Lorry 4', conform NEN-EN 1991-2.

2.4 Kabels en leidingen

Om de kabels en leidingen in de nabijheid van het boortracé in beeld te krijgen is er op 7 januari 2021 een klic-melding gedaan met nummer 21O001544.

Nabij het in- en uittredepunt bevinden er zich volgens de klic-informatie enkele kabels en leidingen. Deze dienen voor aanvang van de boring te worden vrij gegraven middels proefsleuven. Verder kruist het boortracé diverse kabels en leidingen. Deze worden met het huidige ontwerp op voldoende diepte gekruist.

2.5 Verharding

De boring kruist geen enkele verharding en loopt alleen onder bermen, grasland en water.

2.6 Bodemopbouw

Om de parameters van de grondeigenschappen goed in te schatten is grondonderzoek van het Dinoloket opgevraagd. De sondering is opgenomen in dit verslag als bijlage 3.

3. Berekening

3.1 Onderdelen berekening

De berekening van een gestuurde boring betreft de volgende aspecten:

Sterkte van de buis tijdens de aanlegfase

Sterkte en vervorming van de buis in de bedrijfsfase

Grondmechanisch evenwicht in de ondergrond (spoeldrukberekening) tijdens de aanleg.

Alle berekeningen zijn uitgevoerd met het computerprogramma Sigma 2020 versie 1.0 van Adviesburo Schrijvers (www.schrijvers.nl).

3.2 Sterkte van de buis tijdens de aanlegfase

Gecontroleerd wordt of de maximale spanning in de buis niet groter is dan de toelaatbare (korte duur) spanning. De spanningen ontstaan vooral door de trekkracht in een buis en de opgelegde kromming.

3.3 Sterkte en vervorming van de buis in de bedrijfsfase

Gecontroleerd is of de maximale spanning in een buis niet groter is dan de toelaatbare (lange duur) spanning. De spanning wordt tijdens de bedrijfsfase veroorzaakt door de grondbelasting op de buis en de opgelegde kromming.

Daarnaast wordt getoetst of de vervorming van de buis een zekere grenswaarde niet overschrijdt.

Verder dient er gecontroleerd te worden of de buis niet kan imploderen als gevolg van de uitwendige waterdruk.

3.4 Spoeldruk (muddruk)

Zowel de minimaal benodigde als de maximaal toelaatbare spoeldruk voor de maatgevende doorsneden worden berekend. Bij een verschil van 50 kPa of meer wordt de kans op een blow-out voldoende klein geacht.

Minimaal benodigde spoeldruk:

Dit is de druk aan het boorfront die nodig is om de ontstane boorslurry door de gerede boorgang langs de boorbuis naar het maaiveld te laten stromen. Deze druk is opgebouwd uit:

- > Statische druk van de kolom boorslurry tot aan het maaiveld.
- > Wrijvingsweerstand over de lengte van de gerede boorgang.

Maximaal toelaatbare spoeldruk: de druk waarbij de grond rondom het boorgat net niet bezwijkt.

Maatgevend is de laagste waarde van een tweetal bezwijkmechanismes:

P_{max}: de druk waarbij de maximaal toelaatbare straal van de plastische zone optreedt.

90% Plimiet: 90% van de druk waarbij doorgaande vervormingen tot het maaiveld optreden.

3.5 Resultaten

Bijlage 2 betreft de berekening met het programma Sigma.

In tabel 2 zijn de theoretische waarden van de berekende grootheden getoetst aan de toelaatbare waarden.

Tabel 2 Toetsing resultaten

Ø mm	Fase	Grootheid		Berekende waarde	Toelaatbaar	Eenheid
110 Water	Aanleg	Trekkracht		6,25	31,4	KN
	Aanleg	Spanning	Tgv trek en buiging	3,15	10	N/mm2
	Gebruik	Spanning	Tgv inw. druk	1,52	8	N/mm2
	Gebruik	Spanning	Omtreksrichting	4,43	8	N/mm2
	Gebruik	Spanning	Langsrichting	3,58	8	N/mm2
	Gebruik	Implosie		6,1	27,8	mwk
	Gebruik	Deflectie		1,91	8	%
110 Gas	Aanleg	Trekkracht		6,25	31,4	KN
	Aanleg	Spanning	Tgv trek en buiging	3,15	10	N/mm2
	Gebruik	Spanning	Tgv inw. druk	1,01	8	N/mm2
	Gebruik	Spanning	Omtreksrichting	4,59	8	N/mm2
	Gebruik	Spanning	Langsrichting	3,38	8	N/mm2
	Gebruik	Implosie		6,1	27,8	mwk
	Gebruik	Deflectie		1,91	8	%
110	Aanleg	Trekkracht		6,25	31,4	KN
	Aanleg	Spanning	Tgv trek en buiging	3,15	10	N/mm2
	Gebruik	Spanning	Tgv inw. druk	0	8	N/mm2
	Gebruik	Spanning	Omtreksrichting	4,96	8	N/mm2
	Gebruik	Spanning	Langsrichting	1,41	8	N/mm2
	Gebruik	Implosie		6,1	27,8	mwk
	Gebruik	Deflectie		1,91	8	%

De benodigde spoeldruk is het hoogst in doorsnede G, aan het einde van de horizontale bocht van de pilotboring (combinatie van benodigd drukverschil om wrijving te overwinnen en statische druk). De berekende waarde 1,10 bar.

Het verschil tussen de minimaal benodigde en de maximaal toelaatbare spoeldruk is overal groter dan 0,5 bar, m.u.v de in- en uittredepunten. Dit geeft in de praktijk echter geen problemen.

4. Uitvoering

4.1 Klic-melding en opvragen additionele informatie

Voorafgaande aan de engineering is een KLIC-melding gedaan. Afhankelijk van het tijdstip van uitvoering wordt een nieuwe KLIC-melding gedaan. Eventuele kabels en leidingen ter plaatse van het in- en uittredepunt worden vrij gegraven door middel van proefsleuven. De klic-melding wordt beoordeeld op de aanwezigheid van diepliggende kabels en/of leidingen. Hiervoor wordt contact gezocht met de netbeheerder en de diepteligging opgevraagd.

4.2 Tracé-bepaling

Het tracé wordt uitgezet vanaf de bijgevoegde tekening. Het uitzetten van het tracé wordt uitgevoerd door de boormeester (eventueel in samenwerking met de projectleider of uitvoerder van het werk). Hierbij wordt rekening gehouden met de ligging van kabels en leidingen ten einde schade te voorkomen.

4.3 Graven van in- en uittredepaten

Tegelijk met het graven van de in- en uittredepaten worden alle kabels en leidingen vrijgegraven. De uitgekomen grond wordt opgeslagen naast de werkgaten. Het in- en uittredepat worden later gedicht met de vrijgekomen grond.

4.4 Werkterrein en opstelling machines en voertuigen

De te gebruiken rig wordt gekozen op basis van de verwachte benodigde trekkracht en intredehoek. De voertuigen moeten, indien aangegeven, opgesteld worden zoals aangegeven op de tekening.

Globaal bevinden zich op de werklocatie de volgende machines en voertuigen:

Aan de intredezijde:

Boormachine, max afmetingen: 10 m x 2,0m

Vrachtwagen met bentoniet-installatie, max afmetingen: 12,0m x 2,5 m.

Trekker en water/zuigwagen;

Aan de uittredezijde:

Trekker en water/zuigwagen;

Haspelwagen en auto.

4.5 Pilotboring

Tijdens de pilotboring worden de boorstangen in de grond aangebracht volgens de vooraf bepaalde x, y en z coördinaten. De in- en uittredepunten en de stuurpunten worden mbv GPS-metingen uitgezet, met een nauwkeurigheid van 0,1 m.

In de boorkop bevindt zich een zender waardoor d.m.v. het DigiTrak F5 Walk – Over systeem (zie bijlage 4) de diepte, richting en de tunneldruk kan worden gemeten. Door de asymmetrische vorm van de boorkop is het mogelijk richtingsveranderingen in het boorprofiel te bewerkstelligen. Rechtdoor boren geschiedt door de boorkop roterend naar voren te verplaatsen. Richtingsveranderingen worden uitgevoerd door de boorkop naar voren te verplaatsen zonder roteren. De boorkop is voorzien van nozzles waardoor de boorspoeling in het boorgat kan stromen. De boorvloeistof zorgt voor smering, het open houden van het boorgat en afvoer van grond. Het boorgat is gemiddeld 1,2 tot 1,5 keer zo groot als de boorkop, afhankelijk van de bodemopbouw.

4.6 Het ruimen van het boorgat

Wanneer de boorkop aan de uittredezijde is gearriveerd zijn er de volgende mogelijkheden:

> Bij kleine diameters (Ø50/63mm) en geringe lengtes wordt de buis aan de boorkop bevestigd en teruggetrokken.

> De boorkop wordt verwijderd. Een ruimer komt hiervoor in de plaats met daarachter een swivel (om draaiing van de buis te voorkomen) en de in te trekken buis.

> De boorkop wordt verwijderd. Een ruimer komt hiervoor in de plaats en wordt teruggetrokken. Een 'dobber' wordt door de boortunnel naar het uittredegat gedrukt. Hierna volgt nog een ruimgang op dezelfde wijze of de in te trekken buis wordt aangekoppeld en in de grond getrokken.

Het aantal ruimgangen is afhankelijk van de diameter van het boorgat, de in te trekken leiding en de bodemopbouw. Ook de ruimer wordt voorzien van boorvloeistof, om de boorgang schoon te spoelen en om instorting van het gat te voorkomen.

4.7 Uitleggen van de boorstreng

De ruimte die nodig is om de in te trekken buis uit te leggen hangt af van de diameter, het materiaal en het aantal buizen. Er zijn de volgende mogelijkheden:

> Er wordt één PE-buis ingetrokken met een maximale diameter van Ø160mm. De boring mag niet langer zijn dan de lengte op het haspel (hangt af van de leverancier van de buis). In dit geval is de benodigde ruimte achter het uittredepunt beperkt omdat de buis van een haspel op een haspelwagen getrokken kan worden.

> Bij stalen buizen of PE-buizen met een diameter => 200mm worden de buizen in principe in rechte lengtes van 10 of 12 meter geleverd. De boorstreng wordt samengesteld door de lengtes aan elkaar te lassen. Achter het uittredepunt is dan veel meer ruimte nodig dan in de situatie dat de buis van een haspel getrokken kan worden.

> Het is ook mogelijk dat de buis in rollen van bijv. 50 of 100 meter wordt aangeleverd. In dat geval moet er voldoende ruimte zijn om de rollen vooraf aan intrekken volledig uit te rollen.

4.8 Boorvloeistof

De toegepaste boorvloeistof zal worden aangemaakt met water en bentoniet. De mix-unit bevindt zich in de vrachtwagen, die nabij het intredepunt wordt opgesteld. Voor de meeste boringen wordt Cebo OCMA gebruikt. Dit is een all-round bentoniet dat voldoet aan de Kiwa-ATA-criteria.

Daarnaast wordt regelmatig Tunnelgel t/m Plus gebruikt.

De gebruikte boorvloeistof wordt opgevangen in gegraven buffergaten en bij grotere hoeveelheden in een container alvorens afgevoerd te worden naar een verwerkingsbedrijf.

In het algemeen kan als werkwater het oppervlaktewater nabij de boring worden gebruikt. Indien de zuurgraad en/of hardheid niet voldoen aan de eisen of het chloride-gehalte te hoog is wordt dit gecorrigeerd. Indien het niet mogelijk is het water uit de omgeving te gebruiken dan zal het werkwater worden aangevoerd met een waterwagen.

4.9 Verkeersmaatregelen

De benodigde verkeersmaatregelen zullen conform de CROW-regelgeving worden uitgevoerd. Tevens zal er rekening gehouden moeten worden met maatregelen om op een veilige manier, kortstondig metingen op de rijbaan voor het uitvoeren van de boring mogelijk te maken.

5. Conclusies en aandachtspunten

De conclusies en aandachtspunten zijn als volgt:

In het ontwerp is rekening gehouden met de reeds aanwezige kabels en leidingen, zoals uit de klic-melding is gebleken. Er is geen (historisch) onderzoek gedaan naar de aanwezigheid van eventuele andere obstakels in de ondergrond.

Uit de ontwerpberekeningen volgt dat de sterkte en stijfheid van de buis voldoende is.

Geadviseerd wordt om nabij het in- en uittredepunt langzaam te boren en om tijdens het ruimen en intrekken van de buis de uitstroom van boorslurry bij het uittredegat te bewaken om de kans op uitbraak van boorvloeistof te beperken.

6. Referenties

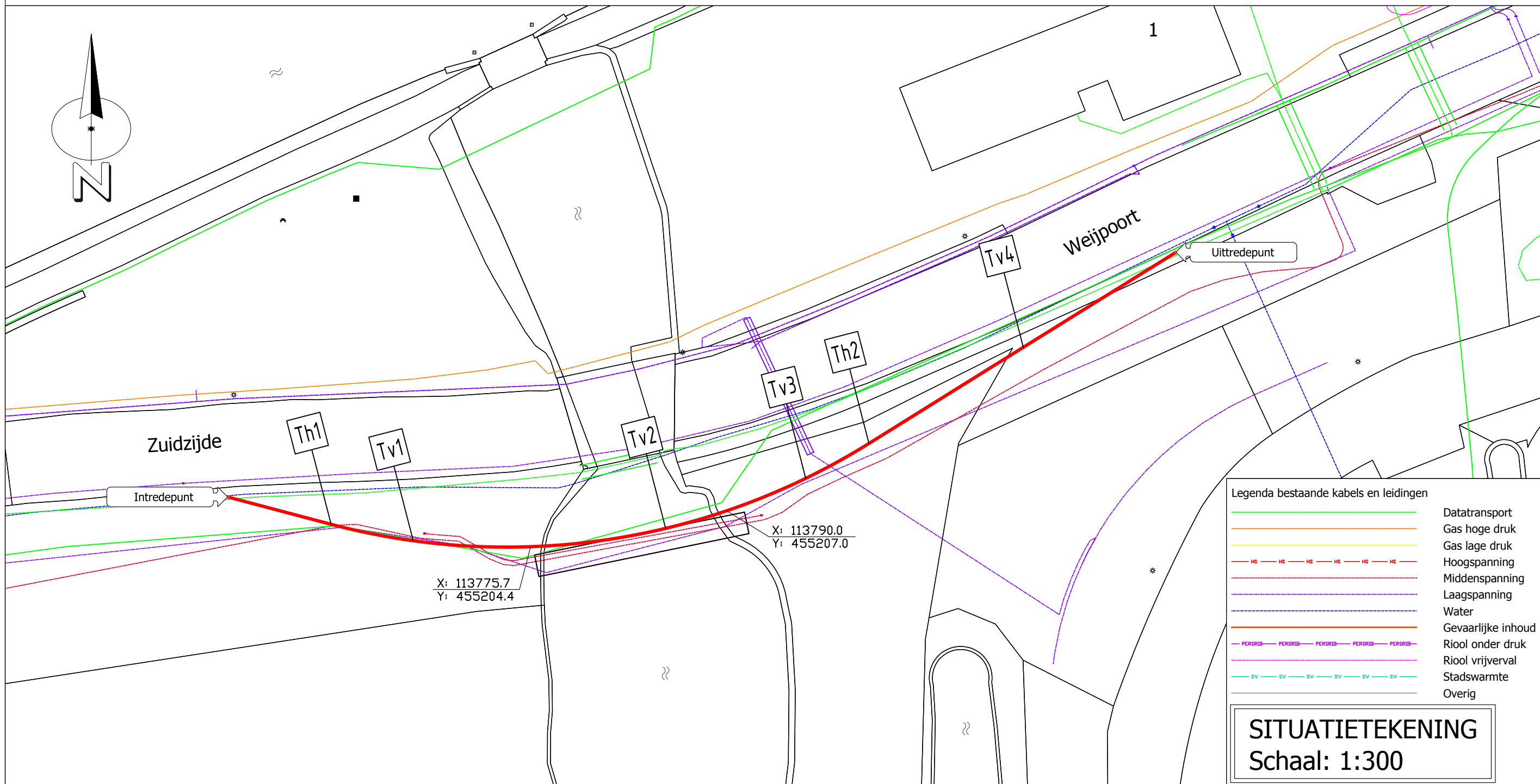
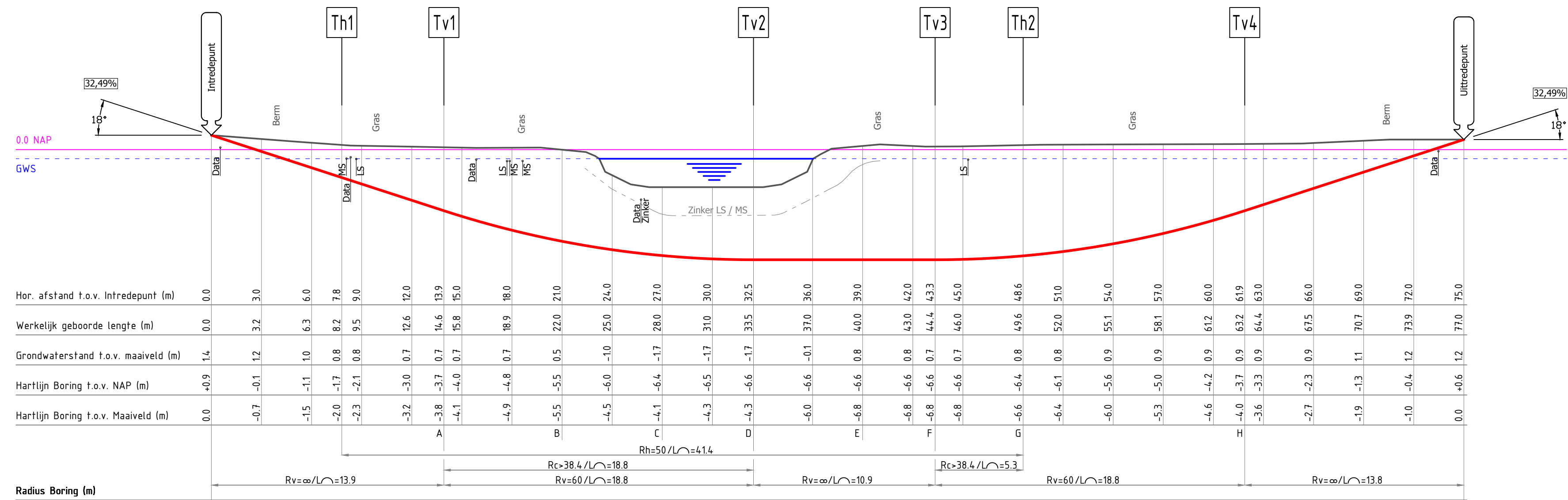
Richtlijn boortechnieken (RWS, 2019)
NEN 3650-1, Eisen voor buisleidingsystemen, algemeen
NEN 3650-2, Eisen voor buisleidingsystemen, staal
NEN 3650-3, Eisen voor buisleidingsystemen, kunststof
NEN 3651, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken
NPR 3659, Sterkteberekening ondergrondse pijpleidingen

B2021-018

Bijlage 1

Plantekening

DWARSPROFIEL
Schaal: 1:200



Doorsnede buis in boortunnel
Schaal: 1:10

DOORSNEDE

4 x PE100 Ø 110mm SDR 11
(1 x KIWA + 1 x HD-gas + 1 x mantelbuis data + 1 x mantelbuis LS)

Opmerkingen:
- De geprojecteerde kabels en leidingen zijn afkomstig uit de KLIC-melding 21O001544. De kabels en leidingen van derden zijn indicatief weergegeven en kunnen incompleet zijn. Hier kunnen geen rechten aan worden ontleend. De grondroerder is ten alle tijden verantwoordelijk voor eventuele schade aan kabels en leidingen van derden. Deze dienen in het werk opgezocht te worden.
- De vermelde coördinaten zijn gebaseerd op het Rijksdriehoek-stelsel (RD-coördinaten).
- De locatie en werkelijke lengte van de boring(en) wordt uiteindelijk bepaald door de situatie van de ondergrondse infra wanneer deze is blootgelegd, en door de opstelbaarheid van het materiaal in de aangetroffen situatie.

	X	Y	Z (NAP)
Intrede	113753.56	455208.06	0.86
Th1	113761.10	455206.06	-1.68
Tv1	113767.10	455204.86	-3.66
Tv2	113785.51	455205.77	-6.60
Tv3	113795.73	455209.42	-6.60
Th2	113800.34	455211.96	-6.37
Tv4	113811.60	455218.98	-3.66
Uitrede	113822.74	455225.92	0.60

Opdrachtgever: BAM

Proj. nr. opdr: -

Netbeheerder: Oasen

Nieuwerbrug aan den Rijn - Weijpoort 1
Lengte en buis: 77,0m
4x PE100 Ø110mm SDR11
(1 x KIWA + 1 x HD-gas + 1 x mantelbuis data + 1 x mantelbuis LS).

Getekend: W. van Os Datum: 03-05-2021 Blad: 01

Gecontroleerd: W. van Os Datum: 03-05-2021 Formaat: A2

Status: Ontwerp Kenmerk: Walk-over Schaal: Zie tekening

Versie: 2 Vergunningnr: Project nr: - Tekening nr: B2021-018

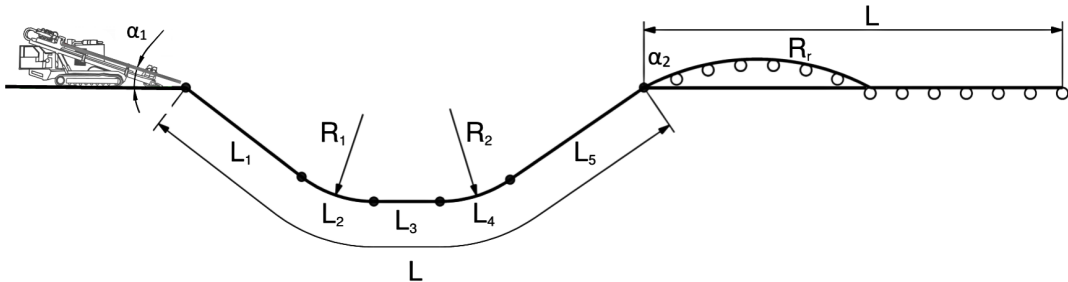
bam

Verbree bv
gehuurd boren
boogzinken

P De Liesbosch 33, 3439 LB, Nieuwegein
T 030 - 606 33 62
E info@verbreebv.nl
W www.verbreebv.nl

B2021-018 Bijlage 2

Sterkte- en spoeldrukberekening conform
NEN 3650/51

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : B2021-018 Nieuwerbrug aan den Rijn, Weijpoort 1			
Projectonderdeel : B2021-018 Sterkte en spoeldrukberekening 1x Ø 110mm SDR11 KIWA			
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 Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,3	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken			
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 verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter boorstang	D _b	= 53	mm
Diameter boorkop	D _p	= 120	mm
Diameter ruimer	D _g	= 355	mm
Totale lengte	L	= 77,00	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 14,60	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 18,80	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 10,90	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 5,30	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 27,40	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 60,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 38,40	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 38,40	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 18,00 / 32,49	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
			
		03-05-2021 16:54:40	

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

Onzekerheids- en wrijvingsfactoren

Totaalfactor bij boring met bundels	f	= 1,8	
Belastingfactor, bovengronds	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor, ondergronds	$f_{k,o}$	= 1,4	
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	$f_{r,o}$	= 0,9	
Wrijvingscoëff. met rollenbaan	f_1	= 0,1	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	

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 [°]
A 1e rechte deel	14,6	3,80	0,70	Zand	19,61	17,47	35,00
B Kant Water	22	5,50	0,50	Zand	19,54	18,71	35,00
C Waterbodern	28	4,10	-1,70	Zand	0,00	20,20	27,00
D Neergaande bocht	33,5	4,30	-1,70	Zand	0,00	20,20	35,00
E Kant water - 2e ..	40	6,80	0,80	Zand	19,42	19,07	35,00
F Opgaande bocht	44,4	6,80	0,70	Zand	19,35	19,09	35,00
G Einde RC	49,6	6,60	0,80	Zand	19,42	19,03	27,00
H 3e rechte deel	63,2	4,00	0,90	Zand	19,26	17,47	35,00

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
A 1e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
B Kant Water	Geen	0,1000	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
C Waterbodern	Geen	0,1000	0,00	35,00	Geen
D Neergaande bocht	Geen	-	0,00	75,00	Geen
E Kant water - 2e ..	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
F Opgaande bocht	Geen	0,1000	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
G Einde RC	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
H 3e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek II

03-05-2021 16:54:40

1. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	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	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 3.141,59	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0300	N/mm ¹

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

	Leiding op rollenbaan/maaiveld	Leiding in boorgat
Gewicht mediumleiding	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

3. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds
3.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	77,00	416
Na intrekken van L_5	49,60	268
Na intrekken van $L_5 + L_4$	44,30	239
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	33,40	180
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	14,60	79

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,1$$

3.2 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	416	0,13
Na intrekken van L_5	268	0,09
Na intrekken van $L_5 + L_4$	239	0,08
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	180	0,06
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	79	0,03

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{60.000} = 70.896,91 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{70.896,91}{72.114} = \mathbf{0,98 \text{ N/mm}^2}$$

3.4 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	0,13	0,77
Na intrekken van L ₅	0,09	0,72
Na intrekken van L ₅ + L ₄	0,08	0,72
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃	0,06	0,70
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃ + L ₂	0,03	0,66

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,98 + \sigma_t$$

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

4. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat
4.1 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: $D_{e,omtrek} = 345,58 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 110,00^2 \cdot \pi/4 = 0,109 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0793 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
Na intrekken van L_5	27,40	1.634	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	32,70	-	1.950
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	43,60	2.601	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	62,40	-	3.722
Geheel ingetrokken	77,00	4.593	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

4.3 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]
B Kant Water	0,0052	38,4	0,0087	421
C Waterbodembodem	0,0052	38,4	0,0087	421
F Opgaande bocht	0,0052	38,4	0,0087	421

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 110 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

4.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht 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	239	1.950	421	-	2.610
Opgaande bocht	79	3.722	421	421	4.642

 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	9,00	2.610	294
Opgaande bocht	9,00	4.642	523

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

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

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

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

4.5 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]
Na intrekken van L_5	268	1.634	-	-	-	-	1.902
Na intrekken van $L_5 + L_4$	239	1.950	421	294	-	-	2.905
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	180	2.601	421	294	-	-	3.496
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	79	3.722	421	294	421	523	5.459
Geheel ingetrokken	0	4.593	421	294	421	523	6.251

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

4.6 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]
Na intrekken van L_5	1.902	0,61
Na intrekken van $L_5 + L_4$	2.905	0,92
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.496	1,11
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	5.459	1,74
Geheel ingetrokken	6.251	1,99

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59}$$

03-05-2021 16:54:41

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

4.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 38.400} = 156.653,53 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{156.653,53}{72.113,83} = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$$

4.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 38.400} = 156.653,53 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{156.653,53}{72.113,83} = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$$

4.8 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]
Na intrekken van L_5	1.902	0,61	-	0,61
Na intrekken van $L_5 + L_4$	2.905	0,92	2,17	2,34
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.496	1,11	-	1,11
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	5.459	1,74	2,17	3,15
Geheel ingetrokken	6.251	1,99	-	1,99

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{3.141,59} = \sigma_t$$

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

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

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

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

$$D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,3 = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

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

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

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

5.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 50^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,88$$

5.3 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]
A 1e rechte deel	3,80	0,70	Zand	15,10	59,57	74,67	4,80
B Kant Water	5,50	0,50	Zand	10,75	102,91	113,65	7,00
C Waterbodern	4,10	-1,70	Zand	0,00	91,10	91,10	5,51
D Neergaande b..	4,30	-1,70	Zand	0,00	95,55	95,55	5,78
E Kant water -..	6,80	0,80	Zand	17,09	125,86	142,95	9,12
F Opgaande bocht	6,80	0,70	Zand	14,90	128,09	142,99	9,02
G Einde RC	6,60	0,80	Zand	17,09	121,41	138,50	8,86
H 3e rechte deel	4,00	0,90	Zand	19,07	59,57	78,64	5,24

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

5.4 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]
A 1e rechte deel	3,80	Grafiek ½ x II	2,82	0,31
B Kant Water	5,50	Grafiek ½ x II	1,79	0,20
C Waterbodern	4,10	Geen	0,00	0,00
D Neergaande b..	4,30	Geen	0,00	0,00
E Kant water -..	6,80	Grafiek ½ x II	1,38	0,15
F Opgaande bocht	6,80	Grafiek ½ x II	1,38	0,15
G Einde RC	6,60	Grafiek ½ x II	1,43	0,16
H 3e rechte deel	4,00	Grafiek II	5,29	0,58

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 110$$

03-05-2021 16:54:42

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

5.5 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]
A 1e rechte deel	4,80	0,31	5,11	65,72	3,48
B Kant Water	7,00	0,20	7,20	92,50	4,90
C Waterbodem	5,51	0,00	5,51	70,82	3,75
D Neergaande b..	5,78	0,00	5,78	74,27	3,94
E Kant water -..	9,12	0,15	9,28	119,20	6,32
F Opgaande bocht	9,02	0,15	9,17	117,85	6,25
G Einde RC	8,86	0,16	9,01	115,81	6,14
H 3e rechte deel	5,24	0,58	5,82	74,82	3,97

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,88 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

5.6 Optredende spanning σ_{qr} t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
B Kant Water	38,4	0,0087	0,57
C Waterbodem	38,4	0,0087	0,57
F Opgaande bocht	38,4	0,0087	0,57

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 110 \cdot \frac{55,00}{16,67}$$

5.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

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

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

6. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$$

 Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m²**
7. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

 Conclusie: Kans op implosie bij **27,78 m** grondwater boven de leiding

03-05-2021 16:54:43

8. Berekening van het totaal aan optredende spanningen
8.1 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]
A 1e rechte deel	3,48	-	0,65	2,26
B Kant Water	4,90	0,57	0,65	3,56
C Waterbodem	3,75	0,57	0,65	2,81
D Neergaande b..	3,94	-	0,65	2,56
E Kant water -..	6,32	-	0,65	4,11
F Opgaande bocht	6,25	0,57	0,65	4,43
G Einde RC	6,14	-	0,65	3,99
H 3e rechte deel	3,97	-	0,65	2,58

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

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

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²
8.2 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]
A 1e rechte deel	0,61	1,56	-	-	2,17
B Kant Water	0,61	1,56	2,17	0,65	3,58
C Waterbodem	0,61	1,56	2,17	0,65	3,58
D Neergaande b..	0,61	1,56	-	-	2,17
E Kant water -..	0,61	1,56	-	-	2,17
F Opgaande bocht	0,61	1,56	2,17	0,65	3,58
G Einde RC	0,61	1,56	-	-	2,17
H 3e rechte deel	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: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²
9. 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 [%]
A 1e rechte deel	4,80	0,31	-	1,03	1,03
B Kant Water	7,00	0,20	0,0087	1,48	1,48
C Waterbodem	5,51	0,00	0,0087	0,88	0,88
D Neergaande b..	5,78	0,00	-	1,20	1,20
E Kant water -..	9,12	0,15	-	1,91	1,91
F Opgaande bocht	9,02	0,15	0,0087	1,89	1,89
G Einde RC	8,86	0,16	-	1,42	1,42
H 3e rechte deel	5,24	0,58	-	1,15	1,15

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q_0) - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r}{E' \cdot I_w} \cdot r_g^3$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

 Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 100,00 = **8,00** mm

10. Berekening van de boorspoeldrukken

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p'_f [kN/m ²]	E_{100} [MN/m ²]
A 1e rechte deel	3,80	30,71	13,10	21,90	34,47	49,56
B Kant Water	5,50	43,93	18,73	31,33	49,30	59,84
C Waterbodern	4,10	34,29	18,72	26,51	38,54	24,77
D Neergaande b..	4,30	35,96	15,34	25,65	40,36	54,37
E Kant water -..	6,80	58,14	24,79	41,47	65,25	68,31
F Opgaande bocht	6,80	57,18	24,38	40,78	64,17	67,91
G Einde RC	6,60	56,46	30,83	43,65	63,46	31,40
H 3e rechte deel	4,00	33,99	14,49	24,24	38,15	51,77

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

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

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

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

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m$$

Locatie	G [MN/m ²]	Q [-]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]	90% p_{lim} [bar] 1
A 1e rechte deel	25,61	0,00049	0,0310	0,03497	0,59	5,27
B Kant Water	30,91	0,00058	0,0500	0,05641	0,80	7,16
C Waterbodern	14,90	0,00081	0,0580	0,06543	0,41	3,73
D Neergaande b..	28,09	0,00052	0,0600	0,06769	0,69	6,24
E Kant water -..	35,29	0,00067	0,0600	0,06769	0,99	8,95
F Opgaande bocht	35,09	0,00067	0,0610	0,06882	0,98	8,85
G Einde RC	18,89	0,0010	0,0580	0,06543	0,60	5,39
H 3e rechte deel	26,75	0,00052	0,0310	0,03497	0,63	5,68

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

10.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δp [N/mm ²]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 3
A 1e rechte deel	0,86	0,01	0,26	2,62	0,05	0,48
B Kant Water	0,79	0,02	0,36	3,61	0,08	0,76
C Waterbodern	0,67	0,03	0,23	2,26	0,09	0,91
D Neergaande b..	0,83	0,03	0,32	3,24	0,10	0,98
E Kant water -..	0,73	0,04	0,45	4,50	0,10	1,04
F Opgaande bocht	0,73	0,04	0,45	4,46	0,11	1,09
G Einde RC	0,59	0,04	0,31	3,14	0,11	1,10
H 3e rechte deel	0,83	0,06	0,28	2,82	0,09	0,92

10.2 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δp [N/mm ²]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 5
A 1e rechte deel	1,90	0,01	0,22	2,21	0,05	0,47
B Kant Water	2,33	0,01	0,36	3,61	0,07	0,67
C Waterbodern	1,98	0,01	0,23	2,26	0,08	0,75
D Neergaande b..	2,15	0,01	0,30	3,02	0,08	0,76
E Kant water -..	2,16	0,01	0,45	4,50	0,08	0,75
F Opgaande bocht	2,17	0,01	0,45	4,46	0,08	0,75
G Einde RC	1,73	0,01	0,31	3,14	0,07	0,71
H 3e rechte deel	2,00	0,00	0,25	2,49	0,04	0,38

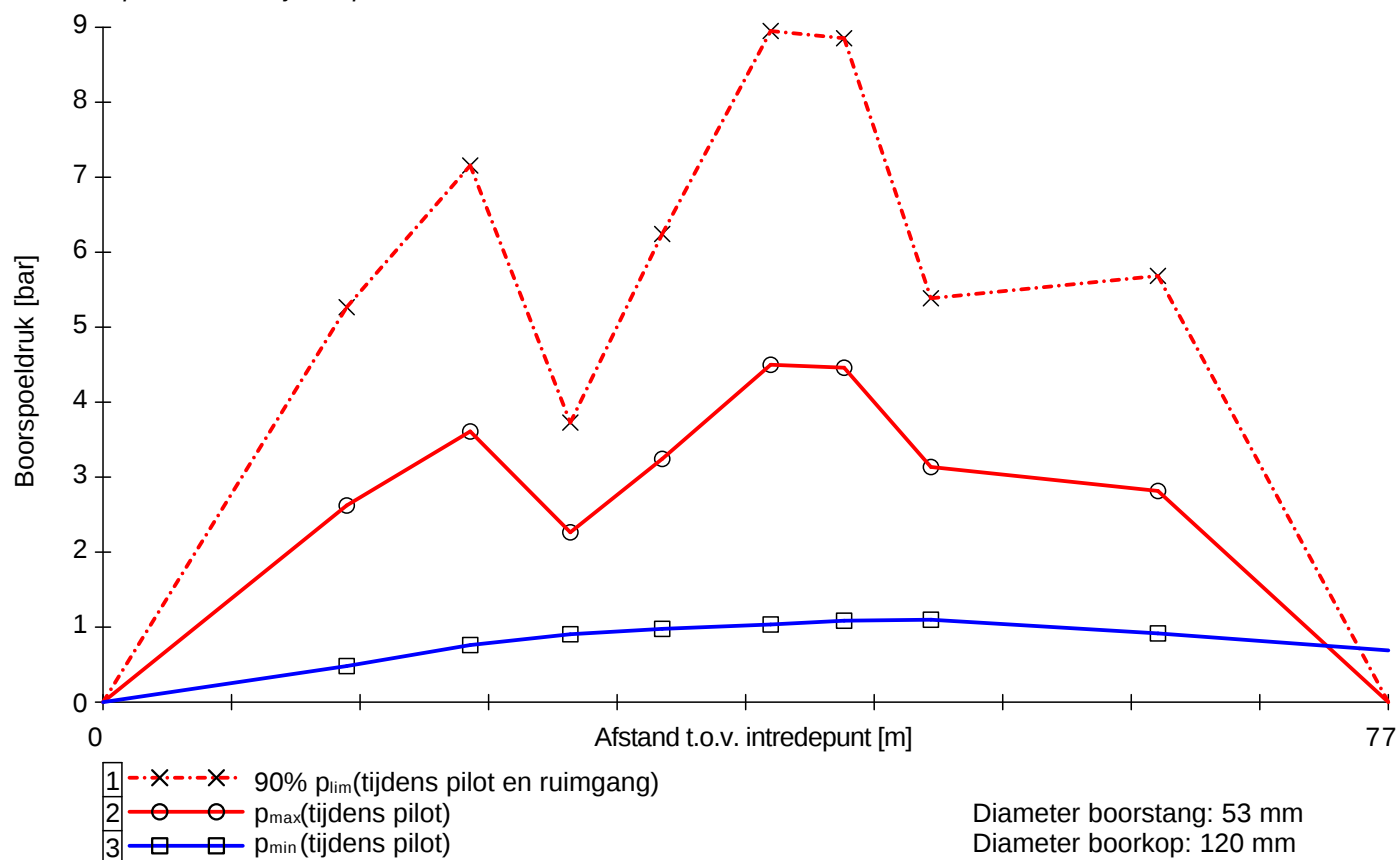
$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_{g/p} - D_b} \cdot L$$

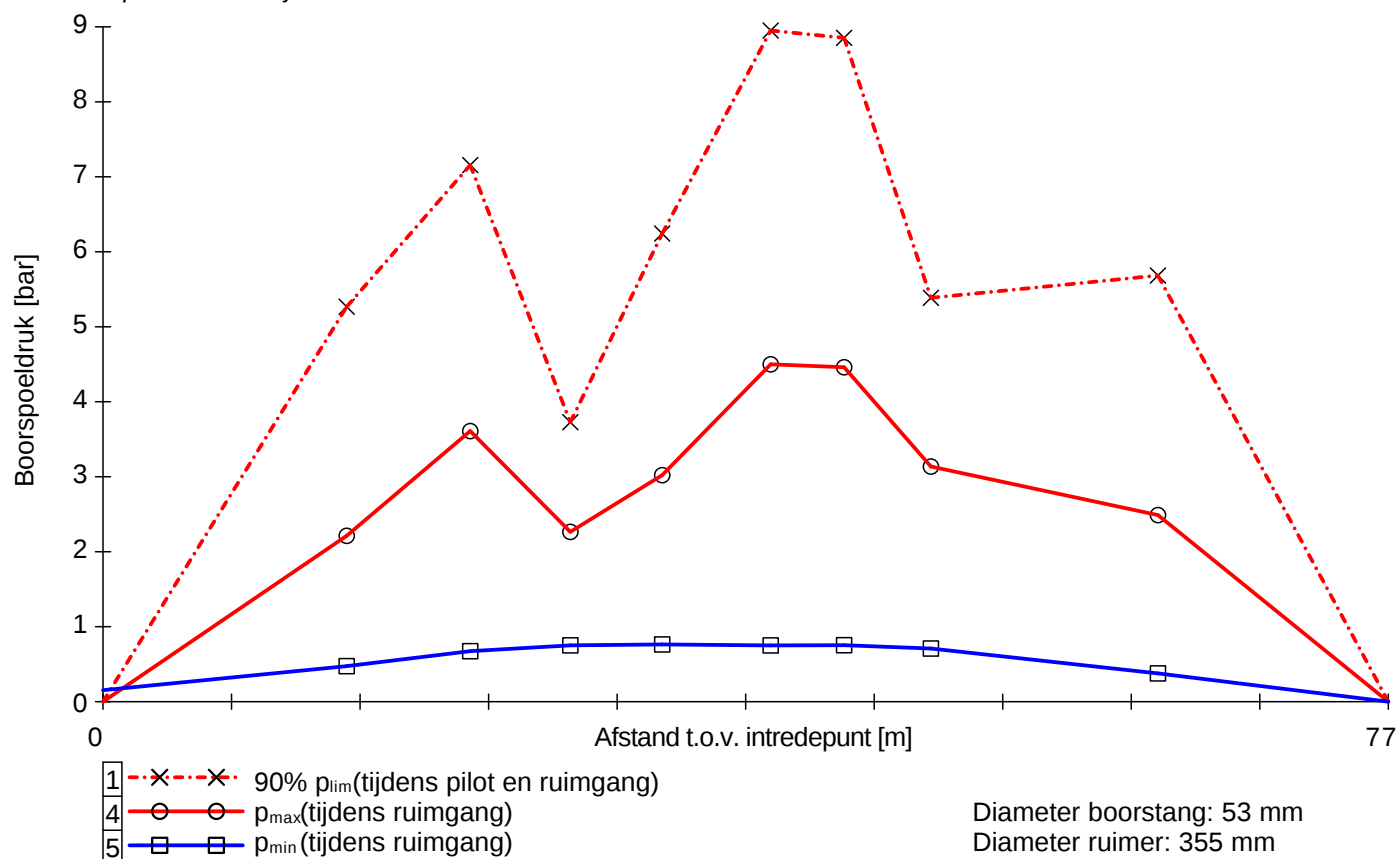
$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

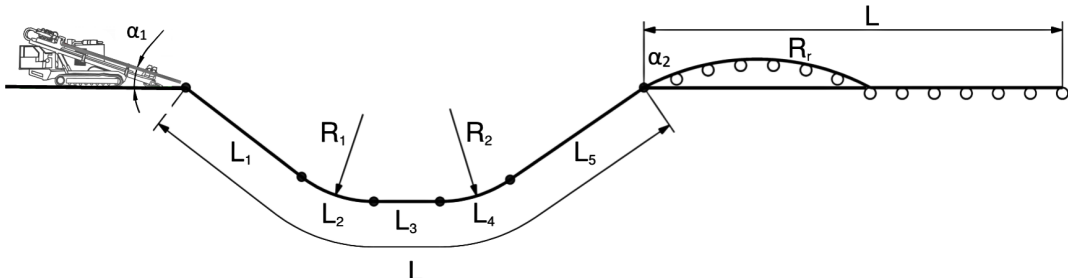
$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$

10.3 Boorspoeldrukken tijdens pilot



10.4 Boorspoeldrukken tijdens ruimen



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : B2021-018 Nieuwerbrug aan den Rijn, Weijpoort 1			
Projectonderdeel : B2021-018 Sterkteberekening 1x Ø 110mm SDR11 Gas			
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 Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,2	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ_{omg}	= 0,833	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken			
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 verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter boorstang	D _b	= 53	mm
Diameter boorkop	D _p	= 120	mm
Diameter ruimer	D _g	= 355	mm
Totale lengte	L	= 77,00	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 14,60	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 18,80	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 10,90	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 5,30	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 27,40	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 60,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 38,40	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 38,40	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 18,00 / 32,49	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
			
		03-05-2021 16:41:22	

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

Onzekerheids- en wrijvingsfactoren

Totaalfactor bij boring met bundels	f	= 1,8	
Belastingfactor, bovengronds	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor, ondergronds	$f_{k,o}$	= 1,4	
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	$f_{r,o}$	= 0,9	
Wrijvingscoëff. met rollenbaan	f_1	= 0,1	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	

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 [°]
A 1e rechte deel	14,6	3,80	0,70	Zand	19,61	17,47	35,00
B Kant Water	22	5,50	0,50	Zand	19,54	18,71	35,00
C Waterbodem	28	4,10	-1,70	Zand	0,00	20,20	27,00
D Neergaande bocht	33,5	4,30	-1,70	Zand	0,00	20,20	35,00
E Kant water - 2e ..	40	6,80	0,80	Zand	19,42	19,07	35,00
F Opgaande bocht	44,4	6,80	0,70	Zand	19,35	19,09	35,00
G Einde RC	49,6	6,60	0,80	Zand	19,42	19,03	27,00
H 3e rechte deel	63,2	4,00	0,90	Zand	19,26	17,47	35,00

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
A 1e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
B Kant Water	Geen	0,1000	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
C Waterbodem	Geen	0,1000	0,00	35,00	Geen
D Neergaande bocht	Geen	-	0,00	75,00	Geen
E Kant water - 2e ..	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
F Opgaande bocht	Geen	0,1000	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
G Einde RC	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
H 3e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek II

03-05-2021 16:41:22

1. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	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	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 3.141,59	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0300	N/mm ¹

2. 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	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

3. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds
3.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	77,00	416
Na intrekken van L_5	49,60	268
Na intrekken van $L_5 + L_4$	44,30	239
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	33,40	180
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	14,60	79

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,1$$

3.2 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	416	0,13
Na intrekken van L_5	268	0,09
Na intrekken van $L_5 + L_4$	239	0,08
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	180	0,06
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	79	0,03

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{60.000} = 70.896,91 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{70.896,91}{72.114} = \mathbf{0,98 \text{ N/mm}^2}$$

3.4 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	0,13	0,77
Na intrekken van L ₅	0,09	0,72
Na intrekken van L ₅ + L ₄	0,08	0,72
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃	0,06	0,70
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃ + L ₂	0,03	0,66

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,98 + \sigma_t$$

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

4. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat
4.1 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: $D_{e,omtrek} = 345,58 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 110,00^2 \cdot \pi/4 = 0,109 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0793 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
Na intrekken van L_5	27,40	1.634	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	32,70	-	1.950
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	43,60	2.601	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	62,40	-	3.722
Geheel ingetrokken	77,00	4.593	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

4.3 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]
B Kant Water	0,0052	38,4	0,0087	421
C Waterbodem	0,0052	38,4	0,0087	421
F Opgaande bocht	0,0052	38,4	0,0087	421

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 110 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

4.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht 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	239	1.950	421	-	2.610
Opgaande bocht	79	3.722	421	421	4.642

 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	9,00	2.610	294
Opgaande bocht	9,00	4.642	523

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

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

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

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

4.5 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]
Na intrekken van L_5	268	1.634	-	-	-	-	1.902
Na intrekken van $L_5 + L_4$	239	1.950	421	294	-	-	2.905
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	180	2.601	421	294	-	-	3.496
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	79	3.722	421	294	421	523	5.459
Geheel ingetrokken	0	4.593	421	294	421	523	6.251

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

4.6 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]
Na intrekken van L_5	1.902	0,61
Na intrekken van $L_5 + L_4$	2.905	0,92
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.496	1,11
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	5.459	1,74
Geheel ingetrokken	6.251	1,99

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59}$$

03-05-2021 16:41:23

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

4.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,0} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,0} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 38.400} = 156.653,53 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{156.653,53}{72.113,83} = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$$

4.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,0} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,0} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 38.400} = 156.653,53 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{156.653,53}{72.113,83} = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$$

4.8 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]
Na intrekken van L_5	1.902	0,61	-	0,61
Na intrekken van $L_5 + L_4$	2.905	0,92	2,17	2,34
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.496	1,11	-	1,11
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	5.459	1,74	2,17	3,15
Geheel ingetrokken	6.251	1,99	-	1,99

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59} = \sigma_t$$

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

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

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

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

$$D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,2 = 1,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,01 = 0,40 \text{ N/mm}^2$$

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

5.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 50^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,92$$

5.3 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]
A 1e rechte deel	3,80	0,70	Zand	15,10	59,57	74,67	4,80
B Kant Water	5,50	0,50	Zand	10,75	102,91	113,65	7,00
C Waterbodern	4,10	-1,70	Zand	0,00	91,10	91,10	5,51
D Neergaande b..	4,30	-1,70	Zand	0,00	95,55	95,55	5,78
E Kant water -..	6,80	0,80	Zand	17,09	125,86	142,95	9,12
F Opgaande bocht	6,80	0,70	Zand	14,90	128,09	142,99	9,02
G Einde RC	6,60	0,80	Zand	17,09	121,41	138,50	8,86
H 3e rechte deel	4,00	0,90	Zand	19,07	59,57	78,64	5,24

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

5.4 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]
A 1e rechte deel	3,80	Grafiek ½ x II	2,82	0,31
B Kant Water	5,50	Grafiek ½ x II	1,79	0,20
C Waterbodern	4,10	Geen	0,00	0,00
D Neergaande b..	4,30	Geen	0,00	0,00
E Kant water -..	6,80	Grafiek ½ x II	1,38	0,15
F Opgaande bocht	6,80	Grafiek ½ x II	1,38	0,15
G Einde RC	6,60	Grafiek ½ x II	1,43	0,16
H 3e rechte deel	4,00	Grafiek II	5,29	0,58

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 110$$

03-05-2021 16:41:24

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

5.5 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]
A 1e rechte deel	4,80	0,31	5,11	65,72	3,62
B Kant Water	7,00	0,20	7,20	92,50	5,10
C Waterbodem	5,51	0,00	5,51	70,82	3,91
D Neergaande b..	5,78	0,00	5,78	74,27	4,10
E Kant water -..	9,12	0,15	9,28	119,20	6,57
F Opgaande bocht	9,02	0,15	9,17	117,85	6,50
G Einde RC	8,86	0,16	9,01	115,81	6,39
H 3e rechte deel	5,24	0,58	5,82	74,82	4,13

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,92 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

5.6 Optredende spanning σ_{qr} t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
B Kant Water	38,4	0,0087	0,57
C Waterbodem	38,4	0,0087	0,57
F Opgaande bocht	38,4	0,0087	0,57

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 110 \cdot \frac{55,00}{16,67}$$

5.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

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

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

6. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$$

 Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m²**
7. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

 Conclusie: Kans op implosie bij **27,78 m** grondwater boven de leiding

03-05-2021 16:41:24

8. Berekening van het totaal aan optredende spanningen
8.1 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]
A 1e rechte deel	3,62	-	0,65	2,36
B Kant Water	5,10	0,57	0,65	3,68
C Waterbodem	3,91	0,57	0,65	2,91
D Neergaande b..	4,10	-	0,65	2,66
E Kant water -..	6,57	-	0,65	4,27
F Opgaande bocht	6,50	0,57	0,65	4,59
G Einde RC	6,39	-	0,65	4,15
H 3e rechte deel	4,13	-	0,65	2,68

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

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

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²
8.2 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]
A 1e rechte deel	0,40	1,56	-	-	1,96
B Kant Water	0,40	1,56	2,17	0,65	3,38
C Waterbodem	0,40	1,56	2,17	0,65	3,38
D Neergaande b..	0,40	1,56	-	-	1,96
E Kant water -..	0,40	1,56	-	-	1,96
F Opgaande bocht	0,40	1,56	2,17	0,65	3,38
G Einde RC	0,40	1,56	-	-	1,96
H 3e rechte deel	0,40	1,56	-	-	1,96

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

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

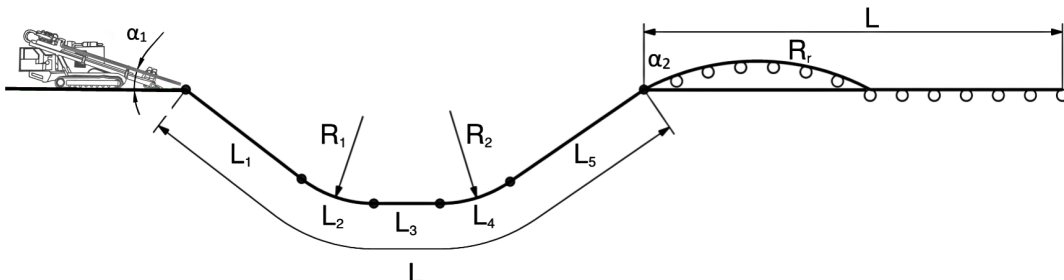
 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²
9. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
A 1e rechte deel	4,80	0,31	-	1,03	1,03
B Kant Water	7,00	0,20	0,0087	1,48	1,48
C Waterbodem	5,51	0,00	0,0087	0,88	0,88
D Neergaande b..	5,78	0,00	-	1,20	1,20
E Kant water -..	9,12	0,15	-	1,91	1,91
F Opgaande bocht	9,02	0,15	0,0087	1,89	1,89
G Einde RC	8,86	0,16	-	1,42	1,42
H 3e rechte deel	5,24	0,58	-	1,15	1,15

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q_0) - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r}{E' \cdot I_w} \cdot r_g^3$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

 Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 100,00 = **8,00** mm

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project		: B2021-018 Nieuwerbrug aan den Rijn, Weijpoort 1	
Projectonderdeel		: B2021-018 Sterkteberekening 1x Ø 110mm SDR11 mantelbuis	
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ _M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	σ̄ _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 Tangentieel / Alfa Axiaal	α _σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ _L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken			
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 verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter boorstang	D _b	= 53	mm
Diameter boorkop	D _p	= 120	mm
Diameter ruimer	D _g	= 355	mm
Totale lengte	L	= 77,00	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 14,60	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 18,80	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 10,90	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 5,30	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 27,40	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 60,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 38,40	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 38,40	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α ₁	= 18,00 / 32,49	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α ₂	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
			
		03-05-2021 16:51:36	

2.0.7.0/03-2021/10-43456433-1

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020					Sigma 2020 2.0 ©		
Onzekerheids- en wrijvingsfactoren							
Totaalfactor bij boring met bundels	f		= 1,8				
Belastingfactor, bovengronds	f _{k,b}		= 1,1				
Belastingfactor, ondergronds	f _{k,o}		= 1,4				
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	f _{r,o}		= 0,9				
Wrijvingscoëff. met rollenbaan	f ₁		= 0,1				
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂		= 0,00005 N/mm ²				
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃		= 0,2				
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 [°]
A 1e rechte deel	14,6	3,80	0,70	Zand	19,61	17,47	35,00
B Kant Water	22	5,50	0,50	Zand	19,54	18,71	35,00
C Waterbodern	28	4,10	-1,70	Zand	0,00	20,20	27,00
D Neergaande bocht	33,5	4,30	-1,70	Zand	0,00	20,20	35,00
E Kant water - 2e ..	40	6,80	0,80	Zand	19,42	19,07	35,00
F Opgaande bocht	44,4	6,80	0,70	Zand	19,35	19,09	35,00
G Einde RC	49,6	6,60	0,80	Zand	19,42	19,03	27,00
H 3e rechte deel	63,2	4,00	0,90	Zand	19,26	17,47	35,00
Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting		
A 1e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II		
B Kant Water	Geen	0,1000	0,00	75,00	Grafiek ½ x II		
C Waterbodern	Geen	0,1000	0,00	35,00	Geen		
D Neergaande bocht	Geen	-	0,00	75,00	Geen		
E Kant water - 2e ..	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II		
F Opgaande bocht	Geen	0,1000	0,00	75,00	Grafiek ½ x II		
G Einde RC	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek ½ x II		
H 3e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek II		
					03-05-2021 16:51:36		

1. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	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	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 3.141,59	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0300	N/mm ¹

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

	Leiding op rollenbaan/maaiveld	Leiding in boorgat
Gewicht mediumleiding	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

3. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds
3.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	77,00	416
Na intrekken van L_5	49,60	268
Na intrekken van $L_5 + L_4$	44,30	239
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	33,40	180
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	14,60	79

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,1$$

3.2 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	416	0,13
Na intrekken van L_5	268	0,09
Na intrekken van $L_5 + L_4$	239	0,08
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	180	0,06
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	79	0,03

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{60.000} = 70.896,91 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{70.896,91}{72.114} = \mathbf{0,98 \text{ N/mm}^2}$$

3.4 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	0,13	0,77
Na intrekken van L ₅	0,09	0,72
Na intrekken van L ₅ + L ₄	0,08	0,72
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃	0,06	0,70
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃ + L ₂	0,03	0,66

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,98 + \sigma_t$$

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

4. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat
4.1 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: $D_{e,omtrek} = 345,58 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 110,00^2 \cdot \pi/4 = 0,109 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0793 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
Na intrekken van L_5	27,40	1.634	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	32,70	-	1.950
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	43,60	2.601	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	62,40	-	3.722
Geheel ingetrokken	77,00	4.593	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

4.3 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]
B Kant Water	0,0052	38,4	0,0087	421
C Waterbodem	0,0052	38,4	0,0087	421
F Opgaande bocht	0,0052	38,4	0,0087	421

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 110 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

4.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht 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	239	1.950	421	-	2.610
Opgaande bocht	79	3.722	421	421	4.642

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

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	9,00	2.610	294
Opgaande bocht	9,00	4.642	523

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

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

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

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

4.5 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]
Na intrekken van L_5	268	1.634	-	-	-	-	1.902
Na intrekken van $L_5 + L_4$	239	1.950	421	294	-	-	2.905
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	180	2.601	421	294	-	-	3.496
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	79	3.722	421	294	421	523	5.459
Geheel ingetrokken	0	4.593	421	294	421	523	6.251

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

4.6 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]
Na intrekken van L_5	1.902	0,61
Na intrekken van $L_5 + L_4$	2.905	0,92
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.496	1,11
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	5.459	1,74
Geheel ingetrokken	6.251	1,99

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59}$$

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

4.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 38.400} = 156.653,53 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{156.653,53}{72.113,83} = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$$

4.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 38.400} = 156.653,53 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{156.653,53}{72.113,83} = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$$

4.8 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]
Na intrekken van L_5	1.902	0,61	-	0,61
Na intrekken van $L_5 + L_4$	2.905	0,92	2,17	2,34
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.496	1,11	-	1,11
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	5.459	1,74	2,17	3,15
Geheel ingetrokken	6.251	1,99	-	1,99

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{3.141,59} = \sigma_t$$

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

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

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

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

Leiding is drukloos:

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

5.2 Berekening rerooundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

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

5.3 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]
A 1e rechte deel	3,80	0,70	Zand	15,10	59,57	74,67	4,80
B Kant Water	5,50	0,50	Zand	10,75	102,91	113,65	7,00
C Waterbodern	4,10	-1,70	Zand	0,00	91,10	91,10	5,51
D Neergaande b..	4,30	-1,70	Zand	0,00	95,55	95,55	5,78
E Kant water -..	6,80	0,80	Zand	17,09	125,86	142,95	9,12
F Opgaande bocht	6,80	0,70	Zand	14,90	128,09	142,99	9,02
G Einde RC	6,60	0,80	Zand	17,09	121,41	138,50	8,86
H 3e rechte deel	4,00	0,90	Zand	19,07	59,57	78,64	5,24

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

5.4 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]
A 1e rechte deel	3,80	Grafiek ½ x II	2,82	0,31
B Kant Water	5,50	Grafiek ½ x II	1,79	0,20
C Waterbodern	4,10	Geen	0,00	0,00
D Neergaande b..	4,30	Geen	0,00	0,00
E Kant water -..	6,80	Grafiek ½ x II	1,38	0,15
F Opgaande bocht	6,80	Grafiek ½ x II	1,38	0,15
G Einde RC	6,60	Grafiek ½ x II	1,43	0,16
H 3e rechte deel	4,00	Grafiek II	5,29	0,58

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 110$$

03-05-2021 16:51:38

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

5.5 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]
A 1e rechte deel	4,80	0,31	5,11	65,72	3,94
B Kant Water	7,00	0,20	7,20	92,50	5,55
C Waterbodern	5,51	0,00	5,51	70,82	4,25
D Neergaande b..	5,78	0,00	5,78	74,27	4,46
E Kant water -..	9,12	0,15	9,28	119,20	7,15
F Opgaande bocht	9,02	0,15	9,17	117,85	7,07
G Einde RC	8,86	0,16	9,01	115,81	6,95
H 3e rechte deel	5,24	0,58	5,82	74,82	4,49

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

5.6 Optredende spanning σ_{qr} t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
B Kant Water	38,4	0,0087	0,57
C Waterbodern	38,4	0,0087	0,57
F Opgaande bocht	38,4	0,0087	0,57

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 110 \cdot \frac{55,00}{16,67}$$

5.7 Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

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

6. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$$

 Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m²**
7. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

 Conclusie: Kans op implosie bij **27,78 m** grondwater boven de leiding

03-05-2021 16:51:38

8. Berekening van het totaal aan optredende spanningen
8.1 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]
A 1e rechte deel	3,94	-	0,65	2,56
B Kant Water	5,55	0,57	0,65	3,98
C Waterbodembodem	4,25	0,57	0,65	3,13
D Neergaande b..	4,46	-	0,65	2,90
E Kant water -..	7,15	-	0,65	4,65
F Opgaande bocht	7,07	0,57	0,65	4,96
G Einde RC	6,95	-	0,65	4,52
H 3e rechte deel	4,49	-	0,65	2,92

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

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

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²
8.2 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]
A 1e rechte deel	0,00	0,00	-	-	0,00
B Kant Water	0,00	0,00	2,17	0,65	1,41
C Waterbodembodem	0,00	0,00	2,17	0,65	1,41
D Neergaande b..	0,00	0,00	-	-	0,00
E Kant water -..	0,00	0,00	-	-	0,00
F Opgaande bocht	0,00	0,00	2,17	0,65	1,41
G Einde RC	0,00	0,00	-	-	0,00
H 3e rechte deel	0,00	0,00	-	-	0,00

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

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

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²
9. 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 [%]
A 1e rechte deel	4,80	0,31	-	1,03	1,03
B Kant Water	7,00	0,20	0,0087	1,48	1,48
C Waterbodembodem	5,51	0,00	0,0087	0,88	0,88
D Neergaande b..	5,78	0,00	-	1,20	1,20
E Kant water -..	9,12	0,15	-	1,91	1,91
F Opgaande bocht	9,02	0,15	0,0087	1,89	1,89
G Einde RC	8,86	0,16	-	1,42	1,42
H 3e rechte deel	5,24	0,58	-	1,15	1,15

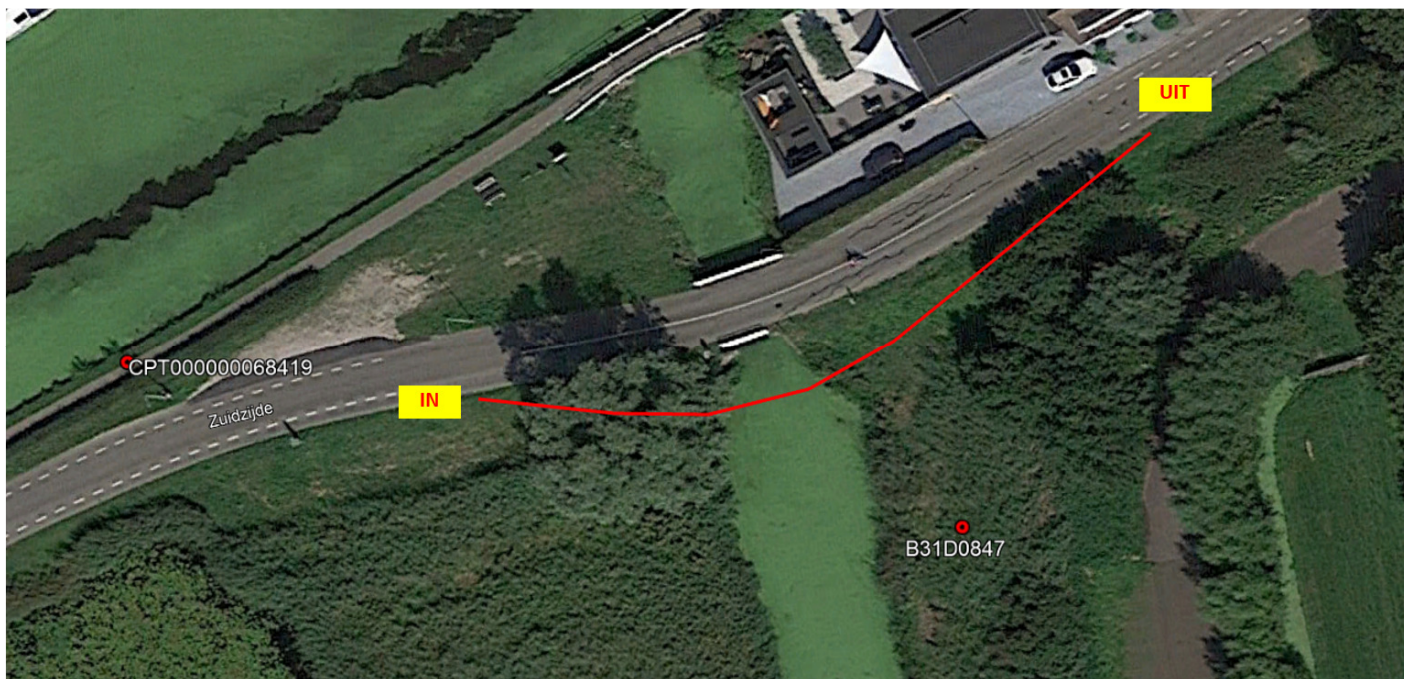
$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q_0) - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r}{E' \cdot I_w} \cdot r_g^3$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

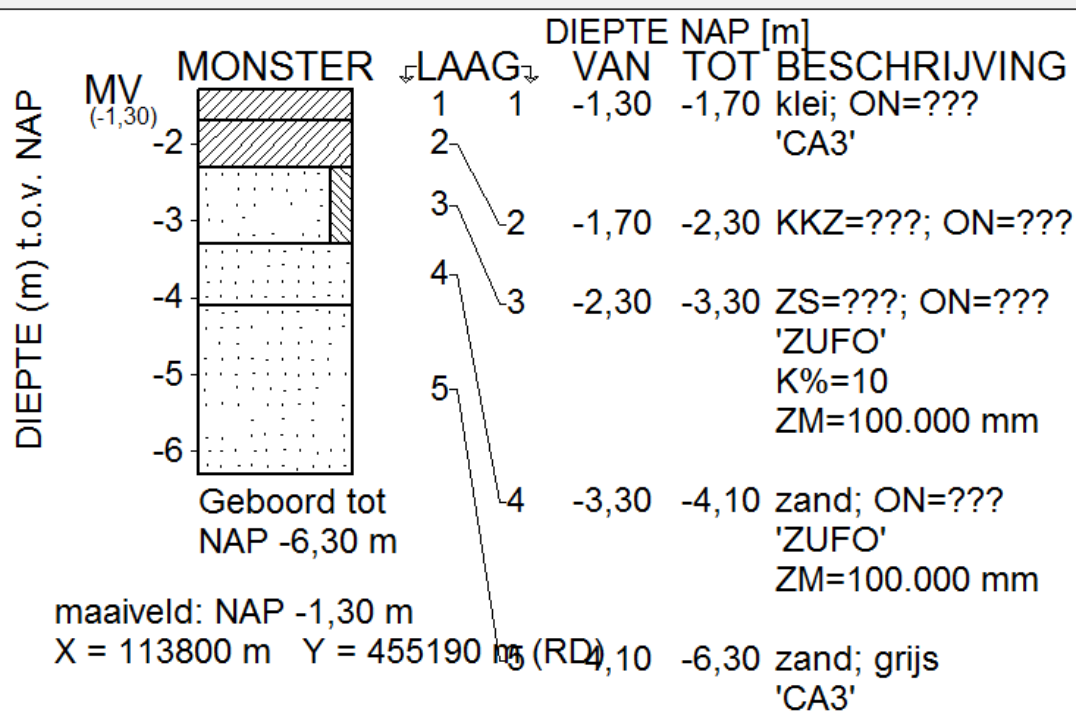
 Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 100,00 = **8,00** mm

B2021-018 Bijlage 3

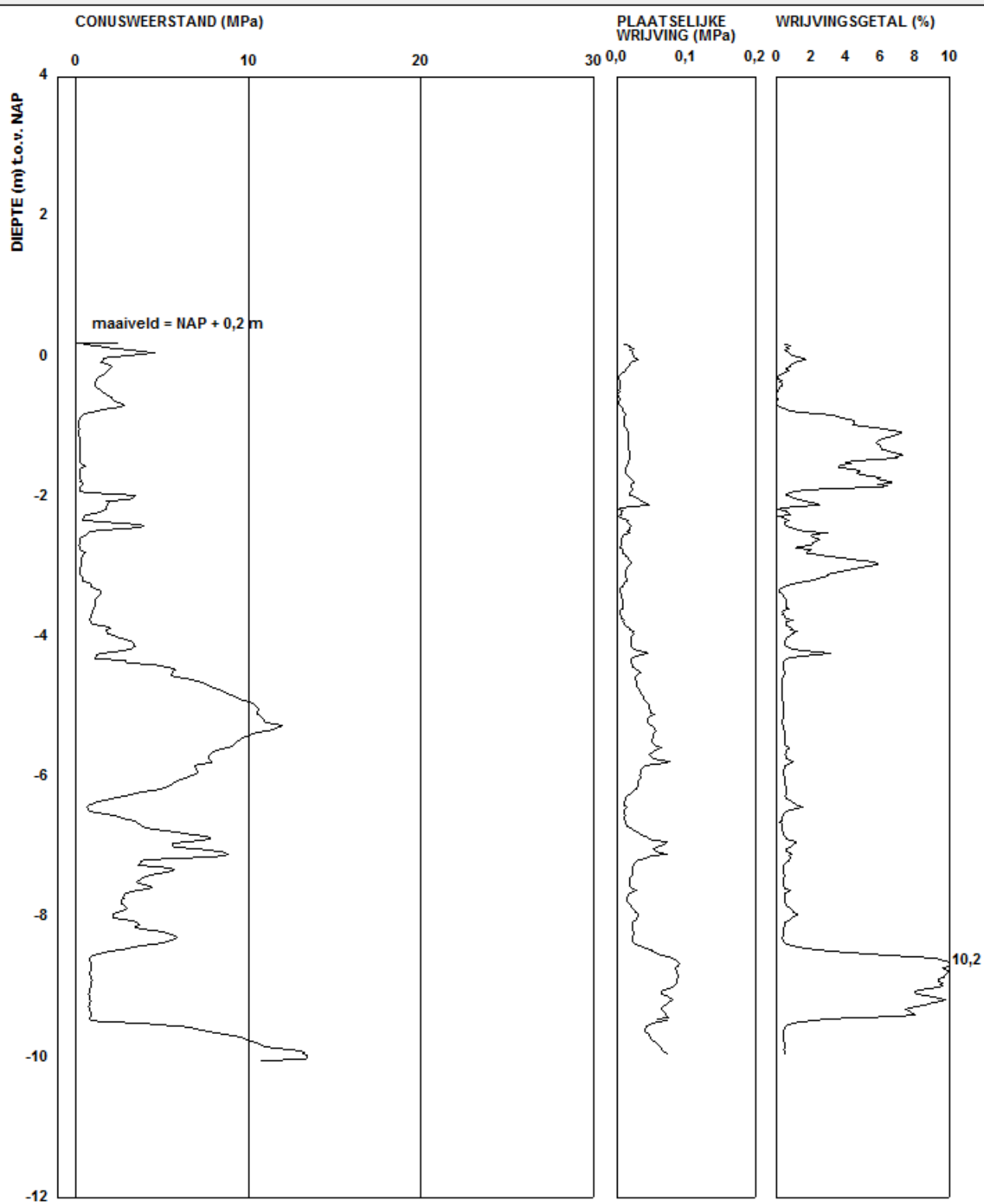
Grondonderzoek



GEFPlotTool - [Bore Plot: B31D0847.gef]



Einde Boring B31D0847



B2021-018

Bijlage 4

DigiTrak F5 Walkover System

DigiTrak® F5™

Directional Drilling Locating System



- Multiple transmitter options with dual in-ground frequency selection
- DigiTrak LWD (Log-While-Drilling) DataLog option with Bluetooth technology
- Pilot hole fluid pressure monitoring with Fluid Pressure Transmitter (FPT)
- Off-track guidance when direct walkover locating is not possible
- Compatible with SST® steering tool and TensiTrak monitoring system

DCI is the world's leading supplier of the very best walkover locating technology for the trenchless industry.

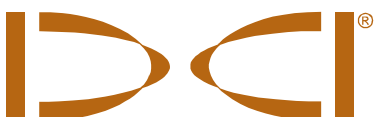
The DigiTrak® F5® Directional Drilling Locating System is the most advanced in DCI's F Series™ line of locating systems. Over five years in development and backed by over 20 years of HDD locating experience, the F5 platform builds on DCI's industry-standard Eclipse® locating technology.

The F5 receiver incorporates DCI's patented 3D antenna technology, target-in-the-box® locating that lets you walk directly to a locate point from any direction, colorful and intuitive icon-driven menus, a four-way toggle switch, and easy-to-understand graphics, which together provide a best-in-class user experience.

The F5 system offers multiple transmitter options in five frequencies to help you overcome jobsite interference better than ever at depths of up to 90 ft. (27.4 m). DCI transmitters can track existing non-metallic ducts, measure pullback tension and mud pressure, and steer

reliably where a direct walkover is not possible. Dual-frequency transmitters can change frequency in-ground, a valuable time-saving feature. FPT fluid pressure transmitters (a technology patented by DCI) monitor pressure in real time to help prevent inadvertent returns while drilling pilot bores.

The F5 receiver comes standard with data logging using the DigiTrak LWD™ (Log-While-Drilling) DataLog® system. Built-in Bluetooth technology transfers data from the F5 receiver to a PC, where a variety of options are available for analyzing, displaying, printing, and storing data. View both current and past data logged by the F5 receiver even while still drilling.



DIGITAL CONTROL INCORPORATED

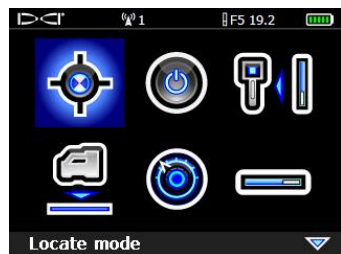
19625 62nd Ave S, Suite B103
Kent Washington 98032, USA
425.251.0559 / 800.288.3610
253.395.2800 fax
dci@digital-control.com

dci.Australia@digital-control.com +61.7.5531.4283
dci.China@digital-control.com +86.21.6432.5186
dci.Europe@digital-control.com +49.9391.810.6100
dci.India@digital-control.com +91.11.4507.0444
dci.Russia@digital-control.com +7.499.281.8177

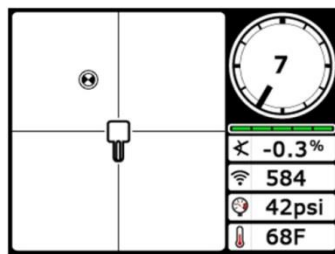
www.DigiTrak.com

DigiTrak® F5 Locating System

The DigiTrak F5 receiver gives a bird's-eye view of the relative positions of the receiver and transmitter, a 24-position roll indicator, pilot hole fluid pressure data, and the transmitter's pitch, signal strength, temperature, and battery strength. During a depth reading, the depth display shows a side view of the drill head along with the bird's-eye view, providing the transmitter's location in three dimensions on the same screen. The F5 provides depth readings over the transmitter and predicted depth readings at the front locate point (FLP), allowing for tracking on-the-fly over a level drill path. All of this information is sent to the remote display (FSD) on the drill.



F5 Receiver Main Menu



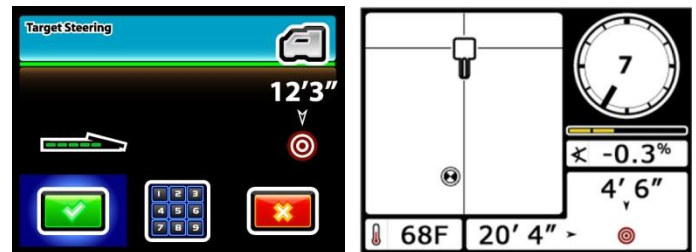
Locating Display with Fluid Pressure Data

F5 Receiver Specifications

Model number	F5R
Frequency	1.3, 8.4, 12, 18.5, or 19.2 kHz
Power source	Lithium-ion battery pack
Battery life	8–12 hrs
Battery charger	10–28 VDC
Functions	Menu-driven
Controls	Trigger and toggle switches
Graphic display	Full-color LCD
Audio output	Beeper
Telemetry range	1800 ft (550 m)
Telemetry channels	4
Operating temperature	-4 to 140° F (-20 to 60° C)
Accuracy	±5% absolute
Dimensions	11 x 5.5 x 15 in. (27.94 x 13.97 x 38.1 cm)
Weight (with battery)	8.0 lb (3.63 kg)

DCI is committed to delivering the industry's best walkover locating experience. Please contact us if you need more information.

The FSD's screen is normally dedicated to the transmitter's roll clock. When the receiver takes a depth reading, the FSD automatically adjusts to also display depth.



Target Steering Setup Menu and Receiver Display

Target Steering® calculates the distance and depth of the transmitter for the current bore path. This lets you make up/down and left/right steering corrections on the way to the target, resulting in straighter pilot bores. Crisp graphics make this function easy to set up and operate. Roll offset allows the transmitter's 12 o'clock position to be electronically compensated to match that of the drill head.

The F5 receiver is compatible with the FSD™ (F Series Display) remote display and DigiTrak® Multi-Function Display (MFD®) (with a software upgrade), with similar menus and display screens on all these devices.

The F5 system comes with an F5R receiver, FSD remote display, three DigiTrak lithium-ion battery packs, and an intelligent charger with both AC and DC power cords. Transmitters are sold separately.

F-Series Display Specifications

Model number	FSD
Power source	Lithium-ion battery pack/12–28 VDC
Battery life	14–18 hrs
Battery charger	10–28 VDC
Controls	Five-button touch pad
Graphic display	LCD
Audio output	Beeper
Telemetry range ¹	1800 ft (550 m)
Telemetry channels	4
Operating temperature	-4 to 140° F (-20 to 60° C)
Dimensions	9.5 x 7.6 x 8.5 in. (24.13 x 19.3 x 21.6 cm)
Weight (with battery)	6.2 lb (2.8 kg)

¹ Range can be increased with an optional external receiving antenna.



B2021-018

Bijlage 5

Productblad bentoniet



Product Data Blad

Toepassing

Omschrijving

Eigenschappen

Drilling

De basis voor deze bentoniet kwaliteit is een speciaal geselecteerde, geactiveerde natrium bentoniet. **Cebogel OCMA** voldoet aan de OCMA specificaties zoals vastgesteld voor olieboringen, is KIWA-ATA en voor Duitsland door het "Hygiene-Institut des Ruhrgebiets" gecertificeerd. **Cebogel OCMA** is een allround boorbentoniet. **Cebogel OCMA** heeft een laag filtraatwaterverlies, is goed te recyclen en heeft daardoor een goede prijs-kwaliteitverhouding.

Cebogel OCMA heeft de volgende eigenschappen;

Goede stabiliserende eigenschappen

Cebogel OCMA heeft goede stabiliserende eigenschappen door een laag filtraatverlies.

Uitstekende prijs-kwaliteitverhouding

Cebogel OCMA is gemakkelijk te recyclen en kan daardoor meerdere malen worden gebruikt. Cebogel OCMA heeft hierdoor een uitstekend rendement.

Certificering

Cebogel OCMA is gecertificeerd volgens KIWA-ATA en voor Duitsland beoordeeld en goedgekeurd op waterhygiëne door het "Hygiene-Institut des Ruhrgebiets" en dus veilig voor gebruik in drinkwatergebieden.

Cebogel OCMA heeft de volgende typische waarden;

Typische waarden Cebogel OCMA			
Parameter	Methode	Eis	Typische waarde
Korrelgrootte		Min. 95% door 125 micron (μm) zeef	96,0%
Vochtgehalte	Volgens DIN 18121-1	$\leq 13\%$ (m/m)	11%
Soortelijk gewicht	-	-	2300 kg/m³ +/- 10%
Stort gewicht	-	-	900 kg/m³ +/- 10%

Cebogel OCMA heeft de volgende chemische en fysische eigenschappen;

Chemische en fysische eigenschappen Cebogel OCMA	
Samenstelling	Hoogwaardige geactiveerde natrium bentoniet
Kleur	Beige
Vorm	Poeder



Cebo Holland

Industrial Minerals, Powerful Logistics

Cebo Holland BV, Westerduinweg 1, 1976 BV IJmuiden, The Netherlands
Tel. +31(0)255-546262, Fax +31-(0)255-546202, info@cebo.com, www.cebo.com



Product Data Blad

Cebogel OCMA

Aanbevolen gebruik

De eigenschappen van Cebogel OCMA worden het best benut als het aanmaakwater de volgende eigenschappen bezit;

- Geleidbaarheid : < 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- pH : 7.5 – 10
- Hardheid : < 100 ppm

Langzaam en gelijkmatig toevoegen aan een hoog circulatie mixer. Blijf de slurry rond circuleren totdat de bentoniet volledig is gedispergeerd. Aanbevolen wordt de suspensie minimaal 4 uur te laten rijpen.

Typische waarden Cebogel OCMA volgens OCMA DFCP-4		
Parameter	Eis	Typische waarde
Yield	$\geq 16,0 \text{ m}^3/\text{ton}$	17,4 m³/ton
API Filtraatwaterverlies	$\leq 15 \text{ ml (30 min)}$	13 ml
Korrelgrootte	Min. 98% door 150 micron (μm) zeef	99%

Cebogel OCMA in suspensie van 65 kg/m³ heeft de volgende typische waarden (na 24 uur);

Typische waarden 6,5% Cebogel OCMA suspensie			
Parameter	Test methode	Eis	Typische waarde
Dichtheid	Fann Mud Balance	-	1,035 g/ml
Viscositeit	Fann Marsh Funnel	32 - 60 sec.	48 sec.
Yield Point	Fann Viscometer	-	18 lbs/100 ft²
Waterafscheiding	-	0% na 24 uur	0%
Vloeigrens kogelnummer	Kugelharfengerät	-	3 kogel - 10 N/m²
Filtraatwaterverlies	Fann API Filter Press	$\leq 15 \text{ ml (7,5 min)}$	$\leq 10 \text{ ml}$

Verpakking

Cebogel OCMA is verkrijgbaar in de volgende verpakkingen;

- 1000 kg verpakt in 25 kg zakken op een pallet met krimpfolie
- 1000 kg big bag
- Bulk

Revisie datum : 8.10.2013
Document nummer : 100305NL

Voor zover wij kunnen beoordelen is bovengenoemde informatie correct. Wij kunnen u echter geen garanties geven over de resultaten die u hiermee zult bereiken. Deze beschrijving wordt u aangeboden op voorwaarde dat u zelf bepaalt in hoeverre zij geschikt is voor uw doeleinden.



Cebo Holland

Industrial Minerals, Powerful Logistics

Cebo Holland BV, Westerduinweg 1, 1976 BV IJmuiden, The Netherlands
Tel. +31(0)255-546262, Fax +31-(0)255-546202, info@cebo.com, www.cebo.com

B2021-018

Bijlage 6

Gegevens in te zetten Rig

Technische gegevens boormachines Verbree bv 23 november 2016

Technische gegevens Ditch Witch JT922 (4,5 ton)

Afmetingen

(lengte x breedte x hoogte) 3,70 x 1,22 x 1,88 meter

Gewicht

Gewicht boormachine 3.221 kg

Boormachine

- Boorkoppel 1491 Nm
- Drukkracht 45 kN
- Trekkkracht 45 kN
- Boorhoek met maaiveld 10-18°

Boorstangen

- Lengte 1,8 meter
- Diameter 3,3 cm
- Materiaal Staal
- Type FIRESTICK I
- Min. Radius 17,5 meter
- Max. % sturen per stang 9,9%
- Maximale lengte boorstangen: 120 meter (in overleg te verlengen tot 150 meter)

Maximale afstand tussen units

- Tussen boormachine en vrachtwagen: 40 meter

Ruimers

- T/m 400 mm

