

# Aanvulling waterwetvergunning

14-09-2015 (Deel 2)





**BIJLAGE 3E BOORPLAN WESTEN  
KORNWERDERZAND**





## BOORPLAN

# Engineering HDD boring t.b.v. kabeltracé Winpark Friesland Afsluitdijk / Kornwerderzand

Oprachtgever : Windpark Fryslân BV  
Project : Aanbrengen hoogspanningkabels Windpark Fryslân  
Hoofdaannemer : Nader te bepalen  
Aannemer H.D.D.-boringen : Nader te bepalen  
Kenmerk : 482.15.2.039-04  
Versie : 1

	Naam	Functie	Datum	Paraaf
Auteur	A. Lammersen	Engineer	21-08-2015	
Verificatie				
Autorisatie	M.H.H. Berger	Directeur	21-08-2015	

## **INHOUDSOPGAVE**

- 1 Projectomschrijving 4**
- 2 Werkmethode 6**
- 3 OMSchrijving werkzaamheden 8**
  - 3.1 *Tijdschema 8*
  - 3.2 *Indicatieve personeelsbezetting boring 9*
  - 3.3 *Kwaliteit en keuring van bouwmaterialen 10*
    - 3.3.1 *Buizen 10*
    - 3.3.2 *Boorvloeistof 10*
    - 3.3.3 *Debietten 10*
    - 3.3.4 *Samenstellen en intrekken van de HDPE leiding 11*
  - 3.4 *In te zetten boormaterieel (voorbeeld) 12*
  - 3.5 *Boortechnische wijze van uitvoering 13*
    - 3.5.1 *Werkterrein 13*
    - 3.5.2 *Werkwijze Gestuurde Boringen 14*
    - 3.5.3 *Kwaliteitsregistratie 14*
  - 3.6 *Bestaande kabels en leidingen 15*
  - 3.7 *Overlegstructuur, procesbeheersing, procedures 15*
- 4 Berekeningen voor de boringen 16**
  - 4.1 *Uitgangspunten 16*

*Materiaal en buis gegevens 16*

    - 4.1.1 *Grondgegevens 18*
    - 4.1.2 *Belastingen 18*
  - 4.2 *Berekeningen 19*
    - 4.2.1 *De mantelbuis op rollenbaan 19*
    - 4.2.2 *De mantelbuis het boorgat intrekken 19*
    - 4.2.3 *De 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis 20*
    - 4.2.4 *Deflectie berekening 20*
    - 4.2.5 *Boorspoel berekening 21*
  - 4.3 *Conclusies 21*

## **Bijlagen**

- Bijlage 1: Tekening
- Bijlage 2: Luchtfoto
- Bijlage 3: Grondonderzoek, sterkte- en muddrukberkeningen
- Bijlage 4: Certificaten en productomschrijving
- Bijlage 5: Technische gegevens rig 4 ton t/m rig 100 ton
- Bijlage 6: Drill-sheet

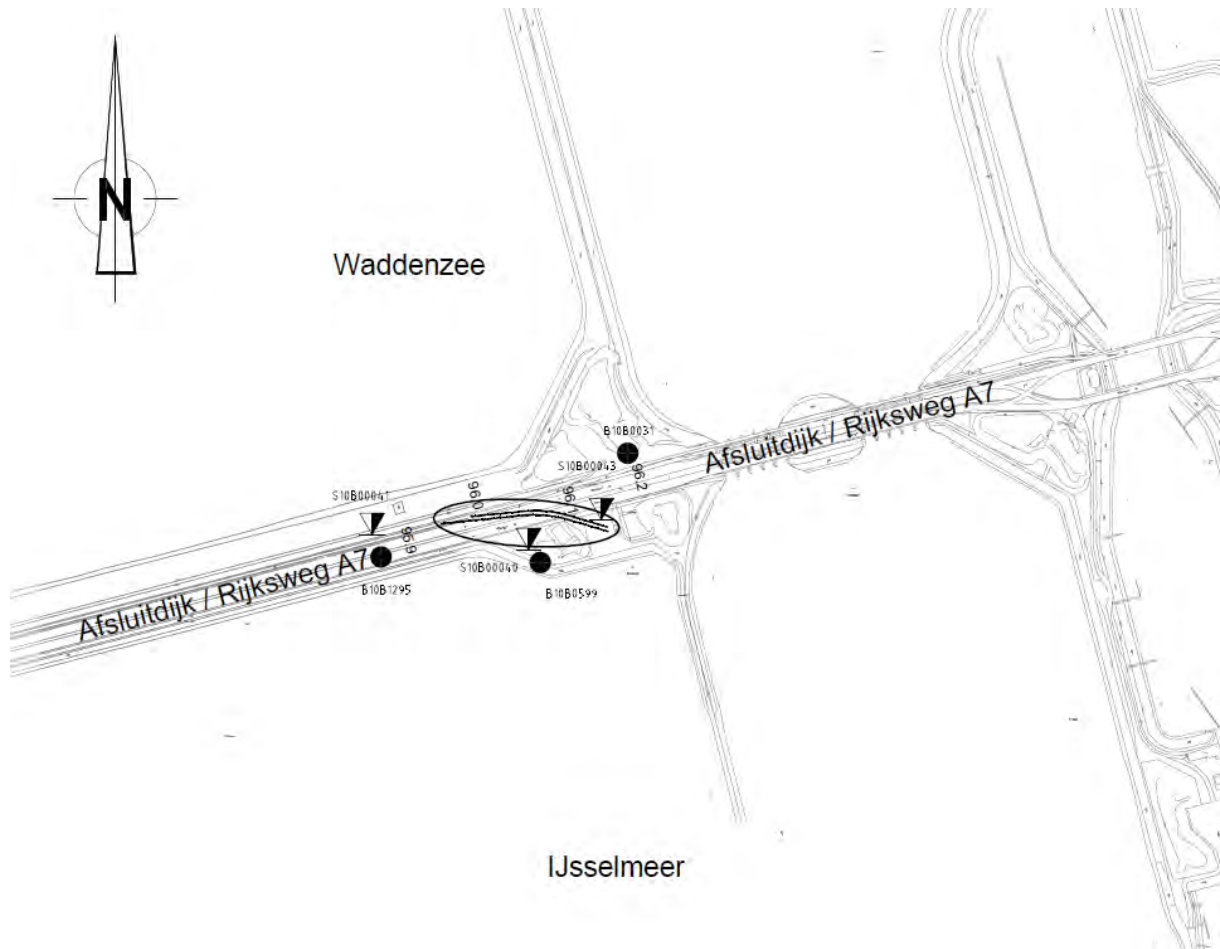
## **1 PROJECTOMSCHRIJVING**

Om Windpark Fryslân op het openbare electriciteitsnet aan te sluiten is een kabeltracé voorzien dat loopt vanaf het substation op Breezanddijk naar de kop van de afsluitdijk. Het kabeltracé van Windpark Fryslân bestaat uit twee kabelcircuits van 3 1-fase kabels elk plus twee mantelbuizen voor glasvezelkabels. Het deel van het kabeltracé dat over de Afsluitdijk loopt, is gepland aan de noordkant van de snelweg, deels onder het bestaande fietspad. Daar waar aanleg middels openontgraving of niet mogelijk is, zijn horizontaalgestuurde boringen (HDD's) gepland.

Om de uitvoerbaarheid te toetsen zijn in dit document een boorplan opgesteld waarin in een van de mogelijke uitvoeringswijze omschreven is en zijn de berekeningen te vinden van een horizontaalgestuude boring die gepland is voor het passeren van de Rijksweg A7. Dit document is geschreven ten behoeve van de vergunningsaanvraag en is niet bestemd voor de uitvoering. Definitieve werkplannen zullen 3 maanden en de definitieve boorplannen 3 weken voor de start van de uitvoering van de werkzaamheden worden ingediend bij de vergunningverlenende instanties.



De passage van de Rijksweg A7 ten westen van de Kornwerder sluizen zal gemaakt worden middels een tweetal boringen met een onderlinge afstand van circa 5,0 m. De lengte van de boringen is ca. 387 meter (zie tekening nr. 482.15.2.039-103 – boring nr. A) en ca. 465 meter (zie tekening nr. 482.15.2.039-103 – boring nr. B). Per boring wordt een bundel mantelbuizen aangebracht, te weten 3 stuks 250 HDPE en 1 stuks 200 HDPE. In deze mantelbuizen komen de kabels van windpark Fryslân te liggen.



De werkmethode is gebaseerd op de volgende documenten:

- Werkomschrijving voor het project
- Boorplan:  
482.15.2.039-04
- Detailtekeningen:  
482.15.2.039-103\_R0
- Geotechnische informatie DINO loket
- NEN 3650/3651

## 2 WERKMETHODE

Voor de aanleg van ondergrondse netwerken bestaande uit kabels en leidingen kunnen horizontaal gestuurd boringen ingezet worden om wegen, watergangen en andere infrastructurele constructies te kruisen. Daar de werkzaamheden worden uitgevoerd met een sleufloze techniek wordt de hinder bovengronds tot een minimum beperkt.

Voorafgaand aan de uitvoering van een horizontaal gestuurd boring wordt geotechnisch grondonderzoek uitgevoerd. Afhankelijk van de van eisen van de vergunningverlenende instantie kan dit onderzoek bestaan uit sonderingen, handboring of andere geotechnisch grondonderzoeken. De gegevens hiervan dienen als input voor de sterkte- en muddrukberoeeningen en het boorplan. Van elke boring worden tekeningen gemaakt welke de boring volledig in kaart brengen. Deze documenten worden ingediend bij de vergunningverlenende instanties als onderdeel van het boorplan.

De geotechnische gegevens die gebruikt zijn voor het maken van de onderliggende berekeningen behorend bij deze boring zijn verkregen uit een bureaustudie. Voor deze berekeningen zijn de gebruikte gegevens conservatief geïnterpreteerd. Geotechnische grondonderzoeken ten behoeve van de uitvoering zullen ten behoeve van het definitieve boorplan worden uitgevoerd conform die hiervoor geldende normen.

Een horizontaal gestuurde boring is een techniek waarbij de werkzaamheden vanaf het maaiveld plaatsvinden. De uitvoering van een horizontaal gestuurde boring is opgebouwd uit drie fasen:

- Mobiliseren;
- Pilotboring;
- Ruimfase;
- Intrekken van leiding;
- Demobiliseren.

Het mobiliseren bestaat uit het gereed maken van het terrein. Indien nog wordt er op de opstelplaats van de boorinstallatie een baan van een zand pakket of rijplaten aangebracht. Hiernaast wordt alle benodigde materieel aangevoerd en opgesteld. Aan de uittrede kant van de boring wordt in deze fase de leiding uitgelegd en gelast.

Als eerst wordt vanaf het intredepunt een pilotboring uitgevoerd in het ontworpen tracé. Na de intrede wordt gestart met een rechtstand vervolgd door een neergaande bocht, een horizontaal gedeelte, na de opgaande bocht wordt het uittredepunt bereikt. Afhankelijk van de beschikbare ruimte en de buigstraal van de opgaande bocht kan na de opgaande bocht nog een rechtstand worden uitgevoerd. Tijdens de eerste fase worden de coördinaten van de pilotboring door middel van driedimensionale plaatsbepaling van de pilotboring verkregen. Bijvoorbeeld middels een gyroscoopmeetsysteem.

In de tweede fase, de ruimfase, wordt aan het uiteinde van de boorstreng een ruimer (of verdringer) geplaatst. Tijdens de ruimfase, welke uit meerder ruimgangen kan bestaan, wordt de gewenste diameter van de boorgang verkregen. De keuze van de soort ruimer is afhankelijk van de plaatselijke grondslag. Bij het aanbrengen van mantelbuizen / mediumvoerende buizen met een geringe diameter kan fase 2 (extra ruimgang) komen te vervallen en wordt de mantelbuis direct achter de

---

ruimer ingetrokken (zoals omschreven in onderstaande “laatste” ruimgang).

De derde en laatste fase is het intrekken van de productleiding(-en). De gereedliggende leiding(-en) worden hierbij met behulp van een trekkop direct achter de ruimer bevestigd en terug getrokken door het boorgat.

Als de leiding is in getrokken wordt het materieel gedemobiliseerd en het terrein hersteld.

Tijdens alle fasen wordt gebruik gemaakt van zo-gehete boorspoeling. Deze is bedoeld om de boorkop te koelen, de losgeboorde grond af te voeren en het stabiel houden van de tunnelwand. De boorspoeling wordt vanaf een hogedrukpomp via een hogedrukslang naar de boorinstallatie verpompt, door de holle boorstangen en door zijkanalen in de boorkop vervolgens de grond ingepompt. Tijdens iedere fase worden de doorspoeldrukken geregistreerd. Dit wordt gedaan om te controleren of er een constante return van de boorspoeling is. Tijdens de laatste fase, het intrekken van de leiding, kan er voor gekozen worden om drillgrout te gebruiken in plaats van bentoniet.

---

### 3 OMSCHRIJVING WERKZAAMHEDEN

Het volgende hoofdstuk bevat de werkomschrijving zoals de HDPE mantelbuizen door een nader te bepalen aannemer kunnen worden aangebracht.

#### 3.1 Tijdschema

Hieronder wordt een globale planning van de HDD-boringen weergegeven.

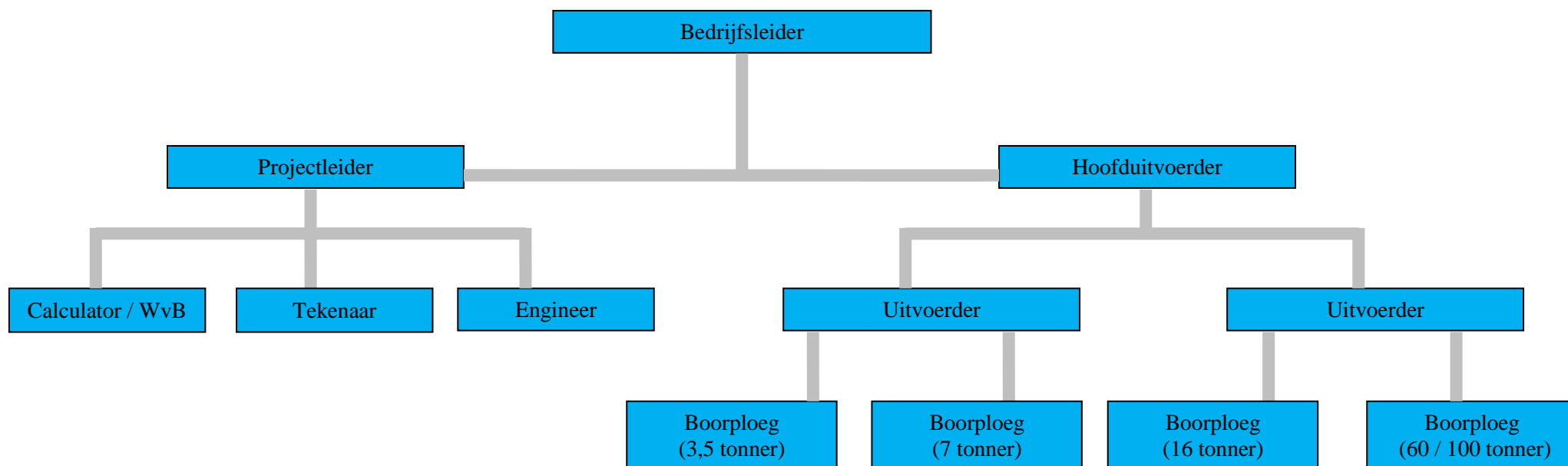
##### **Boring: HDD-boring nr. A en boring nr. B.**

Inrichten werkterrein	
Aanvoer en mobilisatie	1,0 dag
Pilotboring - Boring nr. A	1,0 dag
Ruimen- Boring nr. A	1,0 dag
Intrekken - Boring nr. A	1,0 dag
Omzetten boorstelling	1,0 dag
Pilotboring - Boring nr. B	1,0 dag
Ruimen- Boring nr. B	1,0 dag
Intrekken - Boring nr. B	1,0 dag
Demobiliseren en afvoeren	1,0 dag
Opruimen en herstellen werkterrein	

De startdatum van de werkzaamheden wordt bepaald in overleg met de opdrachtgever. Mogelijk wordt het intrekken van de mantelbuis in één aaneengesloten fase uitgevoerd. Hierdoor kan het voorkomen dat er volcontinu geboord moet worden totdat de boring gereed is.

---

### 3.2 Indicatieve personeelsbezetting boring



Bezetting afhankelijk van bedrijfsprofiel opdrachtnemer

### 3.3 Kwaliteit en keuring van bouwmaterialen

Alle te gebruiken materialen en grondstoffen zullen minimaal voldoen aan de hiervoor in Nederland geldende kwaliteitsnormen.

#### 3.3.1 Buizen

##### HDPE buis

De in te trekken HDPE buizen worden door de aannemer te beschikking gesteld en op het werk geleverd.

#### 3.3.2 Boorvloeistof

De boorvloeistof kan samengesteld worden uit met water vermengde bentoniet. Indien nodig wordt bekeken of de samenstelling van de boorspoeling verder aangepast dient te worden aan de lokale bodemopbouw. Uitgangspunt daarbij is dat een boorspoeling wordt verkregen die voldoende steun geeft aan het boorgat in de plaatselijke ondergrond.

De gemiddelde samenstelling van de boorspoeling bedraagt 30-50 kg bentoniet per 1.000 liter water. Het soortelijke gewicht van de boorspoeling bedraagt circa 1.200 kg/m<sup>3</sup> afhankelijk van de omstandigheden. Een certificaat van een mogelijk product is in bijlage 5 opgenomen.

#### 3.3.3 Debieten

Op basis van de te verwachten samenstelling van de grondgesteldheid, zijn voor de verschillende boorfases de volgende debieten berekend:

Pilotfase:	10 à 30 l/min
Intrekken:	40 à 80 l/min

Om ongewenste muduitbraken te voorkomen dient de maximaal toelaatbare muddruk niet door de minimaal benodigde muddruk te worden overschreden. De volledige berekening van de muddruk is te vinden in bijlage 3.

In de meeste gevallen is de muddruk tijdens Pilotfase maatgevend omdat tijdens deze fase de afstroming van de vrijkomende boorspoeling slechts aan één zijde mogelijk is. Dit doet zich hoofdzakelijk voor bij het uittredepunt van de boring en in mindere mate aan het beging. Door bij het naderen van het uittredepunt de voortgangssnelheid, het debiet en de druk in dat gebied te verlagen is de kans op een zogenaamde Blow-Out nihil.

---

### 3.3.4 Samenstellen en intrekken van de HDPE leiding

Het samenstellen van de leiding gebeurt met hydraulische kranen en gekwalificeerd personeel. Het samenstellen van de mantelbuizen zal geschieden op het land. De exacte locatie wordt nader bepaald. De HDPE leiding zal vanaf het maaiveld worden ingetrokken. De in te trekken HDPE buis zal mogelijk uit verschillende lengten bestaan en zal vooraf door middel van spiegellassen samengesteld worden aan uittrede kant. De lasser en apparatuur zal RTD gekwalificeerd zijn.

Buizen tot de diameter  $\emptyset$  200 kunnen worden geleverd uit één stuk (afhankelijk van de totaallengte van de mantelbuis). Er worden dus geen spiegellassen aangebracht en de buis kan rechtstreek vanaf de haspel worden ingetrokken.

### 3.4 In te zetten boormaterieel (voorbeeld)



Figuur 1: 100 tons boorinstallatie

#### **(minimaal) In te zetten boorinstallatie m.b.t. tot de uit te voeren boring**

De HDD boring, zoals beschreven in dit boorplan, zal worden uitgevoerd met behulp van een maxi rig met een trekkracht van minimaal 60 ton, zie bijlage 3 voor de volledige berekening van de trekkracht. De boring wordt bijvoorbeeld uitgevoerd met behulp van een gyroscoopmeetsysteem.

De op de afbeelding weergegeven boorinstallatie is ter indicatie. De aannemer bepaalt welk boormaterieel er ingezet wordt voor de uitvoering van deze boring. Voorbeelden van technische gegevens van mogelijk boormaterieel, zijn terug te vinden in bijlage 5.

---



### 3.5 Boortechnische wijze van uitvoering

#### 3.5.1 Werkterrein

Indien nodig wordt er voordat het boormaterieel wordt aangevoerd een zandbaan en/of rijplatenbaan en werkterrein aangelegd.

##### Intredelocatie:

De intredelocatie van de boring is gelegen aan de IJsselmeerkant ten westen van de Kornwerder sluisen, zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** De locatie wordt, indien noodzakelijk, voorzien van een zandbaan en / of platenbaan. De benodigde oppervlakte bedraagt ca 600m<sup>2</sup>.

Op de intredelocatie zal het volgende materieel worden ingezet.

- Boorrig 60 ton (incl. boorstangen en werkplaatscontainer);
- Bentonietpomp 2.500 ltr;
- Mixinstallatie 2.500 ltr;
- Recyclinginstallatie 3.200 ltr incl. voorraadtank
- 4 stuks Wavo pompen;
- Stroomaggregaat;
- Schaftkeet;
- graafmachine.

Plaatsing van apparatuur wordt aangepast aan de plaatselijke omstandigheden. De bovenstaande weergave is een voorbeeld. De booraannemer bepaalt de inzet van het benodigde materieel en materiaal. Hiernaast dient de aannemer zorg te dragen voor de benodigde verkeersvoorzieningen.

De maximale berekende trekkracht is circa 44 ton (43.564). De volledige berekening van de trekkracht is te vinden in bijlage 3. Het is aan booraannemer om zijn boorequipment hierop aan te passen.

Ter plaatse van het intredepunt wordt een put van circa 2 m<sup>2</sup> gegraven om de uitkomende boorspoeling op te vangen. Ter plaats van het intrede punt wordt ook de boorspoeling aangemaakt. Indien hier geen water voorhanden is wordt er voor het aanmaken van de boorspoeling water aangevoerd. De vrijkomende spoeling wordt gerecycled. Na het maken van beide boringen wordt de voerbodige boorspoeling afgevoerd door zuigwagens naar een geschikte stortplaats.

##### Uittredelocatie:

Bij het uittredepunt, welke is gelegen ten noorden van de Rijksweg A7 (nabij km 96,0), zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**, kan worden volstaan met een werkterrein van ca. 100 m<sup>2</sup>. Dit is exclusief de benodigde werkstrook voor het uitleggen en samenstellen van de in te brengen boorstreng. De uittredelocatie wordt ingericht met onder andere boorpijpen en eventueel een graafmachine. Ook hier kunnen de werkterreinen waar nodig worden voorzien van een zand- en platenbaan.

---

### 3.5.2 Werkwijze Gestuurde Boringen

- Aan- en afvoer via normaal wegtransport, truck met dieplader voor boor rig (het een en ander afhankelijk van het in te zetten materieel).
- Inrichten in- en uittredezijde boring met rijplaten en eventueel bouwhekken;
- Lokaliseren ligging kabels en leidingen;
- Graven intrede- en uittredeput voor boring (ca. 2 m<sup>3</sup>);
- Mobilisatie boorinstallatie met toebehoren op rig-site;
- Mixen bentonietspoeling;
- Globale samenstelling 30 - 50 kg bentoniet / 1 m<sup>3</sup> water;
- Mits dit nodig is, kunnen er eventueel polymeren toegepast worden;
- Water voor spoelingsamenstelling zal in de omgeving worden verkregen (of worden aangevoerd);
- Maken pilotboring;
- Ruimen van het boorgat;
- Intrekken mantelbuizen;
- Leegzuigen van de boorgaten d.m.v. vloeistofdichte zuigwagens;
- Demobilisatie van de boorinstallatie en afvoer van het materieel. Werkwijze omgekeerd identiek als bij aanvoer en opbouw;
- Opruimen en herstellen werkterrein rondom in- en uittredeput inclusief toegangsweg.

### 3.5.3 Kwaliteitsregistratie

Tijdens de pilotboringen, het ruimen van de boorgaten en het intrekken van de buizen worden een aantal gegevens zoals torque, mudflow, trekkracht door middel van meters op de rig weergegeven. De gegevens worden bijgehouden op een registratieformulier muddrukken. Eventueel vindt registratie van locatie en hoogteligging in RD – coördinaten t.o.v. NAP plaats.

Als er met een walkovermeetsysteem gewerkt wordt, worden de meetgegevens van de survey met de hand bijgehouden, als er met een gyroscoopmeetsysteem geboord wordt gebeurt dit automatisch. Aan de hand van deze gegevens en van de veldmetingen wordt de revisie gemaakt. De revisie zal worden ingetekend op het tracé en detail tekeningen van het omvattende werk welk wordt verzorgd door aannemer. Alle geregistreerde gegevens worden door de booraannemer gearchiveerd. Hiernaast zal er tijdens de aanleg toezicht zijn vanuit de opdrachtgever.

---

### **3.6 Bestaande kabels en leidingen**

Voor uitvoering wordt door aannemer een KLIC melding gedaan, om de ligging van de bestaande ondergrondse infrastructuur in kaart te brengen. Tevens zal indien nodig met de betreffende leidingbeheerders contact worden opgenomen. Voor aanvang van de boring worden er proefsleuven gemaakt nabij het begin en einde van de boringen. Aan de hand van deze proefsleuven worden vervolgens de in- en uittredeputten gegraven.

In het dwarsprofiel van de boring, zoals weergegeven op tekeningen nr. 482.15.2.039-103\_R0, zijn de bestaande kabels en leidingen weergegeven. De KLIC melding zal tijdens de uitvoering op het werkzaamheidsplan aanwezig zijn.

### **3.7 Overlegstructuur, procesbeheersing, procedures**

Voor dit project wordt een V&G – (deel)plan opgesteld welke tijdens uitvoering op het werk aanwezig zal zijn. Het V&G plan wordt 3 maanden voorafgaand aan de uitvoering van de werkzaamheden ingediend.

## 4 BEREKENINGEN VOOR DE BORINGEN

Voor uitvoering van de boringen kunnen diverse berekeningen uitgevoerd worden met betrekking tot treksterkte van de buizen en de muddrukken. Deze berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650 / 3651.

### 4.1 Uitgangspunten

#### Materiaal en buis gegevens

Voor de horizontaal gestuurde boring zijn de volgende materiaal en mantelbuizen gehanteerd:

#### **Boring nr. A 250 (HDPE) – tekening nr. 482.15.2.039-103**

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-11
Aantal buizen	:	3 st
Uitwendige diameter	:	250 mm
Wanddikte	:	22,8 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm <sup>2</sup>
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 <sup>-5</sup> (mm/mm) K <sup>1</sup>
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm <sup>2</sup>
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm <sup>2</sup>
Lengte boring	:	170,46 m
Diepte boring	:	circa 7,15 m - t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	16 °
Uittredehoek boring	:	17 °
Bochtstraal neergaande bocht	:	150 m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150 m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150 m

#### **Boring nr. A (110 HDPE) – tekening nr. 482.15.2.039-103**

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-11
Aantal buizen	:	1 st
Uitwendige diameter	:	110 mm
Wanddikte	:	10,0 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm <sup>2</sup>
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 <sup>-5</sup> (mm/mm) K <sup>1</sup>
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm <sup>2</sup>
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm <sup>2</sup>

Lengte boring	:	170,46	m
Diepte boring	:	circa 7,15 m	- t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	16	°
Uittredehoek boring	:	17	°
Bochtstraal neergaande bocht	:	150	m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150	m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150	m

**Boring nr. B (250 HDPE) – tekening nr. 482.15.2.039-103**

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-11
Aantal buizen	:	3 st
Uitwendige diameter	:	250 mm
Wanddikte	:	22,8 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm <sup>2</sup>
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 <sup>-5</sup> (mm/mm) K <sup>1</sup>
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm <sup>2</sup>
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm <sup>2</sup>

Lengte boring	:	208,33	m
Diepte boring	:	circa 7,16 m	- t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	16	°
Uittredehoek boring	:	17	°
Bochtstraal neergaande bocht	:	150	m
Bochtstraal opgaande bocht	:	150	m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150	m

**Boring nr. B (110 HDPE) – tekening nr. 482.15.2.039-103**

Materiaal	:	HDPE PE 100 SDR-11
Aantal buizen	:	1 st
Uitwendige diameter	:	110 mm
Wanddikte	:	10,0 mm
Korte duur Elasticiteitsmodulus	:	975 N/mm <sup>2</sup>
Lange duur Elasticiteitsmodulus	:	350 N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	16×10 <sup>-5</sup> (mm/mm) K <sup>1</sup>
Axiale verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Tangentiele verhouding zuivere trek/buigtrek	:	0,65 -
Toelaatbare korte duur spanning	:	10,0 N/mm <sup>2</sup>
Toelaatbare lange duur spanning	:	8,0 N/mm <sup>2</sup>

Lengte boring	:	208,33	m
Diepte boring	:	circa 7,16 m	- t.o.v. maaiveld
Intrede hoek boring	:	16	°
Uittredehoek boring	:	17	°
Bochtstraal neergaande bocht	:	150	m

Bochtstraal opgaande bocht	:	150	m
Kromtestraal op de rollenbaan/maaiveld	:	150	m

#### 4.1.1 Grondgegevens

Het onderzoek bestaat uit sondering inclusief elektrische kleef en grondgegevens conform NEN 5140. De resultaten van het onderzoek zijn opgenomen in Bijlage 3 van dit rapport en op de boortekening.

De onzekerheidsfactoren voor de grondmechanische parameters zijn in deze parameters nog niet verwerkt, deze worden separaat in de berekening meegenomen, overeenkomstig Tabel B.2 "Partiële onzekerheidsfactoren in verband met modelonzekerheidtabel" van de NEN 3650.

#### 4.1.2 Belastingen

In de sterkteberekening zijn de volgende belastingen meegenomen.

##### *Eigengewicht, excl. inhoud $Q_{eg}$*

Het eigengewicht van de lege buis is in de berekening als gewichtsbelasting opgenomen, met inachtneming van de grondwaterstand.

##### *Grondbelasting $Q$*

De grondbelasting wordt berekend conform de formules zoals opgegeven in de NEN 3650.

##### *Verkeersbelasting $Q_v$*

Voor de buis is de verkeersbelasting overeenkomend, volgens de VOSB, aangehouden.

---

## 4.2 Berekeningen

Voor de sterkteberekening van de horizontaal gestuurde boring wordt onderscheid gemaakt in de volgende fases:

§ 4.2.1: De buis op rollenbaan

§ 4.2.2: De buis het boorgat intrekken

§ 4.2.3: De 'bedrijfstoestand' van de buis

In §4.2.4 en 4.2.5 is respectievelijk de berekening van de deflectie en de muddruk opgenomen.

### 4.2.1 De mantelbuis op rollenbaan

Voor de berekening van de spanningen in de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, op de rollenbaan wordt verwezen naar pagina 5 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

De omtreksspanning  $S_x$  is nihil en wordt bij het intrekken niet in ogenschouw genomen.

#### ***Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. A – 110 HDPE.***

De maximaal berekende langsspanning  $S$  bedraagt  $1,13 \text{ N/mm}^2$ , deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

#### ***Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. A – 250 HDPE.***

De maximaal berekende langsspanning  $S$  bedraagt  $1,46 \text{ N/mm}^2$ , deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

#### ***Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. B – 110 HDPE.***

De maximaal berekende langsspanning  $S$  bedraagt  $1,33 \text{ N/mm}^2$ , deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

#### ***Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. B – 250 HDPE.***

De maximaal berekende langsspanning  $S$  bedraagt  $1,66 \text{ N/mm}^2$ , deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de kromtestraal op de rollenbaan en de wrijving tussen de buis en het maaiveld.

### 4.2.2 De mantelbuis het boorgat intrekken

Voor de berekening van de spanningen in de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, tijdens het intrekken van deze buis in het boorgat wordt verwezen naar pagina 8 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

De omtreksspanning  $S_x$  is nihil en wordt bij het intrekken niet in ogenschouw genomen.

#### ***Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. A – 110 HDPE.***

De maximaal berekende langsspanning  $S_y$  bedraagt  $3,73 \text{ N/mm}^2$ , deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

---

***Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. A – 250 HDPE.***

De maximaal berekende langsspanning  $S_y$  bedraagt  $3,47 \text{ N/mm}^2$ , deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

***Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. B – 110 HDPE.***

De maximaal berekende langsspanning  $S_y$  bedraagt  $4,46 \text{ N/mm}^2$ , deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

***Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. B – 250 HDPE.***

De maximaal berekende langsspanning  $S_y$  bedraagt  $4,01 \text{ N/mm}^2$ , deze wordt voornamelijk veroorzaakt door de combinatie van de trekkracht voor het intrekken en spanningen t.g.v. de kromtestralen in de boring.

#### **4.2.3 De 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis**

In de 'bedrijfstoestand' van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, zijn op vijf maatgevende doorsneden de spanningen in de buis berekend, zoals weergegeven op de tekening met de letters A t/m E.

Voor de berekeningen van de spanningen in de buis in bedrijfstoestand wordt verwezen naar pagina's 10 & 11 van de sterkteberekeningen, opgenomen in Bijlage 3.

#### **4.2.4 Deflectie berekening**

De deflectie van de buis is berekend op de vijf aangegeven doorsneden, zoals weer gegeven op tekening nr. 482.15.2.039-103 opgenomen in Bijlage 3.

***Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. A – 110 HDPE.***

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt  $2,58 \text{ mm}$ , zie pagina 12 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

***Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. A – 250 HDPE.***

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt  $5,80 \text{ mm}$ , zie pagina 12 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

***Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. B – 110 HDPE.***

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt  $2,58 \text{ mm}$ , zie pagina 12 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

***Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. B – 250 HDPE.***

De maximaal berekende deflectie van de mantelbuis, t.b.v. de windparkbekabeling, bedraagt  $5,81 \text{ mm}$ , zie pagina 12 van de sterkteberekening in Bijlage 3.

---



#### 4.2.5 Boorspoel berekening

Op de markante doorsneden A t/m E, zijn de boorspoeldruk berekeningen uitgevoerd. De resultaten zijn opgenomen in genoemd op pagina 13 en 14 van de berekeningen in Bijlage 3.

Tevens is een aanvullende boorspoeldrukberekening bijgevoegd in Bijlage 3.

#### 4.3 Conclusies

Op basis van de tekening, het grondmechanisch onderzoek en de beschreven uitgangspunten in dit rapport zijn de horizontaal gestuurde boringen berekend overeenkomstig de NEN 3650 en NEN 3651.

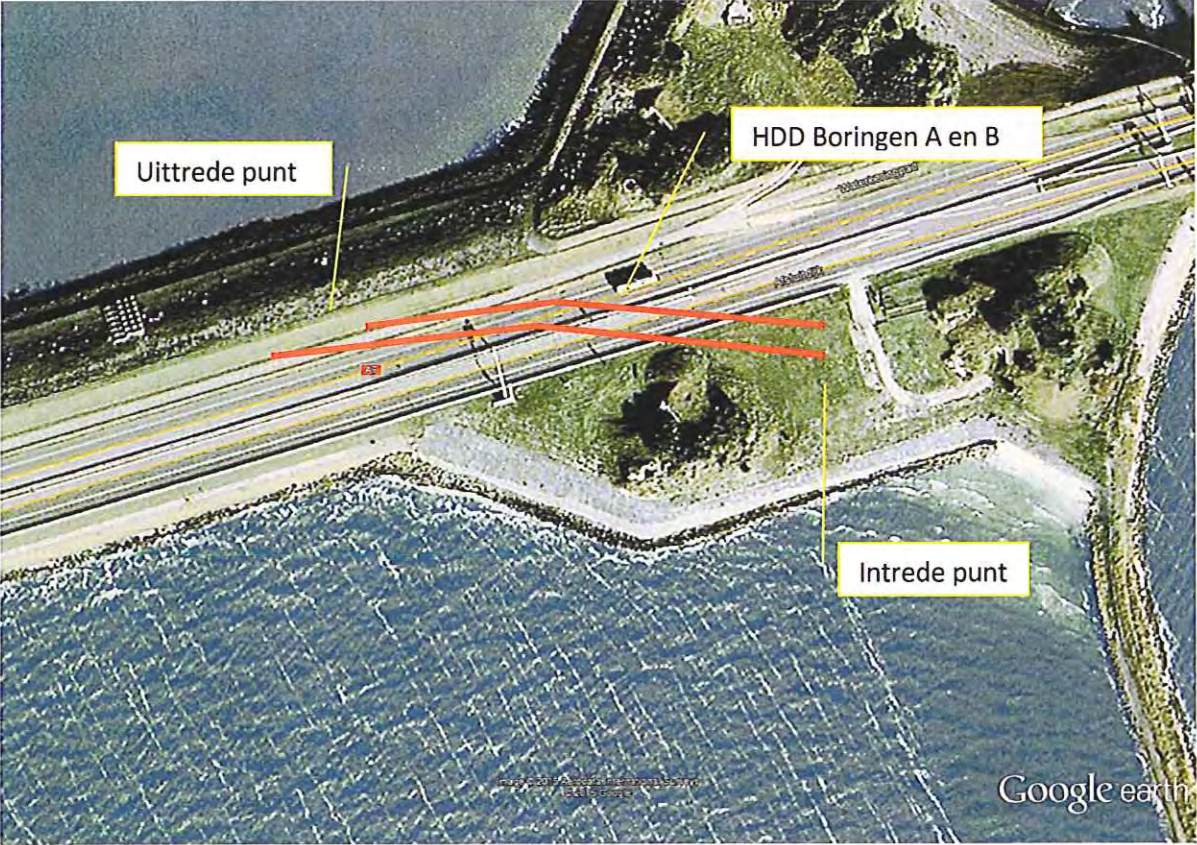
- **Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. A – 110 HDPE.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ( $S_x = 6,04 \text{ N/mm}^2$ ) en de maximaal berekende langsspanning ( $S_y = 0,36 \text{ N/mm}^2$ ) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ( $St = 8 \text{ N/mm}^2$ ).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 2,58 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 8,00 mm.
  
- **Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. A – 250 HDPE.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ( $S_x = 6,17 \text{ N/mm}^2$ ) en de maximaal berekende langsspanning ( $S_y = 0,82 \text{ N/mm}^2$ ) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ( $St = 8 \text{ N/mm}^2$ ).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 5,80 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 18,18 mm.
  
- **Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. B – 110 HDPE.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ( $S_x = 6,04 \text{ N/mm}^2$ ) en de maximaal berekende langsspanning ( $S_y = 0,36 \text{ N/mm}^2$ ) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ( $St = 8 \text{ N/mm}^2$ ).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 2,58 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 8,00 mm.
  
- **Boring tekening nr. 482.14.2.039-103 boring nr. B – 250 HDPE.**
- De maximaal berekende omtreksspanning ( $S_x = 6,18 \text{ N/mm}^2$ ) en de maximaal berekende langsspanning ( $S_y = 0,82 \text{ N/mm}^2$ ) zijn kleiner dan de toelaatbare spanningen ( $St = 8 \text{ N/mm}^2$ ).
- De maximaal berekende deflectie bedraagt 5,81 mm, deze is kleiner dan de toelaatbare 18,18 mm.

Uit de berekeningen volgt dat het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen uit de betreffende normen.

---

## Bijlage 1: Tekening

## Bijlage 2: Luchtfoto



### **Bijlage 3: Grondonderzoek, sterkte- en muddrukberendingen**

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Kornwerderzand - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-103 Boring A - 110 HDPE			
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t = 8,00$		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E = 975		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E' = 350		N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m <sup>3</sup>
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	$D_e = 110,00$		mm
Wanddikte	$d_n = 10$		mm
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)			= Drukloos
<b>Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren</b>			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 80	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaid t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaid t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 760$		mm
Diameter boorstang	$D_b = 101$		mm
Totale lengte	L = 170,47		m
Lengte 1e rechte deel	$L_1 = 4,48$		m
Lengte neergaande bocht	$L_2 = 39,27$		m
Lengte 2e rechte deel	$L_3 = 78,52$		m
Lengte opgaande bocht	$L_4 = 44,51$		m
Lengte 3e rechte deel	$L_5 = 3,69$		m
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r = 150,00$		m
Straal neergaande bocht	$R_1 = 150,00$		m
Straal opgaande bocht	$R_2 = 150,00$		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 16,00 / 28,67$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 17,00 / 30,57$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
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 <sup>2</sup>
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
		26-08-2015 16:03:16	

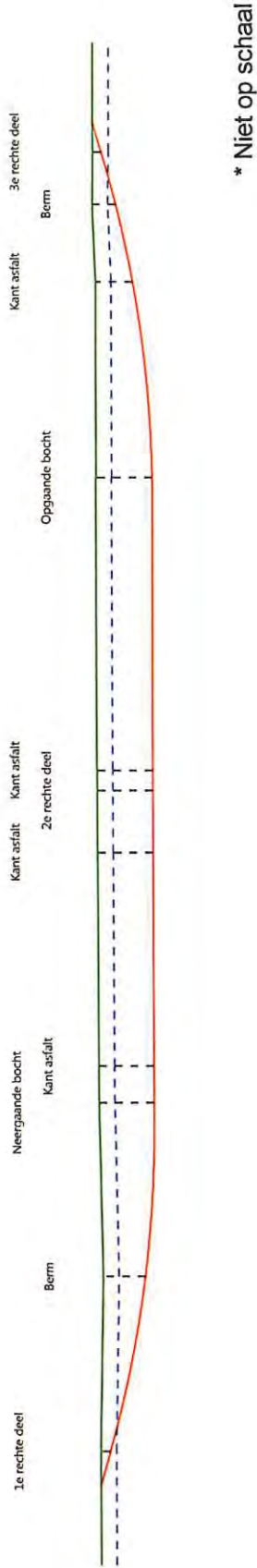
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2012 3.0 ©

**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 <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Wrijvings- hoek grond [°]
1e rechte deel	4,48	1,21	-	Klei	17,00	-	17,50
Berm	25,25	5,34	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Neergaande bocht	46,37	6,99	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	50,95	7,01	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	77,86	7,06	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
2e rechte deel	85,63	7,07	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	88,15	7,08	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Opgaande bocht	124,89	7,15	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	149,72	4,72	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Berm	159,71	3,00	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
3e rechte deel	166,54	1,08	-	Klei	17,00	-	17,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm <sup>2</sup> ]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	0,0580	0,00	75,00	Grafiek I
Neergaande bocht	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0620	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	0,0620	0,00	75,00	Grafiek I
Berm	Geen	0,0580	0,00	75,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I



\* Niet op schaal



**2. 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 <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 3.141,59	mm <sup>2</sup>
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0300	N/mm <sup>1</sup>

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

**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	170,47	<b>2.762</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	166,78	<b>2.702</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	122,27	<b>1.981</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	43,75	<b>709</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	4,48	<b>73</b>

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,3$$

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

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_1$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	2.762	<b>0,88</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	2.702	<b>0,86</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	1.981	<b>0,63</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	709	<b>0,23</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	73	<b>0,02</b>

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

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{150.000} = 28.358,76 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{28.358,76}{72.114} = 0,39 \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	0,88	<b>1,13</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	0,86	<b>1,12</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	0,63	<b>0,89</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	0,23	<b>0,48</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	0,02	<b>0,28</b>

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,39 + \sigma_t$$

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

**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. 80% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 276,46 \text{ mm}^1$

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

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

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]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	3,69	<b>197</b>	-
2 <sup>e</sup> deel intrekken	48,20	-	<b>2.575</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	126,72	<b>6.770</b>	-
4 <sup>e</sup> deel intrekken	165,99	-	<b>8.868</b>
Geheel ingetrokken	170,47	<b>9.107</b>	-

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (276,46 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (276,46 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

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

Locatie	$\lambda$ [mm <sup>-1</sup> ]	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{3b}$ [N]
Berm	0,0045	150	0,0017	<b>94</b>
Opgaande bocht	0,0046	150	0,0018	<b>96</b>
Kant asfalt	0,0046	150	0,0018	<b>96</b>
Berm	0,0045	150	0,0017	<b>94</b>
3e rechte deel	0,0031	150	0,00081	<b>65</b>

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

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

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

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

Trekkraft $T_{\text{bocht}}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{\text{bocht}}$ [N]
Neergaande bocht	1.981	2.575	94	-	<b>4.650</b>
Opgaande bocht	73	8.868	94	96	<b>9.130</b>

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]	$\alpha$ [°]	$T_{\text{bocht}}$ [N]	$T_{3c}$ [N]
Neergaande bocht	8,00	4.650	<b>466</b>
Opgaande bocht	8,50	9.130	<b>915</b>

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

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

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

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

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft $T_{\text{tot}}$ 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]	$T_{\text{tot}}$ [N]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	2.702	197	-	-	-	-	<b>2.899</b>
2 <sup>e</sup> deel intrekken	1.981	2.575	94	466	-	-	<b>5.116</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	709	6.770	94	466	-	-	<b>8.039</b>
4 <sup>e</sup> deel intrekken	73	8.868	94	466	96	915	<b>10.568</b>
Geheel intrekken	0	9.107	94	466	96	915	<b>10.734</b>

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

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

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{\text{tot}}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	2.899	<b>0,92</b>
2 <sup>e</sup> deel intrekken	5.116	<b>1,63</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	8.039	<b>2,56</b>
4 <sup>e</sup> deel intrekken	10.568	<b>3,36</b>
Geheel intrekken	10.734	<b>3,42</b>

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

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

5.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 150.000} = 40.103,30 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{40.103,30}{72.113,83} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 150.000} = 40.103,30 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{40.103,30}{72.113,83} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	2.899	0,92	-	<b>0,92</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	5.116	1,63	0,56	<b>1,99</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	8.039	2,56	-	<b>2,56</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	10.568	3,36	0,56	<b>3,73</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	10.734	3,42	-	<b>3,42</b>

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

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

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

**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase**
**6.1 Berekening van de spanningen  $\sigma_p$  en  $\sigma_{pi}$  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 <sup>2</sup> ]	$q_{nat}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{totaal}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	1,21	-	Klei	-	-	22,63	2,49
Berm	5,34	2,00	Zand	39,60	73,48	113,08	8,76
Neergaande bocht	6,99	2,00	Zand	39,60	109,78	149,38	10,94
Kant asfalt	7,01	2,00	Zand	39,60	110,22	149,82	10,97
Kant asfalt	7,06	2,00	Zand	39,60	111,32	150,92	11,04
2e rechte deel	7,07	2,00	Zand	39,60	111,54	151,14	11,05
Kant asfalt	7,08	2,00	Zand	39,60	111,76	151,36	11,06
Opgaande bocht	7,15	2,00	Zand	39,60	113,30	152,90	11,15
Kant asfalt	4,72	2,00	Zand	39,60	59,84	99,44	7,95
Berm	3,00	2,00	Zand	39,60	22,00	61,60	5,68
3e rechte deel	1,08	-	Klei	-	-	20,20	2,22

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

**6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$** 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	1,21	Grafiek I	42,72	4,70
Berm	5,34	Grafiek I	9,49	1,04
Neergaande bocht	6,99	Grafiek I	6,93	0,76
Kant asfalt	7,01	Grafiek I	6,90	0,76
Kant asfalt	7,06	Grafiek I	6,84	0,75
2e rechte deel	7,07	Grafiek I	6,83	0,75
Kant asfalt	7,08	Grafiek I	6,82	0,75
Opgaande bocht	7,15	Grafiek I	6,73	0,74
Kant asfalt	4,72	Grafiek I	10,84	1,19
Berm	3,00	Grafiek I	16,99	1,87
3e rechte deel	1,08	Grafiek I	49,11	5,40

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

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$M_q$ [Nmm]	$\sigma_q$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	2,49	4,70	7,19	92,37	<b>5,54</b>
Berm	8,76	1,04	9,81	126,05	<b>7,56</b>
Neergaande bocht	10,94	0,76	11,70	150,41	<b>9,02</b>
Kant asfalt	10,97	0,76	11,73	150,71	<b>9,04</b>
Kant asfalt	11,04	0,75	11,79	151,47	<b>9,09</b>
2e rechte deel	11,05	0,75	11,80	151,63	<b>9,10</b>
Kant asfalt	11,06	0,75	11,81	151,78	<b>9,11</b>
Opgaande bocht	11,15	0,74	11,89	152,85	<b>9,17</b>
Kant asfalt	7,95	1,19	9,14	117,43	<b>7,05</b>
Berm	5,68	1,87	7,55	96,96	<b>5,82</b>
3e rechte deel	2,22	5,40	7,62	97,97	<b>5,88</b>

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

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

6.6 Optredende spanning  $\sigma_{qr}$  t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Berm	150	0,0017	0,11
Opgaande bocht	150	0,0018	0,11
Kant asfalt	150	0,0018	0,11
Berm	150	0,0017	0,11
3e rechte deel	150	0,00081	0,052

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

6.7 Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

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

7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m<sup>2</sup>**

**8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

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

 Veiligheidsfactor  $\gamma$  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

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

Locatie	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	5,54	-	0,65	<b>3,60</b>
Berm	7,56	0,11	0,65	<b>4,99</b>
Neergaande bocht	9,02	-	0,65	<b>5,87</b>
Kant asfalt	9,04	-	0,65	<b>5,88</b>
Kant asfalt	9,09	-	0,65	<b>5,91</b>
2e rechte deel	9,10	-	0,65	<b>5,91</b>
Kant asfalt	9,11	-	0,65	<b>5,92</b>
Opgaande bocht	9,17	0,11	0,65	<b>6,04</b>
Kant asfalt	7,05	0,11	0,65	<b>4,65</b>
Berm	5,82	0,11	0,65	<b>3,85</b>
3e rechte deel	5,88	0,052	0,65	<b>3,85</b>

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

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

 Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$ 
*9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding*

Locatie	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Berm	0,00	0,56	0,65	<b>0,36</b>
Neergaande bocht	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Kant asfalt	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Kant asfalt	0,00	-	-	<b>0,00</b>
2e rechte deel	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Kant asfalt	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Opgaande bocht	0,00	0,56	0,65	<b>0,36</b>
Kant asfalt	0,00	0,56	0,65	<b>0,36</b>
Berm	0,00	0,56	0,65	<b>0,36</b>
3e rechte deel	0,00	0,56	0,65	<b>0,36</b>

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

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

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



**10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

Locatie	Q <sub>n</sub> [N/mm <sup>1</sup> ]	Q <sub>v</sub> [N/mm <sup>1</sup> ]	Q <sub>r</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	δ <sub>Y</sub> [mm]	δ <sub>Y</sub> /D <sub>g</sub> [%]
1e rechte deel	2,49	4,70	-	<b>0,95</b>	0,95
Berm	8,76	1,04	0,0017	<b>2,13</b>	2,13
Neergaande bocht	10,94	0,76	-	<b>2,54</b>	2,54
Kant asfalt	10,97	0,76	-	<b>2,54</b>	2,54
Kant asfalt	11,04	0,75	-	<b>2,56</b>	2,56
2e rechte deel	11,05	0,75	-	<b>2,56</b>	2,56
Kant asfalt	11,06	0,75	-	<b>2,56</b>	2,56
Opgaande bocht	11,15	0,74	0,0018	<b>2,58</b>	2,58
Kant asfalt	7,95	1,19	0,0018	<b>1,98</b>	1,98
Berm	5,68	1,87	0,0017	<b>1,64</b>	1,64
3e rechte deel	2,22	5,40	0,00081	<b>1,01</b>	1,01

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 100,00 = **8,00 mm**

**11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase**

Locatie	H [m]	$\sigma_{vert}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{hor}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_f'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	G [MN/m <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	1,21	18,70	13,08	15,89	22,57	0,71
Berm	5,34	60,05	27,79	43,92	67,52	28,85
Neergaande bocht	6,99	73,55	34,03	53,79	82,70	28,85
Kant asfalt	7,01	73,72	34,11	53,91	82,88	28,85
Kant asfalt	7,06	74,13	34,30	54,21	83,34	28,85
2e rechte deel	7,07	74,21	34,34	54,27	83,43	28,85
Kant asfalt	7,08	74,29	34,37	54,33	83,53	28,85
Opgaande bocht	7,15	74,86	34,64	54,75	84,17	28,85
Kant asfalt	4,72	54,98	25,44	40,21	61,82	28,85
Berm	3,00	40,91	18,93	29,92	45,99	28,85
3e rechte deel	1,08	16,69	11,67	14,18	20,35	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 <sup>2</sup> ]	$p_{st}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\Delta_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,0094	0,61	0,0000	0,0000	0,00	0,08
Berm	0,00082	2,67	0,0334	0,03768	0,00	0,84
Neergaande bocht	0,0010	3,50	0,0499	0,05629	0,00	0,97
Kant asfalt	0,0010	3,51	0,0501	0,05652	0,00	0,98
Kant asfalt	0,0010	3,53	0,0506	0,05708	0,01	0,98
2e rechte deel	0,0010	3,54	0,0507	0,05720	0,01	0,98
Kant asfalt	0,0010	3,54	0,0508	0,05731	0,01	0,98
Opgaande bocht	0,0010	3,58	0,0515	0,05810	0,01	0,99
Kant asfalt	0,00075	2,36	0,0272	0,03069	0,01	0,79
Berm	0,00056	1,50	0,0100	0,01128	0,01	0,64
3e rechte deel	0,0086	0,54	0,0000	0,0000	0,02	0,07

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

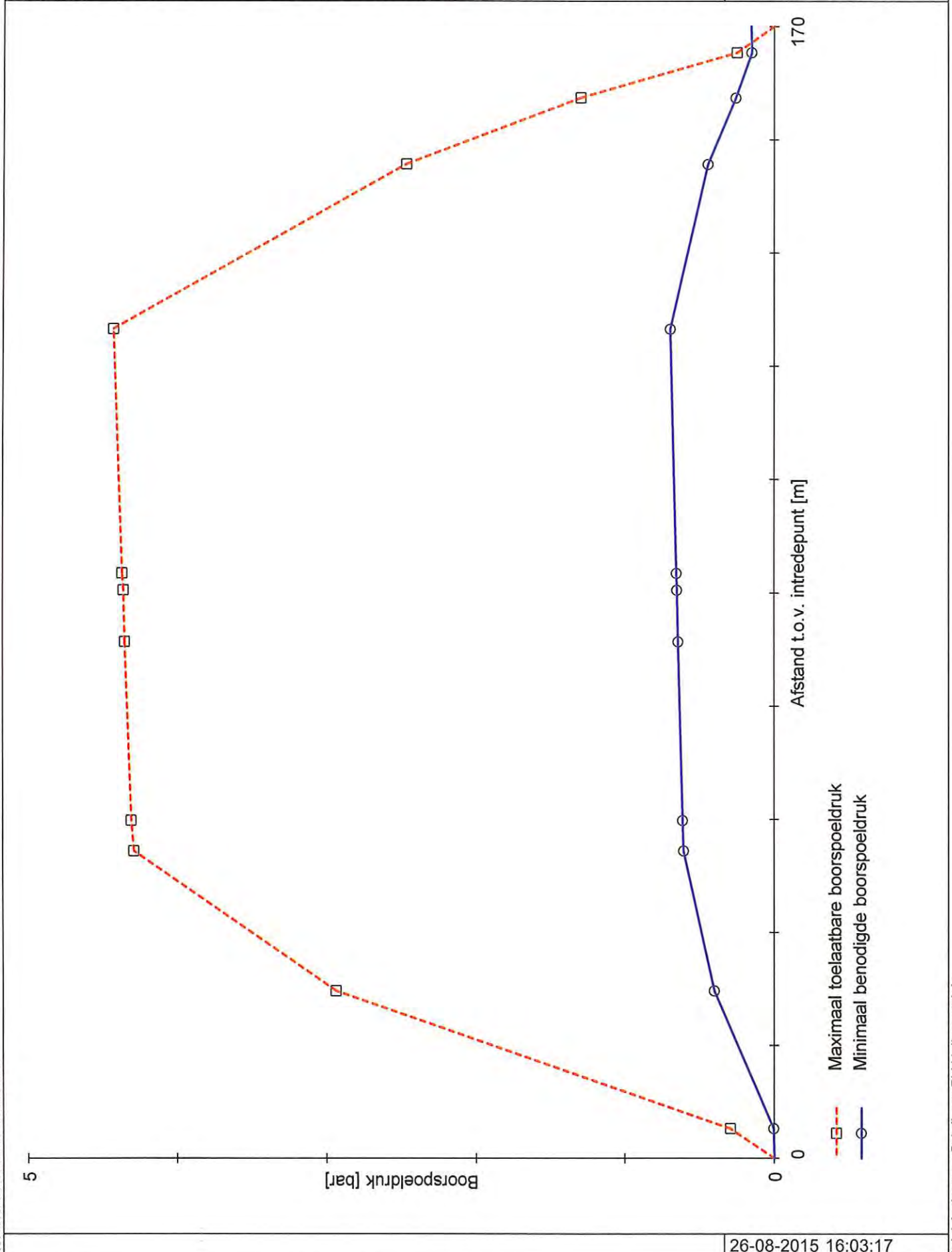
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

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

Locatie	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	90% $p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar]	90% $p_{lim}$ [bar]	$p_{min}$ [bar]
1e rechte deel	<b>0,03</b>	0,07	<b>0,00</b>	<b>0,29</b>	0,71	<b>0,00</b>
Berm	<b>0,29</b>	0,76	<b>0,04</b>	<b>2,94</b>	7,59	<b>0,40</b>
Neergaande bocht	<b>0,43</b>	0,88	<b>0,06</b>	<b>4,29</b>	8,77	<b>0,61</b>
Kant asfalt	<b>0,43</b>	0,88	<b>0,06</b>	<b>4,31</b>	8,78	<b>0,61</b>
Kant asfalt	<b>0,44</b>	0,88	<b>0,06</b>	<b>4,35</b>	8,81	<b>0,64</b>
2e rechte deel	<b>0,44</b>	0,88	<b>0,06</b>	<b>4,36</b>	8,82	<b>0,65</b>
Kant asfalt	<b>0,44</b>	0,88	<b>0,07</b>	<b>4,37</b>	8,83	<b>0,65</b>
Opgaande bocht	<b>0,44</b>	0,89	<b>0,07</b>	<b>4,43</b>	8,88	<b>0,69</b>
Kant asfalt	<b>0,25</b>	0,71	<b>0,04</b>	<b>2,47</b>	7,13	<b>0,44</b>
Berm	<b>0,13</b>	0,58	<b>0,03</b>	<b>1,30</b>	5,77	<b>0,26</b>
3e rechte deel	<b>0,02</b>	0,07	<b>0,02</b>	<b>0,25</b>	0,66	<b>0,15</b>

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

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



3.0.10.0/12-2012/10-10383702

26-08-2015 16:03:17

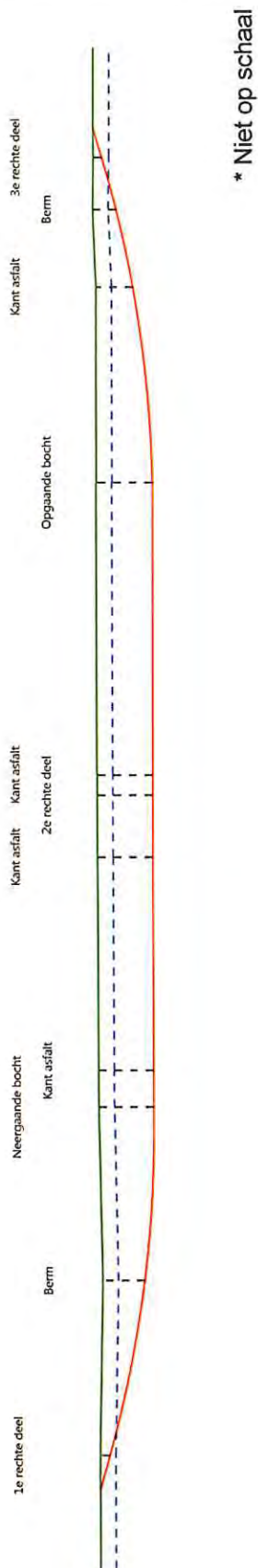
© Adviesbureau Schrijvers BV Hellevoetsluis

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Kornwerderzand - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-103 Boring A - 250 HDPE			
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t = 8,00$		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E = 975		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E' = 350		N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m <sup>3</sup>
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	$D_e = 250,00$		mm
Wanddikte	$d_n = 22,8$		mm
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)			= Drukloos
<b>Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren</b>			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 80	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 760$		mm
Diameter boorstang	$D_b = 101$		mm
Totale lengte	L = 170,47		m
Lengte 1e rechte deel	L <sub>1</sub> = 4,48		m
Lengte neergaande bocht	L <sub>2</sub> = 39,27		m
Lengte 2e rechte deel	L <sub>3</sub> = 78,52		m
Lengte opgaande bocht	L <sub>4</sub> = 44,51		m
Lengte 3e rechte deel	L <sub>5</sub> = 3,69		m
Straal maaiveld/rollenbaan	R <sub>r</sub> = 150,00		m
Straal neergaande bocht	R <sub>1</sub> = 150,00		m
Straal opgaande bocht	R <sub>2</sub> = 150,00		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 16,00 / 28,67$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 17,00 / 30,57$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
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 <sup>2</sup>
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
		26-08-2015 16:01:46	

**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 <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Wrijvings- hoek grond [°]
1e rechte deel	4,48	1,21	-	Klei	17,00	-	17,50
Berm	25,25	5,34	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Neergaande bocht	46,37	6,99	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	50,95	7,01	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	77,86	7,06	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
2e rechte deel	85,63	7,07	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	88,15	7,08	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Opgaande bocht	124,89	7,15	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	149,72	4,72	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Berm	159,71	3,00	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
3e rechte deel	166,54	1,08	-	Klei	17,00	-	17,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm <sup>2</sup> ]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	0,0580	0,00	75,00	Grafiek I
Neergaande bocht	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0620	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	0,0620	0,00	75,00	Grafiek I
Berm	Geen	0,0580	0,00	75,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I



**2. Eigenschappen van de leiding**

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 106.064.835,12	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 16.273,95	mm <sup>2</sup>
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1554	N/mm <sup>1</sup>

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

	<i>Leiding op rollenbaar/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$

**4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds**

*4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaar/maaiveld*

Trekkracht $T_1$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_1$ [N]
Starten met trekken	170,47	<b>14.307</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	166,78	<b>13.997</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	122,27	<b>10.261</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	43,75	<b>3.672</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	4,48	<b>376</b>

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,1554 \cdot 0,3$$

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

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_1$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	14.307	<b>0,88</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	13.997	<b>0,86</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	10.261	<b>0,63</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	3.672	<b>0,23</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	376	<b>0,02</b>

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$$



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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835}{150.000} = 758.363,57 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{758.363,57}{848.519} = \mathbf{0,89 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	0,88	<b>1,46</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	0,86	<b>1,44</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	0,63	<b>1,21</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	0,23	<b>0,81</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	0,02	<b>0,60</b>

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,89 + \sigma_t$$

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.

80% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 628,32 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,155 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 250,00^2 \cdot \pi/4 = 0,565 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,409 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_2$ [N]	$T_{3a}$ [N]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	3,69	<b>752</b>	-
2 <sup>e</sup> deel intrekken	48,20	-	<b>9.824</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	126,72	<b>25.828</b>	-
4 <sup>e</sup> deel intrekken	165,99	-	<b>33.832</b>
Geheel ingetrokken	170,47	<b>34.745</b>	-

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (628,32 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (628,32 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

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

Locatie	$\lambda$ [mm <sup>-1</sup> ]	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{3b}$ [N]
Berm	0,0024	150	0,0058	<b>1.358</b>
Opgaande bocht	0,0025	150	0,0060	<b>1.380</b>
Kant asfalt	0,0025	150	0,0060	<b>1.380</b>
Berm	0,0024	150	0,0058	<b>1.358</b>
3e rechte deel	0,0017	150	0,0028	<b>934</b>

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250,0 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

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

Trekkraft $T_{\text{bocht}}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{\text{bocht}}$ [N]
Neergaande bocht	10.261	9.824	1.358	-	<b>21.443</b>
Opgaande bocht	376	33.832	1.358	1.380	<b>36.946</b>

 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]	$\alpha$ [°]	$T_{\text{bocht}}$ [N]	$T_{3c}$ [N]
Neergaande bocht	8,00	21.443	<b>2.149</b>
Opgaande bocht	8,50	36.946	<b>3.702</b>

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

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

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

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

**5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II**

Trekkraft $T_{\text{tot}}$ 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]	$T_{\text{tot}}$ [N]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	13.997	752	-	-	-	-	<b>14.749</b>
2 <sup>e</sup> deel intrekken	10.261	9.824	1.358	2.149	-	-	<b>23.592</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	3.672	25.828	1.358	2.149	-	-	<b>33.006</b>
4 <sup>e</sup> deel intrekken	376	33.832	1.358	2.149	1.380	3.702	<b>43.027</b>
Geheel intrekken	0	34.745	1.358	2.149	1.380	3.702	<b>43.564</b>

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

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

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{\text{tot}}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	14.749	<b>0,91</b>
2 <sup>e</sup> deel intrekken	23.592	<b>1,45</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	33.006	<b>2,03</b>
4 <sup>e</sup> deel intrekken	43.027	<b>2,64</b>
Geheel intrekken	43.564	<b>2,68</b>

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{16.273,95}$$

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

5.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	14.749	0,91	-	<b>0,91</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	23.592	1,45	1,26	<b>2,27</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	33.006	2,03	-	<b>2,03</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	43.027	2,64	1,26	<b>3,47</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	43.564	2,68	-	<b>2,68</b>

Rechte delen:  $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$

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

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

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  $\sigma_p$  en  $\sigma_d$  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	$Q_{\text{droog}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_{\text{totaal}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	1,21	-	Klei	-	-	22,63	5,66
Berm	5,34	2,00	Zand	39,60	73,48	113,08	19,92
Neergaande bocht	6,99	2,00	Zand	39,60	109,78	149,38	24,87
Kant asfalt	7,01	2,00	Zand	39,60	110,22	149,82	24,93
Kant asfalt	7,06	2,00	Zand	39,60	111,32	150,92	25,08
2e rechte deel	7,07	2,00	Zand	39,60	111,54	151,14	25,11
Kant asfalt	7,08	2,00	Zand	39,60	111,76	151,36	25,14
Opgaande bocht	7,15	2,00	Zand	39,60	113,30	152,90	25,35
Kant asfalt	4,72	2,00	Zand	39,60	59,84	99,44	18,06
Berm	3,00	2,00	Zand	39,60	22,00	61,60	12,90
3e rechte deel	1,08	-	Klei	-	-	20,20	5,05

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

**6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$** 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	1,21	Grafiek I	42,49	10,62
Berm	5,34	Grafiek I	9,49	2,37
Neergaande bocht	6,99	Grafiek I	6,93	1,73
Kant asfalt	7,01	Grafiek I	6,90	1,73
Kant asfalt	7,06	Grafiek I	6,84	1,71
2e rechte deel	7,07	Grafiek I	6,83	1,71
Kant asfalt	7,08	Grafiek I	6,82	1,70
Opgaande bocht	7,15	Grafiek I	6,73	1,68
Kant asfalt	4,72	Grafiek I	10,83	2,71
Berm	3,00	Grafiek I	16,99	4,25
3e rechte deel	1,08	Grafiek I	48,76	12,19

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250,0$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$M_q$ [Nmm]	$\sigma_q$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	5,66	10,62	16,28	475,25	<b>5,49</b>
Berm	19,92	2,37	22,29	650,86	<b>7,51</b>
Neergaande bocht	24,87	1,73	26,60	776,65	<b>8,96</b>
Kant asfalt	24,93	1,73	26,66	778,22	<b>8,98</b>
Kant asfalt	25,08	1,71	26,79	782,16	<b>9,03</b>
2e rechte deel	25,11	1,71	26,82	782,94	<b>9,04</b>
Kant asfalt	25,14	1,70	26,84	783,73	<b>9,05</b>
Opgaande bocht	25,35	1,68	27,03	789,25	<b>9,11</b>
Kant asfalt	18,06	2,71	20,77	606,34	<b>7,00</b>
Berm	12,90	4,25	17,15	500,59	<b>5,78</b>
3e rechte deel	5,05	12,19	17,24	503,31	<b>5,81</b>

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

6.6 Optredende spanning  $\sigma_{qr}$  t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Berm	150	0,0058	0,38
Opgaande bocht	150	0,0060	0,39
Kant asfalt	150	0,0060	0,39
Berm	150	0,0058	0,38
3e rechte deel	150	0,0028	0,18

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 250,0 \cdot \frac{125,00}{86,64}$$

6.7 Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

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

7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m<sup>2</sup>**

**8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

 Conclusie: Kans op implosie bij **28,07** m grondwater boven de leiding

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

Locatie	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	5,49	-	0,65	<b>3,57</b>
Berm	7,51	0,38	0,65	<b>5,13</b>
Neergaande bocht	8,96	-	0,65	<b>5,83</b>
Kant asfalt	8,98	-	0,65	<b>5,84</b>
Kant asfalt	9,03	-	0,65	<b>5,87</b>
2e rechte deel	9,04	-	0,65	<b>5,87</b>
Kant asfalt	9,05	-	0,65	<b>5,88</b>
Opgaande bocht	9,11	0,39	0,65	<b>6,17</b>
Kant asfalt	7,00	0,39	0,65	<b>4,80</b>
Berm	5,78	0,38	0,65	<b>4,00</b>
3e rechte deel	5,81	0,18	0,65	<b>3,89</b>

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

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

 Toelaatbare spanning:  $\sigma_{id} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$ 
*9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding*

Locatie	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Berm	0,00	1,26	0,65	<b>0,82</b>
Neergaande bocht	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Kant asfalt	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Kant asfalt	0,00	-	-	<b>0,00</b>
2e rechte deel	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Kant asfalt	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Opgaande bocht	0,00	1,26	0,65	<b>0,82</b>
Kant asfalt	0,00	1,26	0,65	<b>0,82</b>
Berm	0,00	1,26	0,65	<b>0,82</b>
3e rechte deel	0,00	1,26	0,65	<b>0,82</b>

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

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

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

**10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

Locatie	Q <sub>n</sub> [N/mm <sup>1</sup> ]	Q <sub>v</sub> [N/mm <sup>1</sup> ]	Q <sub>r</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	δ <sub>γ</sub> [mm]	δ <sub>γ</sub> /D <sub>g</sub> [%]
1e rechte deel	5,66	10,62	-	<b>2,14</b>	0,94
Berm	19,92	2,37	0,0058	<b>4,78</b>	2,11
Neergaande bocht	24,87	1,73	-	<b>5,71</b>	2,51
Kant asfalt	24,93	1,73	-	<b>5,72</b>	2,52
Kant asfalt	25,08	1,71	-	<b>5,75</b>	2,53
2e rechte deel	25,11	1,71	-	<b>5,75</b>	2,53
Kant asfalt	25,14	1,70	-	<b>5,76</b>	2,54
Opgaande bocht	25,35	1,68	0,0060	<b>5,80</b>	2,55
Kant asfalt	18,06	2,71	0,0060	<b>4,46</b>	1,96
Berm	12,90	4,25	0,0058	<b>3,68</b>	1,62
3e rechte deel	5,05	12,19	0,0028	<b>2,26</b>	1,00

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

$$\delta_{\gamma} = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{350 \cdot 987,70}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 227,20 = **18,18 mm**



**11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase**

Locatie	H [m]	$\sigma_{vert}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{hor}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p'_f$ [kN/m <sup>2</sup> ]	G [MN/m <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	1,21	18,70	13,08	15,89	22,57	0,71
Berm	5,34	60,05	27,79	43,92	67,52	28,85
Neergaande bocht	6,99	73,55	34,03	53,79	82,70	28,85
Kant asfalt	7,01	73,72	34,11	53,91	82,88	28,85
Kant asfalt	7,06	74,13	34,30	54,21	83,34	28,85
2e rechte deel	7,07	74,21	34,34	54,27	83,43	28,85
Kant asfalt	7,08	74,29	34,37	54,33	83,53	28,85
Opgaande bocht	7,15	74,86	34,64	54,75	84,17	28,85
Kant asfalt	4,72	54,98	25,44	40,21	61,82	28,85
Berm	3,00	40,91	18,93	29,92	45,99	28,85
3e rechte deel	1,08	16,69	11,67	14,18	20,35	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 <sup>2</sup> ]	$p_{st}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\Delta_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,0094	0,61	0,0000	0,0000	0,00	0,08
Berm	0,00082	2,67	0,0334	0,03768	0,00	0,84
Neergaande bocht	0,0010	3,50	0,0499	0,05629	0,00	0,97
Kant asfalt	0,0010	3,51	0,0501	0,05652	0,00	0,98
Kant asfalt	0,0010	3,53	0,0506	0,05708	0,01	0,98
2e rechte deel	0,0010	3,54	0,0507	0,05720	0,01	0,98
Kant asfalt	0,0010	3,54	0,0508	0,05731	0,01	0,98
Opgaande bocht	0,0010	3,58	0,0515	0,05810	0,01	0,99
Kant asfalt	0,00075	2,36	0,0272	0,03069	0,01	0,79
Berm	0,00056	1,50	0,0100	0,01128	0,01	0,64
3e rechte deel	0,0086	0,54	0,0000	0,0000	0,02	0,07

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

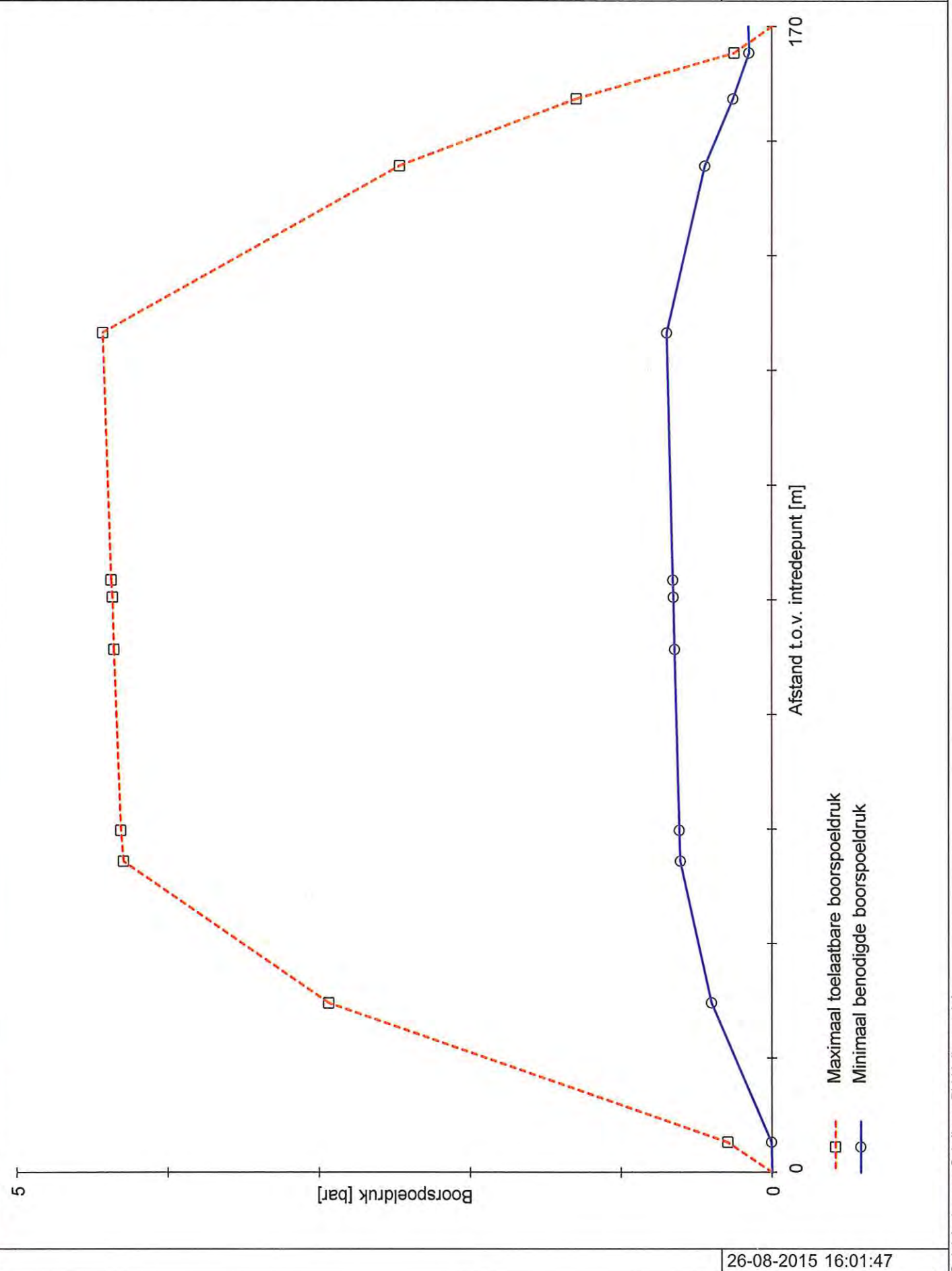
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

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

Locatie	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	90% $p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar]	90% $p_{lim}$ [bar]	$p_{min}$ [bar]
1e rechte deel	<b>0,03</b>	0,07	<b>0,00</b>	<b>0,29</b>	0,71	<b>0,00</b>
Berm	<b>0,29</b>	0,76	<b>0,04</b>	<b>2,94</b>	7,59	<b>0,40</b>
Neergaande bocht	<b>0,43</b>	0,88	<b>0,06</b>	<b>4,29</b>	8,77	<b>0,61</b>
Kant asfalt	<b>0,43</b>	0,88	<b>0,06</b>	<b>4,31</b>	8,78	<b>0,61</b>
Kant asfalt	<b>0,44</b>	0,88	<b>0,06</b>	<b>4,35</b>	8,81	<b>0,64</b>
2e rechte deel	<b>0,44</b>	0,88	<b>0,06</b>	<b>4,36</b>	8,82	<b>0,65</b>
Kant asfalt	<b>0,44</b>	0,88	<b>0,07</b>	<b>4,37</b>	8,83	<b>0,65</b>
Opgaande bocht	<b>0,44</b>	0,89	<b>0,07</b>	<b>4,43</b>	8,88	<b>0,69</b>
Kant asfalt	<b>0,25</b>	0,71	<b>0,04</b>	<b>2,47</b>	7,13	<b>0,44</b>
Berm	<b>0,13</b>	0,58	<b>0,03</b>	<b>1,30</b>	5,77	<b>0,26</b>
3e rechte deel	<b>0,02</b>	0,07	<b>0,02</b>	<b>0,25</b>	0,66	<b>0,15</b>

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

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



Berekening van de toelaatbare boorspoeldruk conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project : Windpark Fryslan - boringen t.b.v. windparkbekabeling			
Projectonderdeel : Boorspoeldruk Kornwerderzand - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-103 Boring A - 250 HDPE			
<b>Grondmechanische gegevens</b>			
Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	$\gamma_d$	= 17	kN/m <sup>3</sup>
Volumiek gewicht natte grond	$\gamma_n$	= 17	kN/m <sup>3</sup>
Volumiek gewicht water	$\gamma_w$	= 10	kN/m <sup>3</sup>
Inwendige wrijvingshoek grond	$\varphi$	= 17,5	°
Effectieve cohesie	$c'$	= 2	kN/m <sup>2</sup>
E-modulus ondergrond	$E_{100}$	= 2	MN/m <sup>2</sup>
<b>Aanleggegevens</b>			
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 4,72	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	$H_d$	= 2	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	$H_n$	= 2,72	m
Afstand t.o.v. intredepunt	L	= 148,90	m
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y$	= 15	Pa
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g$	= 760	mm
Diameter boorstang	$D_b$	= 101	mm
<b>1. Maximaal toelaatbare boorspoeldruk (conform NEN 3650-serie)</b>			
<i>1.1 Verticale terreinspanning</i>			
$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $\sigma_{vert} = \frac{17}{1,1} \cdot 2 + \frac{17}{1,1} \cdot 2,72 - 10 \cdot 2,72 = 45,75 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.2 Horizontale terreinspanning</i>			
$\sigma_{hor} = \sigma_{vert} \cdot (1 - \sin(\varphi))$ $\sigma_{hor} = 45,75 \cdot (1 - \sin(17,5)) = 31,99 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.3 Gemiddelde terreinspanning</i>			
$\sigma_o' = \frac{\sigma_{vert} + \sigma_{hor}}{2}$ $\sigma_o' = \frac{45,75 + 31,99}{2} = 38,87 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.4 Boorspoeldruk waarbij de eerste plastische vervormingen optreden</i>			
$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$ $p_f' = 38,87 \cdot (1 + \sin(17,5)) + 2 \cdot \cos(17,5) = 52,46 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.5 Glijdingsmodulus</i>			
$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$ $G = \frac{2}{2 \cdot (1 + 0,4)} = 0,71 \text{ MN/m}^2$			
		26-08-2015 16:18:22	

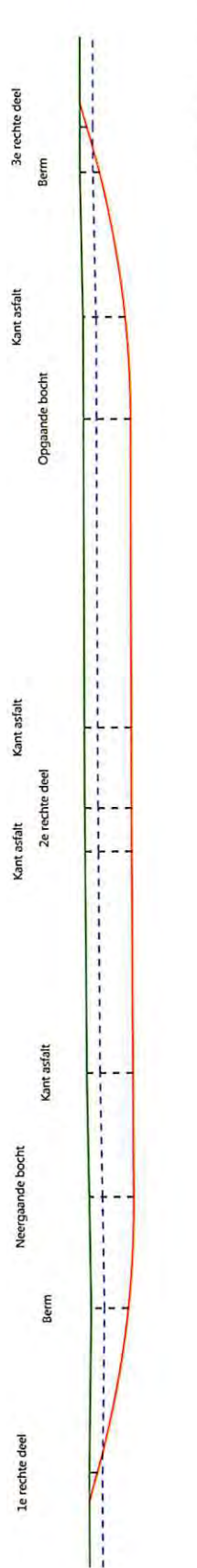
Berekening van de toelaatbare boorspoeldruk conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
<p>1.6 Bepaling van Q</p> $Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$ $Q = \frac{38,87 \cdot \sin(17,5) + 2 \cdot \cos(17,5)}{0,71 \cdot 10^3} = 0,019$	
<p>1.7 Bepaling initiële straal boorgang en max. toelaatbare plastische zone</p> $R_o = \frac{D_o}{2} = 380 \text{ mm}$ $R_{p,max} = \frac{H}{2}$ $R_{p,max} = \frac{4720,00}{2} = 2.360,00 \text{ mm}$	
<p>1.8 Berekening van de aanwezige waterspanning</p> $u = \gamma_w \cdot H_n$ $u = (10 \cdot 2,72) \cdot 10^{-3} = 0,03 \text{ N/mm}^2$	
<p>1.9 Effectieve limietdruk</p> $p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$ $p_{lim} = (52,46 + 2 \cdot \cot(17,5)) \cdot Q^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - c \cdot \cot(17,5) + 0,03 = 0,17 \text{ N/mm}^2$ $p_{lim,90\%} = 0,9 \cdot 0,17 = 0,15 \text{ N/mm}^2 = 1,51 \text{ bar} = 151,03 \text{ kPa}$	
<p>1.10 Maximaal toelaatbare boorspoeldruk</p> $p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left( \frac{R_o^2}{R_{p,max}^2} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$ $p_{max} = (52,46 + 17,5 \cdot \cot(2)) \cdot \left( \frac{380^2}{2.360,00^2} + 0,02 \right)^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - 2 \cdot \cot(17,5) + 0,03$ $p_{max} = 0,14 \text{ N/mm}^2 = 1,41 \text{ bar} = 141,32 \text{ kPa}$	
<p><b>2. Minimaal benodigde boorspoeldruk</b></p>	
<p>2.1 Statische druk</p> $p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$ $p_{st} = (1.150,00 \cdot 9,81 \cdot 2,72) \cdot 10^{-6} = 0,03 \text{ N/mm}^2$	
<p>2.2 Drukverschil</p> $\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$ $\Delta_p = 4 \cdot \frac{0,000015}{760 - 101} \cdot 148.900,00 = 0,01 \text{ N/mm}^2$	
<p>2.3 Minimaal benodigde boorspoeldruk</p> $p_{min} = p_{st} + \Delta_p$ $p_{min} = 0,03 + 0,01 = 0,04 \text{ N/mm}^2 = 0,44 \text{ bar} = 44,24 \text{ kPa}$	
<p><b>3. Conclusie</b></p> $p_{max} < p_{lim,90\%} \rightarrow p_{max} \text{ is maatgevend}$ $p_{max} > p_{min}$	
<p style="text-align: right;">26-08-2015 16:18:22</p>	

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Kornwerderzand - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-103 Boring B - 110 HDPE			
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t = 8,00$		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E = 975		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E' = 350		N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m <sup>3</sup>
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	$D_e = 110,00$		mm
Wanddikte	$d_n = 10$		mm
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
<b>Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren</b>			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 80	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 760$		mm
Diameter boorstang	$D_b = 101$		mm
Totale lengte	L = 208,33		m
Lengte 1e rechte deel	$L_1 = 4,36$		m
Lengte neergaande bocht	$L_2 = 39,27$		m
Lengte 2e rechte deel	$L_3 = 116,50$		m
Lengte opgaande bocht	$L_4 = 44,51$		m
Lengte 3e rechte deel	$L_5 = 3,69$		m
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r = 150,00$		m
Straal neergaande bocht	$R_1 = 150,00$		m
Straal opgaande bocht	$R_2 = 150,00$		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 16,00 / 28,67$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 17,00 / 30,57$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
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 <sup>2</sup>
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
		26-08-2015 16:12:37	

**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 <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Wrijvings- hoek grond [°]
1e rechte deel	4,38	1,21	-	Klei	17,00	-	17,50
Berm	27,59	5,63	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Neergaande bocht	43,74	6,74	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	62,38	7,00	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	95,52	7,06	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
2e rechte deel	101,99	7,07	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	113,99	7,09	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Opgaande bocht	160,25	7,16	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	175,48	6,42	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Berm	197,58	2,99	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	204,64	1,08	-	Klei	17,00	-	17,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm <sup>2</sup> ]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	0,0580	0,00	75,00	Grafiek I
Neergaande bocht	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0620	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	0,0620	0,00	75,00	Grafiek I
Berm	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I



\* Niet op schaal



**2. 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 <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 3.141,59	mm <sup>2</sup>
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0300	N/mm <sup>1</sup>

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

	<i>Leiding op rollenbaar/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	$g_{rol} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

**4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds**

*4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaar/maaiveld*

Trekkraft $T_1$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_1$ [N]
Starten met trekken	208,33	<b>3.375</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	204,64	<b>3.315</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	160,13	<b>2.594</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	43,63	<b>707</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	4,36	<b>71</b>

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,3$$

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

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_1$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	3.375	<b>1,07</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	3.315	<b>1,06</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	2.594	<b>0,83</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	707	<b>0,22</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	71	<b>0,02</b>

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

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{150.000} = 28.358,76 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{28.358,76}{72.114} = 0,39 \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	1,07	<b>1,33</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	1,06	<b>1,31</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	0,83	<b>1,08</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	0,22	<b>0,48</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	0,02	<b>0,28</b>

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,39 + \sigma_t$$

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

**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. 80% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 276,46 \text{ mm}^1$

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

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

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]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	3,69	<b>197</b>	-
2 <sup>e</sup> deel intrekken	48,20	-	<b>2.575</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	164,70	<b>8.799</b>	-
4 <sup>e</sup> deel intrekken	203,97	-	<b>10.897</b>
Geheel ingetrokken	208,33	<b>11.130</b>	-

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (276,46 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (276,46 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

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

Locatie	$\lambda$ [mm <sup>-1</sup> ]	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{3b}$ [N]
1e rechte deel	0,0031	150	0,00081	<b>65</b>
Berm	0,0045	150	0,0017	<b>94</b>
Opgaande bocht	0,0046	150	0,0018	<b>96</b>
Kant asfalt	0,0046	150	0,0018	<b>96</b>
Berm	0,0031	150	0,00081	<b>65</b>

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

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

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

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

Trekkraft $T_{\text{bocht}}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{\text{bocht}}$ [N]
Neergaande bocht	2.594	2.575	94	-	<b>5.263</b>
Opgaande bocht	71	10.897	94	96	<b>11.157</b>

 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]	$\alpha$ [°]	$T_{\text{bocht}}$ [N]	$T_{3c}$ [N]
Neergaande bocht	8,00	5.263	<b>527</b>
Opgaande bocht	8,50	11.157	<b>1.118</b>

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

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

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

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

## 5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft $T_{\text{tot}}$ 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]	$T_{\text{tot}}$ [N]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	3.315	197	-	-	-	-	<b>3.513</b>
2 <sup>e</sup> deel intrekken	2.594	2.575	94	527	-	-	<b>5.791</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	707	8.799	94	527	-	-	<b>10.127</b>
4 <sup>e</sup> deel intrekken	71	10.897	94	527	96	1.118	<b>12.872</b>
Geheel intrekken	0	11.130	94	527	96	1.118	<b>13.034</b>

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

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

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{\text{tot}}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	3.513	<b>1,12</b>
2 <sup>e</sup> deel intrekken	5.791	<b>1,84</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	10.127	<b>3,22</b>
4 <sup>e</sup> deel intrekken	12.872	<b>4,10</b>
Geheel intrekken	13.034	<b>4,15</b>

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

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

5.7.1 *Neergaande bocht*

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 150.000} = 40.103,30 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{40.103,30}{72.113,83} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 *Opgaande bocht*

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 150.000} = 40.103,30 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{40.103,30}{72.113,83} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

5.8 *Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie*

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	3.513	1,12	-	<b>1,12</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	5.791	1,84	0,56	<b>2,20</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	10.127	3,22	-	<b>3,22</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	12.872	4,10	0,56	<b>4,46</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	13.034	4,15	-	<b>4,15</b>

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

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

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

**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase**
**6.1 Berekening van de spanningen  $\sigma_p$  en  $\sigma_d$  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 <sup>2</sup> ]	$q_{nat}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{totaal}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	1,21	-	Klei	-	-	22,63	2,49
Berm	5,63	2,00	Zand	39,60	79,86	119,46	9,15
Neergaande bocht	6,74	2,00	Zand	39,60	104,28	143,88	10,61
Kant asfalt	7,00	2,00	Zand	39,60	110,00	149,60	10,96
Kant asfalt	7,06	2,00	Zand	39,60	111,32	150,92	11,04
2e rechte deel	7,07	2,00	Zand	39,60	111,54	151,14	11,05
Kant asfalt	7,09	2,00	Zand	39,60	111,98	151,58	11,07
Opgaande bocht	7,16	2,00	Zand	39,60	113,52	153,12	11,17
Kant asfalt	6,42	2,00	Zand	39,60	97,24	136,84	10,19
Berm	2,99	2,00	Klei	37,40	18,51	55,91	5,06
3e rechte deel	1,08	-	Klei	-	-	20,20	2,22

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

**6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$** 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	1,21	Grafiek I	42,72	4,70
Berm	5,63	Grafiek I	8,95	0,98
Neergaande bocht	6,74	Grafiek I	7,25	0,80
Kant asfalt	7,00	Grafiek I	6,92	0,76
Kant asfalt	7,06	Grafiek I	6,84	0,75
2e rechte deel	7,07	Grafiek I	6,83	0,75
Kant asfalt	7,09	Grafiek I	6,81	0,75
Opgaande bocht	7,16	Grafiek I	6,72	0,74
Kant asfalt	6,42	Grafiek I	7,69	0,85
Berm	2,99	Grafiek I	17,05	1,88
3e rechte deel	1,08	Grafiek I	49,11	5,40

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

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$M_q$ [Nmm]	$\sigma_q$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	2,49	4,70	7,19	92,37	<b>5,54</b>
Berm	9,15	0,98	10,13	130,20	<b>7,81</b>
Neergaande bocht	10,61	0,80	11,41	146,62	<b>8,80</b>
Kant asfalt	10,96	0,76	11,72	150,56	<b>9,03</b>
Kant asfalt	11,04	0,75	11,79	151,47	<b>9,09</b>
2e rechte deel	11,05	0,75	11,80	151,63	<b>9,10</b>
Kant asfalt	11,07	0,75	11,82	151,93	<b>9,12</b>
Opgaande bocht	11,17	0,74	11,91	153,00	<b>9,18</b>
Kant asfalt	10,19	0,85	11,04	141,82	<b>8,51</b>
Berm	5,06	1,88	6,94	89,14	<b>5,35</b>
3e rechte deel	2,22	5,40	7,62	97,97	<b>5,88</b>

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

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

6.6 Optredende spanning  $\sigma_{qr}$  t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	150	0,00081	0,052
Berm	150	0,0017	0,11
Opgaande bocht	150	0,0018	0,11
Kant asfalt	150	0,0018	0,11
Berm	150	0,00081	0,052

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

6.7 Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

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

7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m<sup>2</sup>**

**8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

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

 Veiligheidsfactor  $\gamma$  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

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

Locatie	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	5,54	0,052	0,65	<b>3,64</b>
Berm	7,81	0,11	0,65	<b>5,15</b>
Neergaande bocht	8,80	-	0,65	<b>5,72</b>
Kant asfalt	9,03	-	0,65	<b>5,87</b>
Kant asfalt	9,09	-	0,65	<b>5,91</b>
2e rechte deel	9,10	-	0,65	<b>5,91</b>
Kant asfalt	9,12	-	0,65	<b>5,93</b>
Opgaande bocht	9,18	0,11	0,65	<b>6,04</b>
Kant asfalt	8,51	0,11	0,65	<b>5,61</b>
Berm	5,35	0,052	0,65	<b>3,51</b>
3e rechte deel	5,88	-	0,65	<b>3,82</b>

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

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

 Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$ 
*9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding*

Locatie	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,00	0,56	0,65	<b>0,36</b>
Berm	0,00	0,56	0,65	<b>0,36</b>
Neergaande bocht	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Kant asfalt	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Kant asfalt	0,00	-	-	<b>0,00</b>
2e rechte deel	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Kant asfalt	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Opgaande bocht	0,00	0,56	0,65	<b>0,36</b>
Kant asfalt	0,00	0,56	0,65	<b>0,36</b>
Berm	0,00	0,56	0,65	<b>0,36</b>
3e rechte deel	0,00	-	-	<b>0,00</b>

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

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

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



**10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

Locatie	Q <sub>n</sub> [N/mm <sup>1</sup> ]	Q <sub>v</sub> [N/mm <sup>1</sup> ]	Q <sub>r</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	δ <sub>Y</sub> [mm]	δ <sub>Y</sub> /D <sub>g</sub> [%]
1e rechte deel	2,49	4,70	0,00081	<b>0,95</b>	0,95
Berm	9,15	0,98	0,0017	<b>2,20</b>	2,20
Neergaande bocht	10,61	0,80	-	<b>2,47</b>	2,47
Kant asfalt	10,96	0,76	-	<b>2,54</b>	2,54
Kant asfalt	11,04	0,75	-	<b>2,56</b>	2,56
2e rechte deel	11,05	0,75	-	<b>2,56</b>	2,56
Kant asfalt	11,07	0,75	-	<b>2,56</b>	2,56
Opgaande bocht	11,17	0,74	0,0018	<b>2,58</b>	2,58
Kant asfalt	10,19	0,85	0,0018	<b>2,39</b>	2,39
Berm	5,06	1,88	0,00081	<b>0,92</b>	0,92
3e rechte deel	2,22	5,40	-	<b>1,01</b>	1,01

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 100,00 = **8,00 mm**

**11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase**

Locatie	H [m]	$\sigma_{vert}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{hor}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p'_f$ [kN/m <sup>2</sup> ]	G [MN/m <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	1,21	18,70	13,08	15,89	22,57	0,71
Berm	5,63	62,43	28,89	45,66	70,19	28,85
Neergaande bocht	6,74	71,51	33,09	52,30	80,40	28,85
Kant asfalt	7,00	73,64	34,07	53,85	82,79	28,85
Kant asfalt	7,06	74,13	34,30	54,21	83,34	28,85
2e rechte deel	7,07	74,21	34,34	54,27	83,43	28,85
Kant asfalt	7,09	74,37	34,41	54,39	83,62	28,85
Opgaande bocht	7,16	74,95	34,68	54,81	84,26	28,85
Kant asfalt	6,42	68,89	31,88	50,38	77,45	28,85
Berm	2,99	36,31	25,39	30,85	42,03	0,71
3e rechte deel	1,08	16,69	11,67	14,18	20,35	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 <sup>2</sup> ]	$p_{st}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\Delta_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,0094	0,61	0,0000	0,0000	0,00	0,08
Berm	0,00085	2,82	0,0363	0,04095	0,00	0,87
Neergaande bocht	0,00097	3,37	0,0474	0,05347	0,00	0,95
Kant asfalt	0,0010	3,50	0,0500	0,05641	0,01	0,97
Kant asfalt	0,0010	3,53	0,0506	0,05708	0,01	0,98
2e rechte deel	0,0010	3,54	0,0507	0,05720	0,01	0,98
Kant asfalt	0,0010	3,55	0,0509	0,05742	0,01	0,98
Opgaande bocht	0,0010	3,58	0,0516	0,05821	0,01	0,99
Kant asfalt	0,00094	3,21	0,0442	0,04986	0,02	0,93
Berm	0,016	1,50	0,0099	0,01117	0,02	0,13
3e rechte deel	0,0086	0,54	0,0000	0,0000	0,02	0,07

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

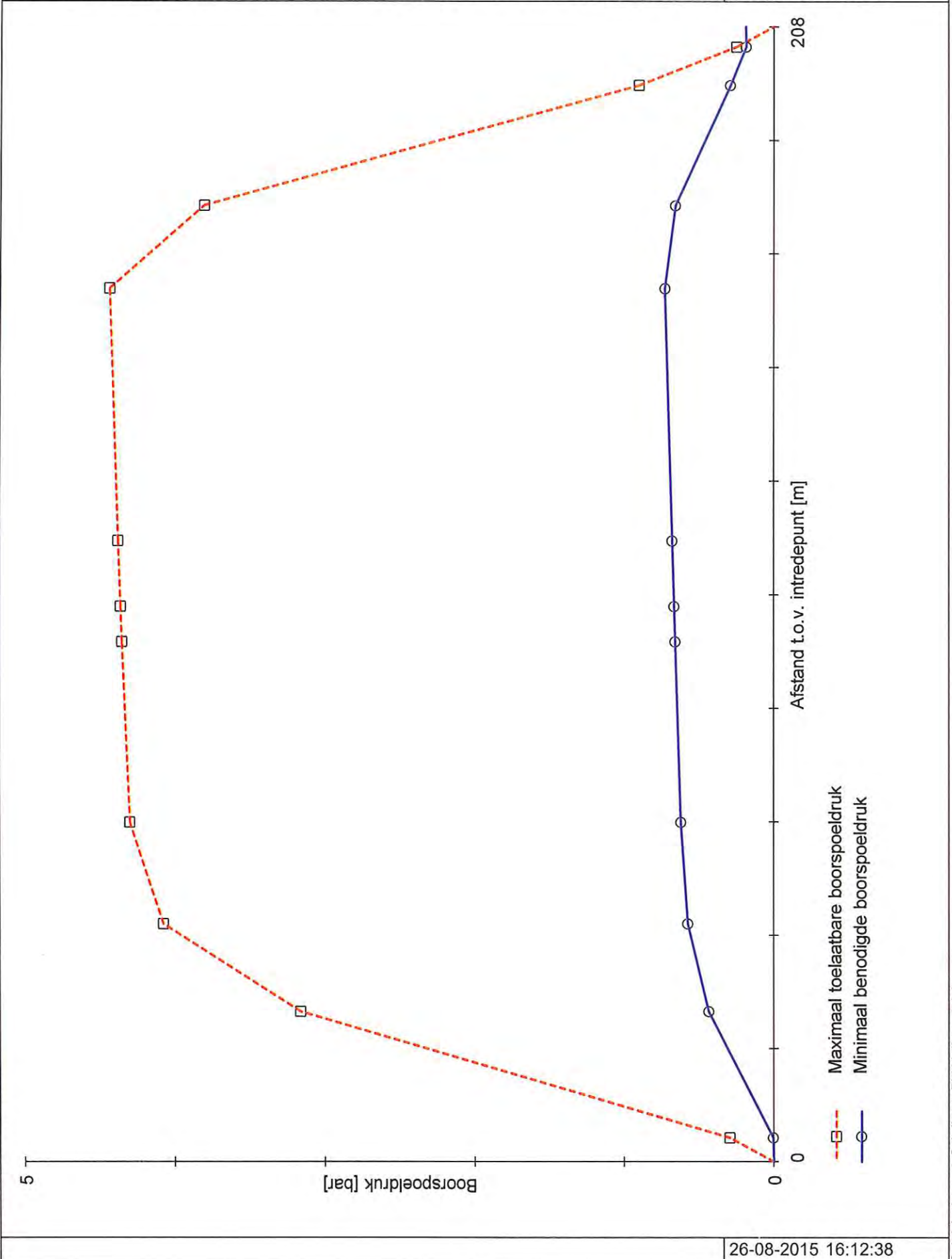
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

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

Locatie	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	90% $p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar]	90% $p_{lim}$ [bar]	$p_{min}$ [bar]
1e rechte deel	<b>0,03</b>	0,07	<b>0,00</b>	<b>0,29</b>	0,71	<b>0,00</b>
Berm	<b>0,32</b>	0,78	<b>0,04</b>	<b>3,16</b>	7,80	<b>0,43</b>
Neergaande bocht	<b>0,41</b>	0,86	<b>0,06</b>	<b>4,08</b>	8,59	<b>0,57</b>
Kant asfalt	<b>0,43</b>	0,88	<b>0,06</b>	<b>4,30</b>	8,77	<b>0,62</b>
Kant asfalt	<b>0,44</b>	0,88	<b>0,07</b>	<b>4,35</b>	8,81	<b>0,66</b>
2e rechte deel	<b>0,44</b>	0,88	<b>0,07</b>	<b>4,36</b>	8,82	<b>0,66</b>
Kant asfalt	<b>0,44</b>	0,88	<b>0,07</b>	<b>4,38</b>	8,84	<b>0,68</b>
Opgaande bocht	<b>0,44</b>	0,89	<b>0,07</b>	<b>4,44</b>	8,88	<b>0,73</b>
Kant asfalt	<b>0,38</b>	0,84	<b>0,07</b>	<b>3,81</b>	8,37	<b>0,66</b>
Berm	<b>0,09</b>	0,12	<b>0,03</b>	<b>0,90</b>	1,17	<b>0,29</b>
3e rechte deel	<b>0,02</b>	0,07	<b>0,02</b>	<b>0,25</b>	0,66	<b>0,19</b>

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

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



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project : Windpark Fryslan			
Projectonderdeel : HDD boring Kornwerderzand - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-103 Boring B - 250 HDPE			
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t = 8,00$		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E = 975		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E' = 350		N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m <sup>3</sup>
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	$D_e = 250,00$		mm
Wanddikte	$d_n = 22,8$		mm
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
<b>Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren</b>			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 80	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g = 760$		mm
Diameter boorstang	$D_b = 101$		mm
Totale lengte	L = 208,33		m
Lengte 1e rechte deel	$L_1 = 4,36$		m
Lengte neergaande bocht	$L_2 = 39,27$		m
Lengte 2e rechte deel	$L_3 = 116,50$		m
Lengte opgaande bocht	$L_4 = 44,51$		m
Lengte 3e rechte deel	$L_5 = 3,69$		m
Straal maaiveld/rollenbaan	$R_r = 150,00$		m
Straal neergaande bocht	$R_1 = 150,00$		m
Straal opgaande bocht	$R_2 = 150,00$		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 16,00 / 28,67$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 17,00 / 30,57$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
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 <sup>2</sup>
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	$f_3 = 0,2$		
		26-08-2015 16:11:36	

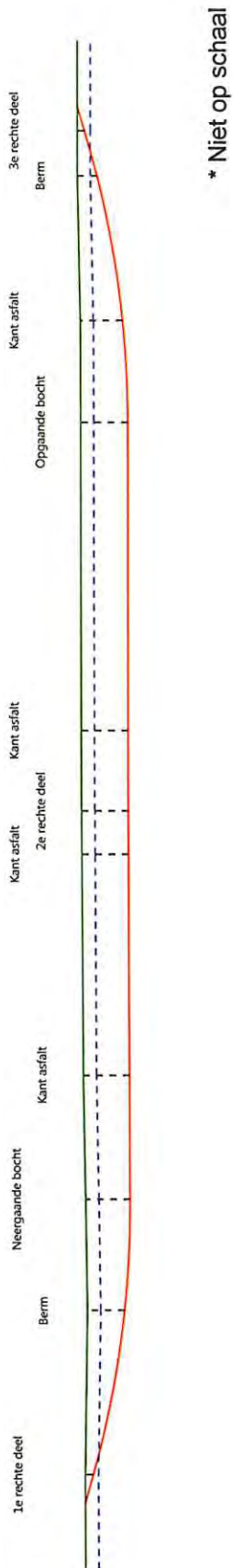
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2012 3.0 ©

**Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting**

Locatie	Afstand t.o.v. inbredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Wrijvings- hoek grond [°]
1e rechte deel	4,38	1,21	-	Klei	17,00	-	17,50
Berm	27,59	5,63	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Neergaande bocht	43,74	6,74	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	62,38	7,00	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	95,52	7,06	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
2e rechte deel	101,99	7,07	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	113,99	7,09	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Opgaande bocht	160,25	7,16	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Kant asfalt	175,48	6,42	2,00	Zand	18,00	20,00	32,50
Berm	197,58	2,99	2,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	204,64	1,08	-	Klei	17,00	-	17,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingsconstante [N/mm <sup>2</sup> ]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
Berm	Geen	0,0580	0,00	75,00	Grafiek I
Neergaande bocht	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0620	0,00	75,00	Grafiek I
Kant asfalt	Geen	0,0620	0,00	75,00	Grafiek I
Berm	Geen	0,0130	2,00	2,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Grafiek I



\* Niet op schaal

**2. Eigenschappen van de leiding**

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 106.064.835,12	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 16.273,95	mm <sup>2</sup>
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1554	N/mm <sup>1</sup>

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

	<i>Leiding op rollenbaar/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$

**4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds**

*4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaar/maaiveld*

Trekkracht $T_1$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_1$ [N]
Starten met trekken	208,33	<b>17.484</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	204,64	<b>17.174</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	160,13	<b>13.439</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	43,63	<b>3.662</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	4,36	<b>366</b>

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,1554 \cdot 0,3$$

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

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_1$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	17.484	<b>1,07</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	17.174	<b>1,06</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	13.439	<b>0,83</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	3.662	<b>0,22</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	366	<b>0,02</b>

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$$



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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835}{150.000} = 758.363,57 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{758.363,57}{848.519} = \mathbf{0,89 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	1,07	<b>1,66</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	1,06	<b>1,64</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	0,83	<b>1,41</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	0,22	<b>0,81</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	0,02	<b>0,60</b>

$$\sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,89 + \sigma_t$$

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. 80% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 628,32 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,155 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 250,00^2 \cdot \pi/4 = 0,565 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,409 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_2$ [N]	$T_{3a}$ [N]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	3,69	<b>752</b>	-
2 <sup>e</sup> deel intrekken	48,20	-	<b>9.824</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	164,70	<b>33.569</b>	-
4 <sup>e</sup> deel intrekken	203,97	-	<b>41.573</b>
Geheel ingetrokken	208,33	<b>42.462</b>	-

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (628,32 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (628,32 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

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

Locatie	$\lambda$ [mm <sup>-1</sup> ]	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{3b}$ [N]
1e rechte deel	0,0017	150	0,0028	<b>934</b>
Berm	0,0024	150	0,0058	<b>1.358</b>
Opgaande bocht	0,0025	150	0,0060	<b>1.380</b>
Kant asfalt	0,0025	150	0,0060	<b>1.380</b>
Berm	0,0017	150	0,0028	<b>934</b>

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

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

Sigma 2012 3.0 ©

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

Trekkraft $T_{\text{bocht}}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{\text{bocht}}$ [N]
Neergaande bocht	13.439	9.824	1.358	-	<b>24.621</b>
Opgaande bocht	366	41.573	1.358	1.380	<b>44.677</b>

 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]	$\alpha$ [°]	$T_{\text{bocht}}$ [N]	$T_{3c}$ [N]
Neergaande bocht	8,00	24.621	<b>2.467</b>
Opgaande bocht	8,50	44.677	<b>4.477</b>

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

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

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

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

**5.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II**

Trekkraft $T_{\text{tot}}$ 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]	$T_{\text{tot}}$ [N]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	17.174	752	-	-	-	-	<b>17.926</b>
2 <sup>e</sup> deel intrekken	13.439	9.824	1.358	2.467	-	-	<b>27.088</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	3.662	33.569	1.358	2.467	-	-	<b>41.056</b>
4 <sup>e</sup> deel intrekken	366	41.573	1.358	2.467	1.380	4.477	<b>51.899</b>
Geheel intrekken	0	42.462	1.358	2.467	1.380	4.477	<b>52.422</b>

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

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

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{\text{tot}}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	17.926	<b>1,10</b>
2 <sup>e</sup> deel intrekken	27.088	<b>1,66</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	41.056	<b>2,52</b>
4 <sup>e</sup> deel intrekken	51.899	<b>3,19</b>
Geheel intrekken	52.422	<b>3,22</b>

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{16.273,95}$$

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

5.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 150.000} = 1.072.433,33 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.072.433,33}{848.518,68} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	17.926	1,10	-	<b>1,10</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	27.088	1,66	1,26	<b>2,49</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	41.056	2,52	-	<b>2,52</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	51.899	3,19	1,26	<b>4,01</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	52.422	3,22	-	<b>3,22</b>

Rechte delen:  $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$

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

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

**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase**
**6.1 Berekening van de spanningen  $\sigma_p$  en  $\sigma_d$  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 <sup>2</sup> ]	$q_{nat}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{totaal}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	1,21	-	Klei	-	-	22,63	5,66
Berm	5,63	2,00	Zand	39,60	79,86	119,46	20,79
Neergaande bocht	6,74	2,00	Zand	39,60	104,28	143,88	24,12
Kant asfalt	7,00	2,00	Zand	39,60	110,00	149,60	24,90
Kant asfalt	7,06	2,00	Zand	39,60	111,32	150,92	25,08
2e rechte deel	7,07	2,00	Zand	39,60	111,54	151,14	25,11
Kant asfalt	7,09	2,00	Zand	39,60	111,98	151,58	25,17
Opgaande bocht	7,16	2,00	Zand	39,60	113,52	153,12	25,38
Kant asfalt	6,42	2,00	Zand	39,60	97,24	136,84	23,16
Berm	2,99	2,00	Klei	37,40	18,51	55,91	11,50
3e rechte deel	1,08	-	Klei	-	-	20,20	5,05

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

**6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$** 

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	1,21	Grafiek I	42,49	10,62
Berm	5,63	Grafiek I	8,95	2,24
Neergaande bocht	6,74	Grafiek I	7,25	1,81
Kant asfalt	7,00	Grafiek I	6,92	1,73
Kant asfalt	7,06	Grafiek I	6,84	1,71
2e rechte deel	7,07	Grafiek I	6,83	1,71
Kant asfalt	7,09	Grafiek I	6,81	1,70
Opgaande bocht	7,16	Grafiek I	6,72	1,68
Kant asfalt	6,42	Grafiek I	7,69	1,92
Berm	2,99	Grafiek I	17,04	4,26
3e rechte deel	1,08	Grafiek I	48,76	12,19

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$M_q$ [Nmm]	$\sigma_q$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	5,66	10,62	16,28	475,25	<b>5,49</b>
Berm	20,79	2,24	23,03	672,31	<b>7,76</b>
Neergaande bocht	24,12	1,81	25,93	757,09	<b>8,74</b>
Kant asfalt	24,90	1,73	26,63	777,44	<b>8,97</b>
Kant asfalt	25,08	1,71	26,79	782,16	<b>9,03</b>
2e rechte deel	25,11	1,71	26,82	782,94	<b>9,04</b>
Kant asfalt	25,17	1,70	26,87	784,52	<b>9,05</b>
Opgaande bocht	25,38	1,68	27,06	790,03	<b>9,12</b>
Kant asfalt	23,16	1,92	25,08	732,28	<b>8,45</b>
Berm	11,50	4,26	15,76	460,21	<b>5,31</b>
3e rechte deel	5,05	12,19	17,24	503,31	<b>5,81</b>

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

6.6 Optredende spanning  $\sigma_{qr}$  t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	150	0,0028	0,18
Berm	150	0,0058	0,38
Opgaande bocht	150	0,0060	0,39
Kant asfalt	150	0,0060	0,39
Berm	150	0,0028	0,18

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 250 \cdot \frac{125,00}{86,64}$$

6.7 Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

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

7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m<sup>2</sup>**

### 8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,07** m grondwater boven de leiding

### 9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

#### 9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	5,49	0,18	0,65	<b>3,68</b>
Berm	7,76	0,38	0,65	<b>5,29</b>
Neergaande bocht	8,74	-	0,65	<b>5,68</b>
Kant asfalt	8,97	-	0,65	<b>5,83</b>
Kant asfalt	9,03	-	0,65	<b>5,87</b>
2e rechte deel	9,04	-	0,65	<b>5,87</b>
Kant asfalt	9,05	-	0,65	<b>5,89</b>
Opgaande bocht	9,12	0,39	0,65	<b>6,18</b>
Kant asfalt	8,45	0,39	0,65	<b>5,75</b>
Berm	5,31	0,18	0,65	<b>3,57</b>
3e rechte deel	5,81	-	0,65	<b>3,78</b>

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

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

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

#### 9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,00	1,26	0,65	<b>0,82</b>
Berm	0,00	1,26	0,65	<b>0,82</b>
Neergaande bocht	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Kant asfalt	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Kant asfalt	0,00	-	-	<b>0,00</b>
2e rechte deel	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Kant asfalt	0,00	-	-	<b>0,00</b>
Opgaande bocht	0,00	1,26	0,65	<b>0,82</b>
Kant asfalt	0,00	1,26	0,65	<b>0,82</b>
Berm	0,00	1,26	0,65	<b>0,82</b>
3e rechte deel	0,00	-	-	<b>0,00</b>

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

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

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

**10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

Locatie	Q <sub>n</sub> [N/mm <sup>1</sup> ]	Q <sub>v</sub> [N/mm <sup>1</sup> ]	Q <sub>r</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	δ <sub>γ</sub> [mm]	δ <sub>γ</sub> /D <sub>g</sub> [%]
1e rechte deel	5,66	10,62	0,0028	<b>2,14</b>	0,94
Berm	20,79	2,24	0,0058	<b>4,94</b>	2,18
Neergaande bocht	24,12	1,81	-	<b>5,56</b>	2,45
Kant asfalt	24,90	1,73	-	<b>5,71</b>	2,51
Kant asfalt	25,08	1,71	-	<b>5,75</b>	2,53
2e rechte deel	25,11	1,71	-	<b>5,75</b>	2,53
Kant asfalt	25,17	1,70	-	<b>5,77</b>	2,54
Opgaande bocht	25,38	1,68	0,0060	<b>5,81</b>	2,56
Kant asfalt	23,16	1,92	0,0060	<b>5,38</b>	2,37
Berm	11,50	4,26	0,0028	<b>2,07</b>	0,91
3e rechte deel	5,05	12,19	-	<b>2,26</b>	1,00

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

$$\delta_{\gamma} = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{350 \cdot 987,70}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 227,20 = **18,18 mm**



**11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase**

Locatie	H [m]	$\sigma_{vert}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{hor}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_f'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	G [MN/m <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	1,21	18,70	13,08	15,89	22,57	0,71
Berm	5,63	62,43	28,89	45,66	70,19	28,85
Neergaande bocht	6,74	71,51	33,09	52,30	80,40	28,85
Kant asfalt	7,00	73,64	34,07	53,85	82,79	28,85
Kant asfalt	7,06	74,13	34,30	54,21	83,34	28,85
2e rechte deel	7,07	74,21	34,34	54,27	83,43	28,85
Kant asfalt	7,09	74,37	34,41	54,39	83,62	28,85
Opgaande bocht	7,16	74,95	34,68	54,81	84,26	28,85
Kant asfalt	6,42	68,89	31,88	50,38	77,45	28,85
Berm	2,99	36,31	25,39	30,85	42,03	0,71
3e rechte deel	1,08	16,69	11,67	14,18	20,35	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 <sup>2</sup> ]	$p_{st}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\Delta_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,0094	0,61	0,0000	0,0000	0,00	0,08
Berm	0,00085	2,82	0,0363	0,04095	0,00	0,87
Neergaande bocht	0,00097	3,37	0,0474	0,05347	0,00	0,95
Kant asfalt	0,0010	3,50	0,0500	0,05641	0,01	0,97
Kant asfalt	0,0010	3,53	0,0506	0,05708	0,01	0,98
2e rechte deel	0,0010	3,54	0,0507	0,05720	0,01	0,98
Kant asfalt	0,0010	3,55	0,0509	0,05742	0,01	0,98
Opgaande bocht	0,0010	3,58	0,0516	0,05821	0,01	0,99
Kant asfalt	0,00094	3,21	0,0442	0,04986	0,02	0,93
Berm	0,016	1,50	0,0099	0,01117	0,02	0,13
3e rechte deel	0,0086	0,54	0,0000	0,0000	0,02	0,07

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

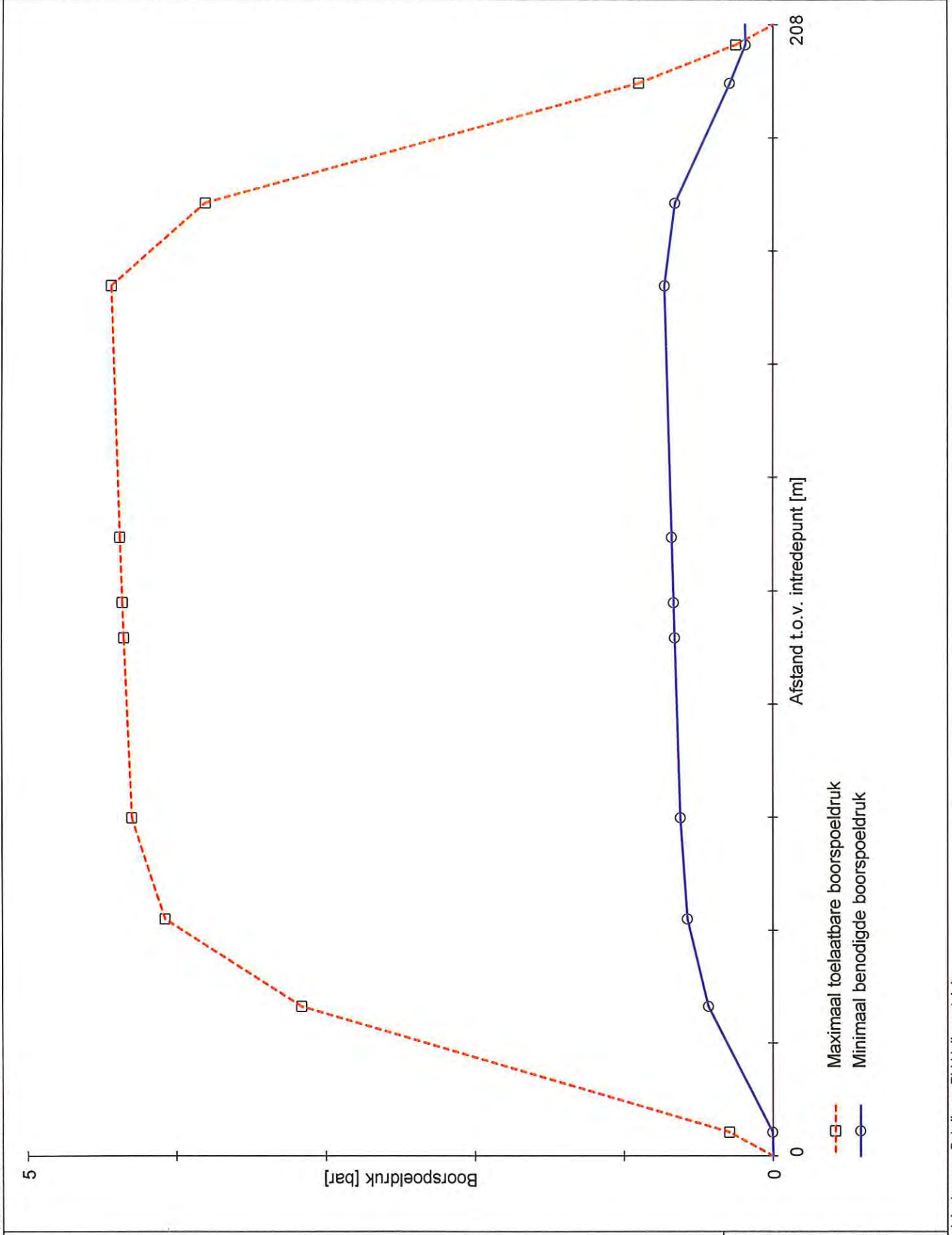
$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

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

Locatie	$p_{max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	90% $p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{max}$ [bar]	90% $p_{lim}$ [bar]	$p_{min}$ [bar]
1e rechte deel	<b>0,03</b>	0,07	<b>0,00</b>	<b>0,29</b>	0,71	<b>0,00</b>
Berm	<b>0,32</b>	0,78	<b>0,04</b>	<b>3,16</b>	7,80	<b>0,43</b>
Neergaande bocht	<b>0,41</b>	0,86	<b>0,06</b>	<b>4,08</b>	8,59	<b>0,57</b>
Kant asfalt	<b>0,43</b>	0,88	<b>0,06</b>	<b>4,30</b>	8,77	<b>0,62</b>
Kant asfalt	<b>0,44</b>	0,88	<b>0,07</b>	<b>4,35</b>	8,81	<b>0,66</b>
2e rechte deel	<b>0,44</b>	0,88	<b>0,07</b>	<b>4,36</b>	8,82	<b>0,66</b>
Kant asfalt	<b>0,44</b>	0,88	<b>0,07</b>	<b>4,38</b>	8,84	<b>0,68</b>
Opgaande bocht	<b>0,44</b>	0,89	<b>0,07</b>	<b>4,44</b>	8,88	<b>0,73</b>
Kant asfalt	<b>0,38</b>	0,84	<b>0,07</b>	<b>3,81</b>	8,37	<b>0,66</b>
Berm	<b>0,09</b>	0,12	<b>0,03</b>	<b>0,90</b>	1,17	<b>0,29</b>
3e rechte deel	<b>0,02</b>	0,07	<b>0,02</b>	<b>0,25</b>	0,66	<b>0,19</b>

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

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



3.0.10.0/12-2012/10-10383702

Berekening van de toelaatbare boorspoeldruk conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project : Windpark Fryslan - boringen t.b.v. windparkbekabeling			
Projectonderdeel : Boorspoeldruk Kornwerderzand - Afsluitdijk - tekening nr. 482.15.2.039-103 Boring B - 250 HDPE			
<b>Grondmechanische gegevens</b>			
Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	$\gamma_d$	= 17	kN/m <sup>3</sup>
Volumiek gewicht natte grond	$\gamma_n$	= 17	kN/m <sup>3</sup>
Volumiek gewicht water	$\gamma_w$	= 10	kN/m <sup>3</sup>
Inwendige wrijvingshoek grond	$\varphi$	= 17,5	°
Effectieve cohesie	$c'$	= 2	kN/m <sup>2</sup>
E-modulus ondergrond	$E_{100}$	= 2	MN/m <sup>2</sup>
<b>Aanleggegevens</b>			
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 6,42	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	$H_d$	= 2	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	$H_n$	= 4,42	m
Afstand t.o.v. intredepunt	L	= 174,75	m
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m$	= 11,5	kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y$	= 15	Pa
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	$D_g$	= 760	mm
Diameter boorstang	$D_b$	= 101	mm
<b>1. Maximaal toelaatbare boorspoeldruk (conform NEN 3650-serie)</b>			
<i>1.1 Verticale terreinspanning</i>			
$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $\sigma_{vert} = \frac{17}{1,1} \cdot 2 + \frac{17}{1,1} \cdot 4,42 - 10 \cdot 4,42 = 55,02 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.2 Horizontale terreinspanning</i>			
$\sigma_{hor} = \sigma_{vert} \cdot (1 - \sin(\varphi))$ $\sigma_{hor} = 55,02 \cdot (1 - \sin(17,5)) = 38,47 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.3 Gemiddelde terreinspanning</i>			
$\sigma_o' = \frac{\sigma_{vert} + \sigma_{hor}}{2}$ $\sigma_o' = \frac{55,02 + 38,47}{2} = 46,75 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.4 Boorspoeldruk waarbij de eerste plastische vervormingen optreden</i>			
$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$ $p_f' = 46,75 \cdot (1 + \sin(17,5)) + 2 \cdot \cos(17,5) = 62,71 \text{ kN/m}^2$			
<i>1.5 Glijdingsmodulus</i>			
$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$ $G = \frac{2}{2 \cdot (1 + 0,4)} = 0,71 \text{ MN/m}^2$			
		26-08-2015 16:16:41	

**1.6 Bepaling van Q**

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

$$Q = \frac{46,75 \cdot \sin(17,5) + 2 \cdot \cos(17,5)}{0,71 \cdot 10^3} = 0,022$$

**1.7 Bepaling initiële straal boorgang en max. toelaatbare plastische zone**

$$R_o = \frac{D_o}{2} = 380 \text{ mm}$$

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}$$

$$R_{p,max} = \frac{6420,00}{2} = 3.210,00 \text{ mm}$$

**1.8 Berekening van de aanwezige waterspanning**

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$u = (10 \cdot 4,42) \cdot 10^{-3} = 0,04 \text{ N/mm}^2$$

**1.9 Effectieve limietdruk**

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

$$p_{lim} = (62,71 + 2 \cdot \cot(17,5)) \cdot Q^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - c \cdot \cot(17,5) + 0,04 = 0,20 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{lim,90\%} = 0,9 \cdot 0,20 = 0,18 \text{ N/mm}^2 = 1,84 \text{ bar} = 183,71 \text{ kPa}$$

**1.10 Maximaal toelaatbare boorspoeldruk**

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

$$p_{max} = (62,71 + 17,5 \cdot \cot(2)) \cdot \left( \frac{380^2}{3.210,00} + 0,02 \right)^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - 2 \cdot \cot(17,5) + 0,04$$

$$p_{max} = 0,19 \text{ N/mm}^2 = 1,86 \text{ bar} = 186,43 \text{ kPa}$$

**2. Minimaal benodigde boorspoeldruk**

**2.1 Statische druk**

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

$$p_{st} = (1.150,00 \cdot 9,81 \cdot 4,42) \cdot 10^{-6} = 0,05 \text{ N/mm}^2$$

**2.2 Drukverschil**

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

$$\Delta p = 4 \cdot \frac{0,000015}{760 - 101} \cdot 174.750,00 = 0,02 \text{ N/mm}^2$$

**2.3 Minimaal benodigde boorspoeldruk**

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

$$p_{min} = 0,05 + 0,02 = 0,07 \text{ N/mm}^2 = 0,66 \text{ bar} = 65,77 \text{ kPa}$$

**3. Conclusie**

$$p_{lim,90\%} < p_{max} \rightarrow p_{lim,90\%} \text{ is maatgevend}$$

$$p_{lim,90\%} > p_{min}$$

3.0.10.0/12-2012/10-10383702

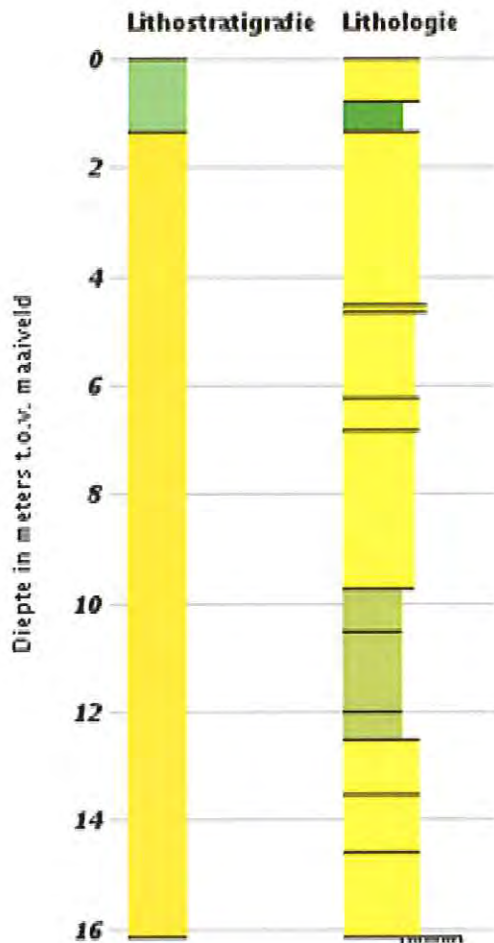
## Boormonsterprofiel en interpretatie

Identificatie: B10B0031

Coördinaten: 150858, 565151

Maaiveld: -3,40 m t.o.v. NAP

Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0,00 m - 16,15 m



Lithostratigrafie

NA  
BX

Lithologie

Leem  
Klei  
Zand fijne categorie

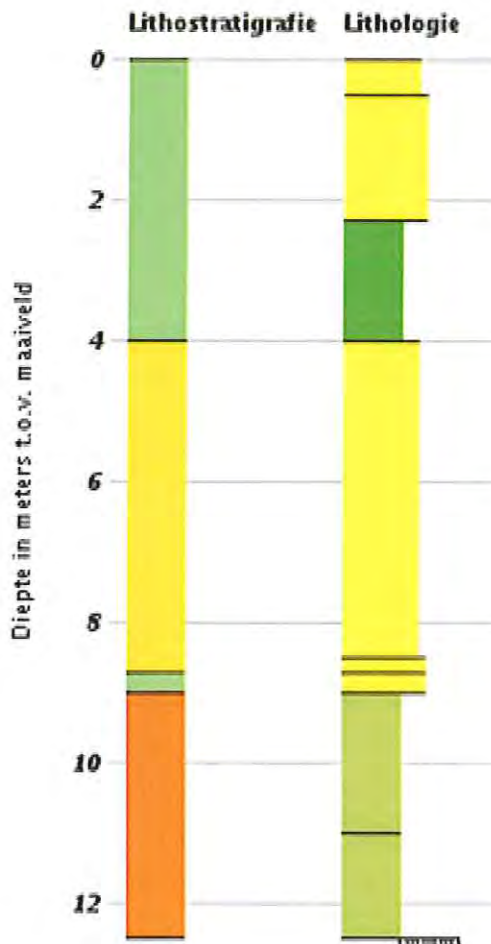
## Boormonsterprofiel en interpretatie

Identificatie: B10B0599

Coördinaten: 150806, 564985

Maaiveld: -2,85 m t.o.v. NAP

Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0,00 m - 12,50 m



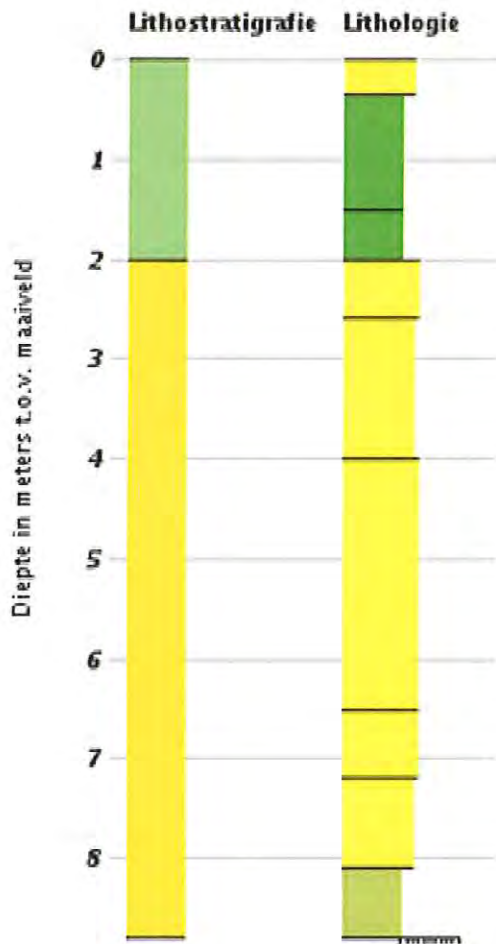
## Boormonsterprofiel en interpretatie

Identificatie: B10B1295

Coördinaten: 150680, 565033

Maaiveld: -4,00 m t.o.v. NAP

Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0,00 m - 8,80 m



Lithostratigrafie

NA  
BX

Lithologie

Leem  
Klei  
Zand fijne categorie



## Bijlage 4: Certificaten en productomschrijving

# TUNNEL-GEL™ PLUS



THE *Original* DRILLING FLUIDS COMPANY.

## Viscosifier/Gellant

- Beschrijving:** TUNNEL-GEL™ PLUS is speciaal geformuleerd voor gebruik in tunnelling en HDD. TUNNEL-GEL™ PLUS geeft de boorvloeistof viscositeit om het transport van boorgruis te bevorderen, maakt gemakkelijk verwijderen van de vaste delen d.m.v. scheidings-materieel, geeft stabiliteit aan het boorgat en levert een goed waterverlies (FL). Het is compatible met andere BAROID producten.
- Toepassing/Functies:**
- Geeft viscositeit aan de boorspoeling.
  - Heeft draagkracht voor het transport van boorgruis.
  - Reduceert waterpenetratie in de waterdoorlatende formatie.
  - Bevordert boorgat stabiliteit in moeilijke **consolidated** formaties.
- Voordelen:**
- Goed draagvermogen tijdens het boren.
  - Goede suspensie capaciteit tijdens stilstand.
  - Gemakkelijk te mengen en bereikt snel de maximale viscositeit.
  - Niet giftig en fermenteert niet.
- Typische eigenschappen:** Poeder, geel tot bruin  
Gewicht 2,600 kg/cm<sup>3</sup>  
pH in 3% oplossing 10,4
- Aanbevolen gebruik:** Meng langzaam door een hopper of strooi het in de vortex d.m.v. hoge snelheids **peddels**.  
In normale condities gebruik, voeg 25 – 35 kg/m<sup>3</sup> aan leidingwater toe.  
In moeilijke of grind condities, voeg 35 – 40 kg/m<sup>3</sup> aan leidingwater toe.  
Als het aanmaakwater een lage pH en/of een hoge hardheid heeft, voeg 0,7 kg SODA ASH per m<sup>3</sup> aan het water toe, daarna TUNNEL-GEL™ PLUS
- Verpakking:** TUNNEL-GEL™ PLUS is verpakt in 25 kg meervoudige, special gecoate zakken en in 1.000 kg big-bags.
- Verkrijgbaar:** TUNNEL-GEL™ PLUS wordt geleverd door onze distributeurs.

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.

## Bijlage 5: Technische gegevens diverse rigs

## Boorrig 4 ton, fabrikaat Vermeer D7x11 series II



Trekkkracht	4 ton
Drukkkracht	4 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	4010 x 900 x 1780 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 6 mtr)
Gewicht machine	2,5 ton
Motor	Turbo diesel (35 kW = 50 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	2711 Nm
Cabine	Geen cabine
Lavette	Slaglengte 1.800 mm

### Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 180 cm Ø 40 mm
Swivel	7 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 60 mm t/m Ø 315 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 200 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd in vrachtwagen
Transport	4x2 bakwagen

## Boorrig 7 ton, fabrikaat Vermeer D16x20 series II



Trekkkracht	7,2 ton
Drukkkracht	7 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	5100 x 1220 x 1920 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 6,5 mtr)
Gewicht machine	4,8 ton
Motor	Turbo diesel (47 kW = 65 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	2711 Nm
Cabine	Geen cabine
Lavette	Slaglengte 3.000 mm

### Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 300 cm Ø 48 mm
Swivel	10 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 60 mm t/m Ø 315 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 200 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd in vrachtwagen
Transport	4x2 bakwagen

## Boorrig 16 ton, fabriikaat Vermeer D36



Trekkkracht	16,5 ton
Drukkkracht	16 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine	6502 x 1905 x 2769 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 7 mtr)
Gewicht machine	9 ton
Rupsonderstel lxb	ca. 2200 x 400 mm Rubber (grondruk 5 N/cm <sup>2</sup> )
Motor	6 cylinder turbo diesel (104 kW = 140 PK)
Hellingshoek	10° - 18°
Boormotor koppel	6800 Nm
Cabine	Vaste cabine met transportstand
Lavette	Slaglengte 3.000 mm

### Toebehoren

Boorstangen	Firesticks II, L = 300 cm Ø 60 mm
Swivel	20 ton
Barrelreamers / Flycutters	Vanaf Ø 125 mm t/m Ø 750 mm
Boorkoppen	Jet Bit 70 mm t.b.v. walk-over/draadmeetsysteem
Meng- en pompsysteem	Site-Tec 750 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd op containersysteem
Transport	Transport op 6x6, rig op semi-dieplader

## Boorrig 100 ton, fabrikaat Prime PD 100 / 50 RP



Trekkracht	100 ton
Drukkracht	50 ton
Mechanisme	Tandheugel (R&P)
Afmetingen machine LxBxH	11000 x 1220 x 1920 mm (afstand intredepunt - achterzijde rig 17-20 mtr)
Gewicht machine	25 ton
Rupsonderstel lxb	ca. 4400 x 800 mm (gronddruk 7 N/cm <sup>2</sup> )
Motor	6 cylinder turbo diesel (104 kW = 140 PK)
Hellingshoek	8° - 17° (praktisch 10° - 15°)
Boormotor koppel	50.000 Nm
Cabine	Vaste cabine met transportstand
Lavette	Slaglengte t.b.v. boorstangen 6.000 mm

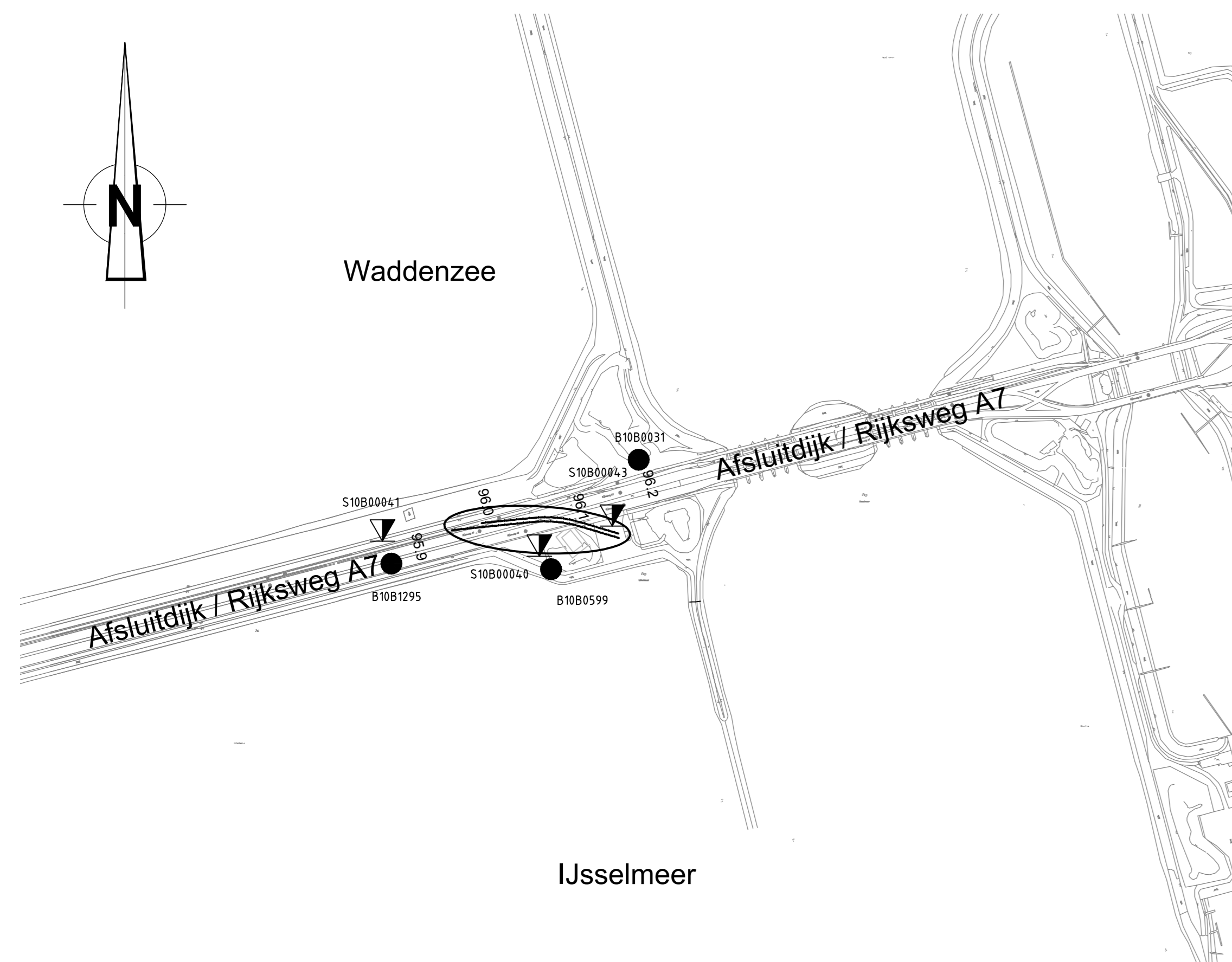
### Toebehoren

Boorstangen	5" met 4 1/2 IF tooljoint en 3,5" met 3 1/2 IF tooljoint
Swivel	100 ton, max. belasting 200 ton
Ruimers en Flycutters	Vanaf Ø 150 mm t/m Ø 1.350 mm
Boorkop	9-5/8" Toothbit + RVS bit
Mix- en recycling unit	1.600 ltr of 3.200 ltr / min, afhankelijk van de omvang van de boring. 1 of 2 st 20 ft containers.
Meng- en pompunit	2.500 ltr/min mix- & pompinstallatie gebouwd op containersysteem
Transport	Alles is gebouwd op 20 ft container met kabelsysteem. Eigen kraanauto (8x4).

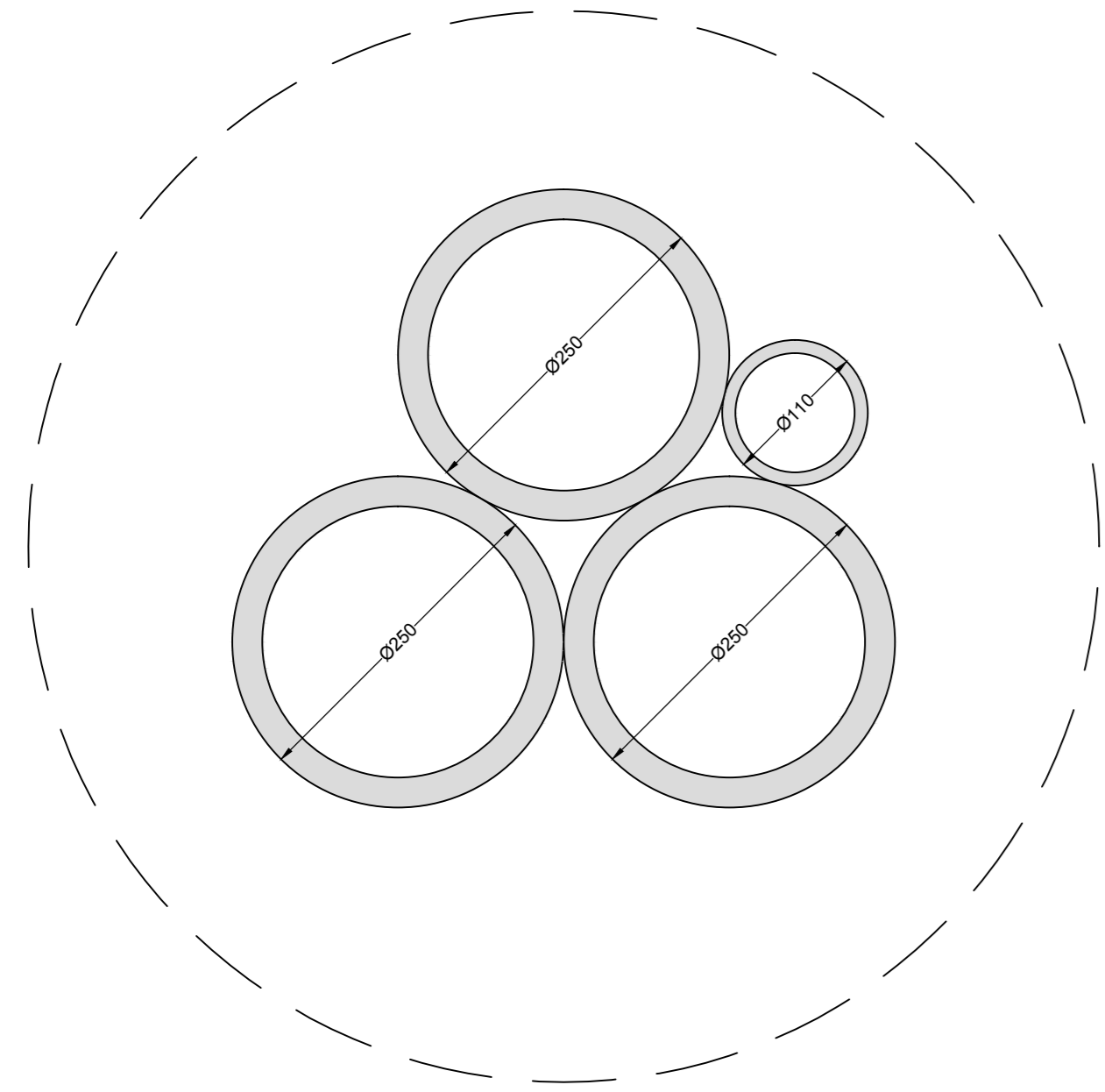
## Bijlage 6: Drill-sheet



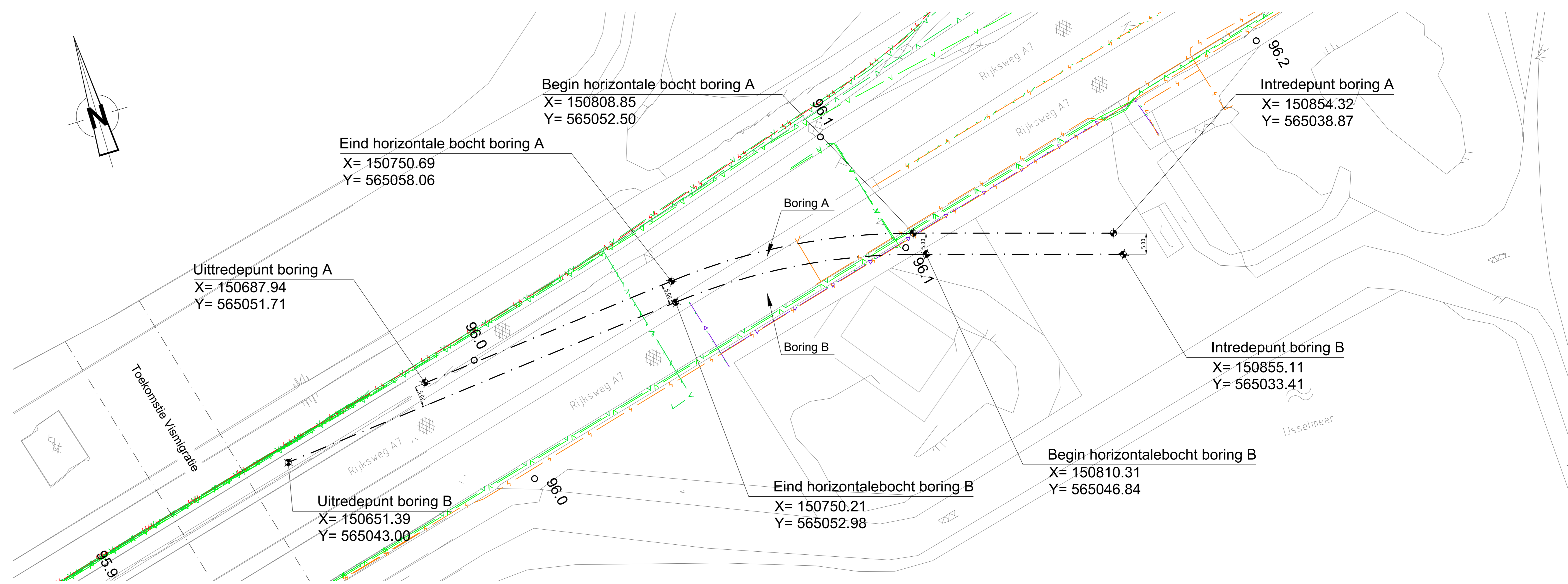




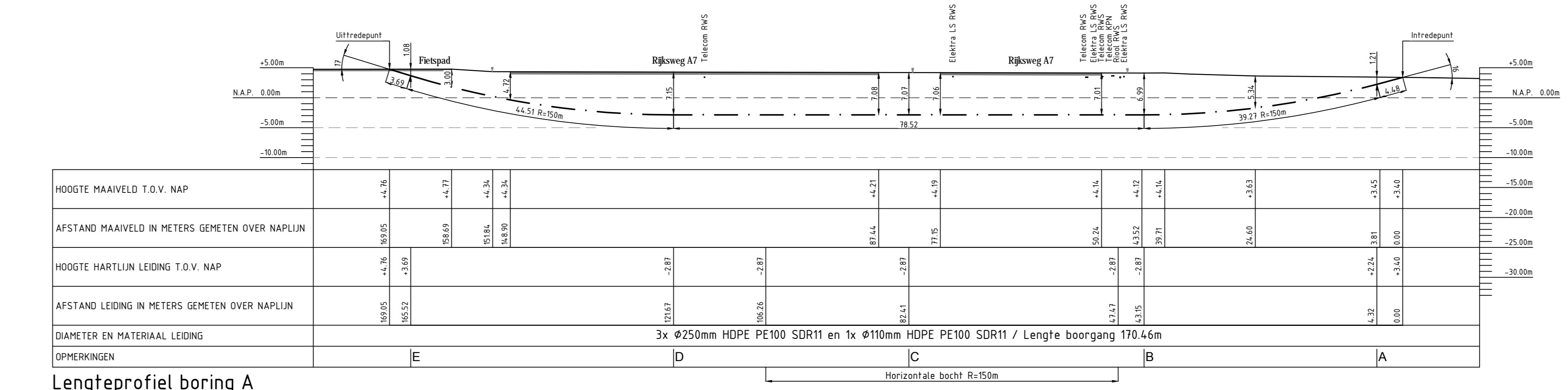
Overzicht  
schaal 1:500



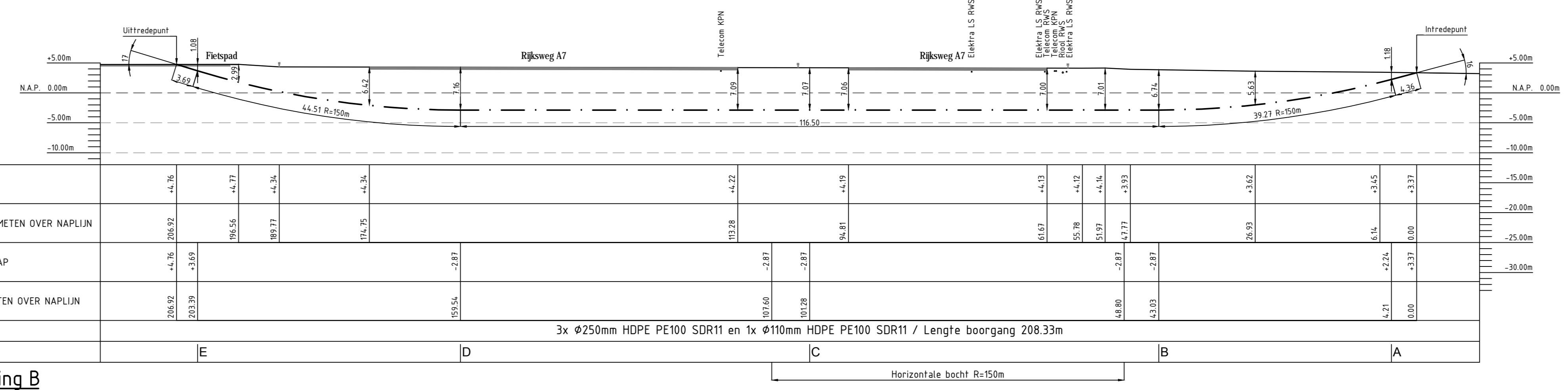
3x  $\phi 250$ mm HDPE PE100 SDR11  
1x  $\phi 200$ mm HDPE PE100 SDR11  
Doorsnede bundel boring A en B  
schaal 1:5



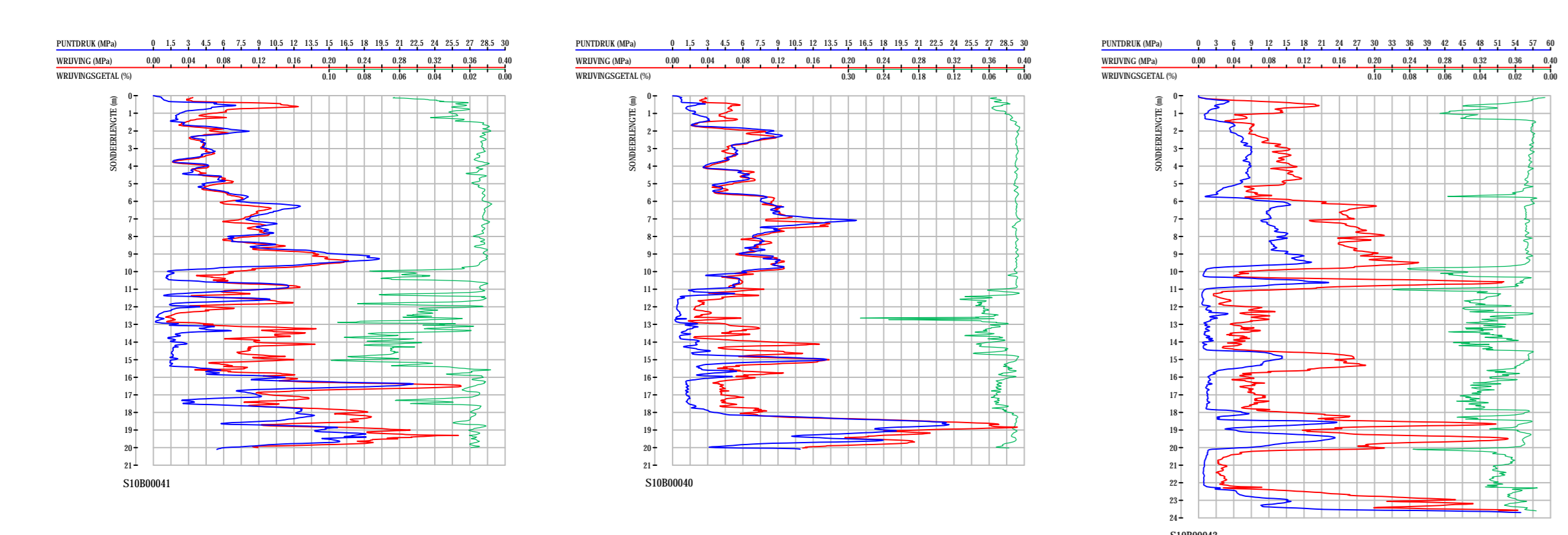
Overzicht  
schaal 1:500



Lengteprofiel boring A  
schaal 1:500



Lengteprofiel boring B  
schaal 1:500



Legenda bestaande K&L

- CO2 leiding
- Elektra LS
- Elektra MS
- Elektra HS
- LD gasleiding
- HD gasleiding
- Emulsie leiding
- Overstroom
- Waterleiding
- Transport waterleiding
- Warmte SV
- Sondering
- Grondbooring

0	26-08-2015	AL	RB	Voor vergoedingsaanvraag
Rev.	Datum	Get.	Gez.	WUZIGING

**Ventolines**  
 ONTWERP : R. Berger    GETEKEND : A. Lennerssen    DATUM : 26-08-2015  
 PROJECT : 482.15.2.039    SCHAAAL : 15000 / 2500 / 15    FORMAAT : A1  
 Windpark Fryslan  
 Afsluitdijk  
 Rijksweg A7 km 95.952 - km 96.148  
 Te maken gestuurde boring  
 482.15.2.039-103

## BIJLAGE 3F KWELWEGBEREKENINGEN





## Kwelwegberekening

HDD boring 482.15.2.039-100 en 101 – Locatie Sluisweg – Afsluitdijk

Boorplan: 482.15.2.039-01

<p><b>1. Inleiding</b></p> <p>In verband met de geplande aanleg van een kabeltracé t.b.v. Windpark Fryslân is het voornemen om een boring aan te brengen nabij de Sluisweg.</p> <p>Tijdens het uitvoeren van de laatste ruimgang van de boring, waarbij ook gelijk de mantelbuizen in het boorgat worden getrokken, wordt er Drill-Grout aangebracht. Het Drill-Grout wordt aangebracht door middel van het inspuiten via de nozzles welke op de boorkop aanwezig zijn. Het Drill-Grout wordt dus gedurende het hele boortracé, tijdens het intrekken van de mantelbuizen, aangebracht</p> <p>Hierbij ontstaat een goede afdichting door een volledige opvulling van de ruimte tussen de mantelbuizen met een plastisch materiaal, en dit over de gehele lengte van de boring. Door het gebruik van het Drill-Grout worden tevens verzakkingen voorkomen. Het voordeel van Drill-Grout is dat het weinig tot geen zetting heeft.</p> <p>Drill-Grout ontwikkelt zich tot een harde, echter nog, plastische formatie met een lage water doorlatendheid, om zo vermenging van de ondergrondse waterlagen te voorkomen. Drill-Grout is een zelfuithardende suspensie.</p> <p>In tegenstelling tot bentoniet-boorspoeling is er bij het gebruik van Drill-Grout geen uitpersing (consolidatie) van water. Dit voorkomt dus verzakkingen in de ondergrond.</p> <p>Drill-Grout voorkomt dat er een kwelstroom ontstaat via de boortunnel naar het in- en/of uittredepunt.</p>
<p><b>2. Kwelwegberekening</b></p> <p>Aan beide zijde is sprake van een verheelde waterkering.</p> <p>Gelet op het dwarsprofiel zijn er 3 maatgevende kwelsituaties te veronderstellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Een natuurlijke kwelweg van het water naar het intredepunt van de boring (peilverschil 3,09 m).</li> <li>• Een natuurlijke kwelweg van het water naar het uittredepunt van de boring (peilverschil 5,03m).</li> <li>• Een toetsing tussen de verschillende peilen aan beide zijden van het kanaal (peilverschil 0,7 m) en kwel langs de totale lengte van de boring.</li> </ul>
<p><b>3. Conclusie</b></p> <p>Uit de toetsing/kwelwegberekening (volgens de norm NEN 3651 Bijlage D) blijkt dat er een kans is op kwel, wanneer een weegfactor van 1/5 of kleiner wordt gebruikt.</p> <p>Echter de berekeningen volgens de NEN 3650/3651 voorzien niet in het aanbrengen van kwel beperkende maatregelen, zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van Drill-Grout.</p> <p>Tijdens het beschouwen van de berekening dient rekening gehouden te worden met het feit dat er Drill-Grout wordt toegepast.</p> <p>Om zettingen en kwel te voorkomen zal voor de genoemde boring tijdens de laatste “werkgang” (het intrekken van de mantelbuizen) Drill-Grout in de plaats van bentoniet worden aangebracht.</p>

Buiten het bovengenoemde kan er, indien nodig, gebruik gemaakt worden van een kwelremmende voorziening in de vorm van een kleikist en een kwelscherm. Vooralnog is er geen aanleiding om deze mitigerende maatregelen te treffen.

De locaties van de kwelschermen zijn weergegeven op de tekeningen 482.15.2.039-130 en 482.15.2.039-131

**Algemene gegevens**

Naam van het project : Windpark Fryslan

Projectonderdeel : Kwelwegberekening HDD boring Sluisweg tekening nr. 482.15.2.039-100

**Invoergegevens kwelwegen**

Locatie	Grondsoort afhankelijke factor	Peilverschil [m]	Lengte natuurlijke verticale kwelweg [m]	Lengte natuurlijke horizontale kwelweg [m]	Lengte alternatieve verticale kwelweg [m]	Lengte alternatieve horizontale kwelweg [m]	Weegfactor
Locatie 1	7	3,09	0,0	108,29	15,75	109,96	1/6
Locatie 2	7,0	5,03	0	225,11	23,45	226,77	1/6
Locatie 3	7	0,7	0	1352,40	0	1356,48	1/6

Berekening van de kwelwegen conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
<b>Toetsing kwelwegen</b>	
<p><i>Locatie 1 (Absolute toetsing):</i>  <math>C_L = 7</math>  <math>h = 3,09 \text{ m}</math>  <math>\Sigma L_{h1} = 109,96 \text{ m}</math>  <math>\Sigma L_{v1} = 15,75 \text{ m}</math>  <math>C_L \cdot h \leq \Sigma L_{v1} + \Sigma 1/3 \cdot L_{h1}</math>  <math>7 \cdot 3,09 \leq 15,75 + 1/3 \cdot 109,96</math>  <math>21,63 \leq 52,40 \rightarrow \text{Voldoet}</math></p> <p><i>Locatie 1 (Relatieve toetsing):</i>  <math>\Sigma L_{ho} = 108,29 \text{ m}</math>  <math>\Sigma L_{vo} = 0,0 \text{ m}</math>  <math>1/2 &gt; \alpha &gt; 3</math>  <math>\Sigma L_{vo} + \Sigma 1/3 \cdot L_{ho} \leq \Sigma L_{v1} + \Sigma \alpha \cdot L_{h1}</math>  <math>\alpha = 1/2 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 108,29 \leq 15,75 + 1/2 \cdot 109,96</math>  <math>36,10 \leq 70,73 \rightarrow \text{Voldoet}</math>  <math>\alpha = 1/3 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 108,29 \leq 15,75 + 1/3 \cdot 109,96</math>  <math>36,10 \leq 52,40 \rightarrow \text{Voldoet}</math>  <math>\alpha = 1/5 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 108,29 \leq 15,75 + 1/5 \cdot 109,96</math>  <math>36,10 \leq 37,74 \rightarrow \text{Voldoet}</math>  <math>\alpha = 1/6 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 108,29 \leq 15,75 + 1/6 \cdot 109,96</math>  <math>36,10 \leq 34,08 \rightarrow \text{Voldoet niet}</math></p> <p><i>Locatie 2 (Absolute toetsing):</i>  <math>C_L = 7,0</math>  <math>h = 5,03 \text{ m}</math>  <math>\Sigma L_{h2} = 226,77 \text{ m}</math>  <math>\Sigma L_{v2} = 23,45 \text{ m}</math>  <math>C_L \cdot h \leq \Sigma L_{v2} + \Sigma 1/3 \cdot L_{h2}</math>  <math>7,0 \cdot 5,03 \leq 23,45 + 1/3 \cdot 226,77</math>  <math>35,21 \leq 99,04 \rightarrow \text{Voldoet}</math></p> <p><i>Locatie 2 (Relatieve toetsing):</i>  <math>\Sigma L_{ho} = 225,11 \text{ m}</math>  <math>\Sigma L_{vo} = 0 \text{ m}</math>  <math>1/2 &gt; \alpha &gt; 3</math>  <math>\Sigma L_{vo} + \Sigma 1/3 \cdot L_{ho} \leq \Sigma L_{v2} + \Sigma \alpha \cdot L_{h2}</math>  <math>\alpha = 1/2 \rightarrow 0 + 1/3 \cdot 225,11 \leq 23,45 + 1/2 \cdot 226,77</math>  <math>75,04 \leq 136,84 \rightarrow \text{Voldoet}</math>  <math>\alpha = 1/3 \rightarrow 0 + 1/3 \cdot 225,11 \leq 23,45 + 1/3 \cdot 226,77</math>  <math>75,04 \leq 99,04 \rightarrow \text{Voldoet}</math>  <math>\alpha = 1/5 \rightarrow 0 + 1/3 \cdot 225,11 \leq 23,45 + 1/5 \cdot 226,77</math>  <math>75,04 \leq 68,80 \rightarrow \text{Voldoet niet}</math>  <math>\alpha = 1/6 \rightarrow 0 + 1/3 \cdot 225,11 \leq 23,45 + 1/6 \cdot 226,77</math>  <math>75,04 \leq 61,25 \rightarrow \text{Voldoet niet}</math></p>	
	27-08-2015 07:30:20



*Locatie 3 (Absolute toetsing):*

$$C_L = 7$$

$$h = 0,7 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{h3} = 1356,48 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{v3} = 0 \text{ m}$$

$$C_L \cdot h \leq \Sigma L_{v3} + \Sigma 1/3 \cdot L_{h3}$$

$$7 \cdot 0,7 \leq 0 + 1/3 \cdot 1356,48$$

$$4,90 \leq 452,16 \rightarrow \text{Voldoet}$$

*Locatie 3 (Relatieve toetsing):*

$$\Sigma L_{ho} = 1352,40 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{vo} = 0 \text{ m}$$

$$1/2 > \alpha > 3$$

$$\Sigma L_{vo} + \Sigma 1/3 \cdot L_{ho} \leq \Sigma L_{v3} + \Sigma \alpha \cdot L_{h3}$$

$$\alpha = 1/2 \rightarrow 0 + 1/3 \cdot 1352,40 \leq 0 + 1/2 \cdot 1356,48$$

$$450,80 \leq 678,24 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/3 \rightarrow 0 + 1/3 \cdot 1352,40 \leq 0 + 1/3 \cdot 1356,48$$

$$450,80 \leq 452,16 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/5 \rightarrow 0 + 1/3 \cdot 1352,40 \leq 0 + 1/5 \cdot 1356,48$$

$$450,80 \leq 271,30 \rightarrow \text{Voldoet niet}$$

$$\alpha = 1/6 \rightarrow 0 + 1/3 \cdot 1352,40 \leq 0 + 1/6 \cdot 1356,48$$

$$450,80 \leq 226,08 \rightarrow \text{Voldoet niet}$$

## Kwelwegberekening

HDD boringen 482.15.2.039-102 – Locatie Breezanddijk – Afsluitdijk

Boorplan: 482.15.2.039-02

### 1. Inleiding

In verband met de geplande aanleg van een kabeltracé t.b.v. Windpark Fryslân is het voornemen om een 8-tal boringen aan te brengen vanaf Breezanddijk naar het IJsselmeer.

Tijdens het uitvoeren van de laatste ruimgang van de boring, waarbij ook gelijk de mantelbuizen in het boorgat worden getrokken, wordt er Drill-Grout aangebracht. Het Drill-Grout wordt aangebracht door middel van het inspuiten via de nozzles welke op de boorkop aanwezig zijn. Het Drill-Grout wordt dus gedurende het hele boortracé, tijdens het intrekken van de mantelbuizen, aangebracht

Hierbij ontstaat een goede afdichting door een volledige opvulling van de ruimte tussen de mantelbuizen met een plastisch materiaal, en dit over de gehele lengte van de boring. Door het gebruik van het Drill-Grout worden tevens verzakkingen voorkomen. Het voordeel van Drill-Grout is dat het weinig tot geen zetting heeft.

Drill-Grout ontwikkelt zich tot een harde, echter nog, plastische formatie met een lage water doorlatendheid, om zo vermenging van de ondergrondse waterlagen te voorkomen. Drill-Grout is een zelfuithardende suspensie.

In tegenstelling tot bentoniet-boorspoeling is er bij het gebruik van Drill-Grout geen uitpersing (consolidatie) van water. Dit voorkomt dus verzakkingen in de ondergrond.

Drill-Grout voorkomt dat er een kwelstroom ontstaat via de boortunnel naar het in- en/of uittredepunt.

### 2. Kwelwegberekening

Aan één zijde is sprake van een verheelde waterkering. Het uittredepunt van de gestuurde boring komt uit in het IJsselmeer.

Gelet op het dwarsprofiel is er 1 maatgevende kwelsituatie te veronderstellen:

#### Boring 1

- Een natuurlijke kwelweg van het water naar het intredepunt van de boring (peilverschil 8,15 m).

#### Boring 8

- Een natuurlijke kwelweg van het water naar het intredepunt van de boring (peilverschil 8,15 m).

### 3. Conclusie

Uit de toetsing/kwelwegberekening (volgens de norm NEN 3651 Bijlage D) blijkt dat er een kans is op kwel, wanneer een weefactor van 1/5 of kleiner wordt gebruikt.

Echter de berekeningen volgens de NEN 3650/3651 voorzien niet in het aanbrengen van kwel beperkende maatregelen, zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van Drill-Grout.

Tijdens het beschouwen van de berekening dient rekening gehouden te worden met het feit dat er Drill-Grout wordt toegepast.

Om zettingen en kwel te voorkomen zal voor de genoemde boring tijdens de laatste “werkgang” (het intrekken van de mantelbuizen) Drill-Grout in de plaats van bentoniet worden aangebracht.

Buiten het bovengenoemde kan er, indien nodig, gebruik gemaakt worden van een kwelremmende voorziening in de vorm van een kleikist en een kwelscherm. Vooralsnog is er geen aanleiding om deze mitigerende maatregelen te treffen.

De locaties van de kwelschermen zijn weergegeven op de tekening 482.15.2.039-132.

**Algemene gegevens**

Naam van het project : Windpark Fryslan

Projectonderdeel : Kwelwegberekening HDD boring Breezanddijk tekening nr. 482.15.2.039-102 Boring 1

**Invoergegevens kwelwegen**

Locatie	Grondsoort afhankelijke factor	Peilverschil [m]	Lengte natuurlijke verticale kwelweg [m]	Lengte natuurlijke horizontale kwelweg [m]	Lengte alternatieve verticale kwelweg [m]	Lengte alternatieve horizontale kwelweg [m]	Weegfactor
Locatie 1	7	8,15	0,0	43,37	5,94	45,92	1/6

Toetsing kwelwegen

*Locatie 1 (Absolute toetsing):*

$$C_L = 7$$

$$h = 8,15 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{h1} = 45,92 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{v1} = 5,94 \text{ m}$$

$$C_L \cdot h \leq \Sigma L_{v1} + \Sigma 1/3 \cdot L_{h1}$$

$$7 \cdot 8,15 \leq 5,94 + 1/3 \cdot 45,92$$

$$57,05 \leq 21,25 \rightarrow \text{Voldoet niet}$$

*Locatie 1 (Relatieve toetsing):*

$$\Sigma L_{ho} = 43,37 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{vo} = 0,0 \text{ m}$$

$$1/2 > \alpha > 3$$

$$\Sigma L_{vo} + \Sigma 1/3 \cdot L_{ho} \leq \Sigma L_{v1} + \Sigma \alpha \cdot L_{h1}$$

$$\alpha = 1/2 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 43,37 \leq 5,94 + 1/2 \cdot 45,92$$

$$14,46 \leq 28,90 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/3 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 43,37 \leq 5,94 + 1/3 \cdot 45,92$$

$$14,46 \leq 21,25 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/5 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 43,37 \leq 5,94 + 1/5 \cdot 45,92$$

$$14,46 \leq 15,12 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/6 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 43,37 \leq 5,94 + 1/6 \cdot 45,92$$

$$14,46 \leq 13,59 \rightarrow \text{Voldoet niet}$$

**Algemene gegevens**

Naam van het project : Windpark Fryslan

Projectonderdeel : Kwelwegberekening HDD boring Breezanddijk tekening nr. 482.15.2.039-102 Boring 8

**Invoergegevens kwelwegen**

Locatie	Grondsoort afhankelijke factor	Peilverschil [m]	Lengte natuurlijke verticale kwelweg [m]	Lengte natuurlijke horizontale kwelweg [m]	Lengte alternatieve verticale kwelweg [m]	Lengte alternatieve horizontale kwelweg [m]	Weegfactor
Locatie 1	7	8,15	0,0	47,39	6,7	49,38	1/6

**Toetsing kwelwegen**

*Locatie 1 (Absolute toetsing):*

$$C_L = 7$$

$$h = 8,15 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{h1} = 49,38 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{v1} = 6,7 \text{ m}$$

$$C_L \cdot h \leq \Sigma L_{v1} + \Sigma 1/3 \cdot L_{h1}$$

$$7 \cdot 8,15 \leq 6,7 + 1/3 \cdot 49,38$$

$$57,05 \leq 23,16 \rightarrow \text{Voldoet niet}$$

*Locatie 1 (Relatieve toetsing):*

$$\Sigma L_{ho} = 47,39 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{vo} = 0,0 \text{ m}$$

$$1/2 > \alpha > 3$$

$$\Sigma L_{vo} + \Sigma 1/3 \cdot L_{ho} \leq \Sigma L_{v1} + \Sigma \alpha \cdot L_{h1}$$

$$\alpha = 1/2 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 47,39 \leq 6,7 + 1/2 \cdot 49,38$$

$$15,80 \leq 31,39 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/3 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 47,39 \leq 6,7 + 1/3 \cdot 49,38$$

$$15,80 \leq 23,16 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/5 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 47,39 \leq 6,7 + 1/5 \cdot 49,38$$

$$15,80 \leq 16,58 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/6 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 47,39 \leq 6,7 + 1/6 \cdot 49,38$$

$$15,80 \leq 14,93 \rightarrow \text{Voldoet niet}$$

## Kwelwegberekening

HDD boringen 482.15.2.039-104 – Locatie Breezanddijk – Afsluitdijk

Boorplan: 482.15.2.039-03

<p><b>1. Inleiding</b></p> <p>In verband met de geplande aanleg van een kabeltracé t.b.v. Windpark Fryslân is het voornemen om een 7-tal gestuurde boringen (HDD) aan te brengen vanaf Breezanddijk naar het IJsselmeer.</p> <p>Tijdens het uitvoeren van de laatste ruimgang van de boring, waarbij ook gelijk de mantelbuizen in het boorgat worden getrokken, wordt er Drill-Grout aangebracht. Het Drill-Grout wordt aangebracht door middel van het inspuiten via de nozzles welke op de boorkop aanwezig zijn. Het Drill-Grout wordt dus gedurende het hele boortracé, tijdens het intrekken van de mantelbuizen, aangebracht</p> <p>Hierbij ontstaat een goede afdichting door een volledige opvulling van de ruimte tussen de mantelbuizen met een plastisch materiaal, en dit over de gehele lengte van de boring. Door het gebruik van het Drill-Grout worden tevens verzakkingen voorkomen. Het voordeel van Drill-Grout is dat het weinig tot geen zetting heeft.</p> <p>Drill-Grout ontwikkelt zich tot een harde, echter nog, plastische formatie met een lage water doorlatendheid, om zo vermenging van de ondergrondse waterlagen te voorkomen. Drill-Grout is een zelfuithardende suspensie.</p> <p>In tegenstelling tot bentoniet-boorspoeling is er bij het gebruik van Drill-Grout geen uitpersing (consolidatie) van water. Dit voorkomt dus verzakkingen in de ondergrond.</p> <p>Drill-Grout voorkomt dat er een kwelstroom ontstaat via de boortunnel naar het in- en/of uittredepunt.</p>
<p><b>2. Kwelwegberekening</b></p> <p>Aan één zijde is sprake van een verheelde waterkering. Het uittredepunt van de gestuurde boring komt uit in het IJsselmeer.</p> <p>Gelet op het dwarsprofiel is er 1 maatgevende kwelsituatie te veronderstellen:</p> <p><b>Boring 9</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Een natuurlijke kwelweg van het water naar het intredepunt van de boring (peilverschil 8,35 m).</li></ul> <p><b>Boring 15</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Een natuurlijke kwelweg van het water naar het intredepunt van de boring (peilverschil 8,12 m).</li></ul>
<p><b>3. Conclusie</b></p> <p>Uit de toetsing/kwelwegberekening (volgens de norm NEN 3651 Bijlage D) blijkt dat er een kans is op kwel, wanneer een weegfactor van 1/5 of kleiner wordt gebruikt. Echter de berekeningen volgens de NEN 3650/3651 voorzien niet in het aanbrengen van kwel beperkende maatregelen, zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van Drill-Grout. Tijdens het beschouwen van de berekening dient rekening gehouden te worden met het feit dat er Drill-Grout wordt toegepast.</p>



Om zettingen en kwel te voorkomen zal voor de genoemde boring tijdens de laatste “werkgang” (het intrekken van de mantelbuizen) Drill-Grout in de plaats van bentoniet worden aangebracht.

Buiten het bovengenoemde kan er, indien nodig, gebruik gemaakt worden van een kwelremmende voorziening in de vorm van een kleikist en een kwelscherm. Vooralsnog is er geen aanleiding om deze mitigerende maatregelen te treffen.

De locaties van de kwelschermen zijn weergegeven op de tekening 482.15.2.039-133.

**Algemene gegevens**

Naam van het project : Windpark Fryslan

Projectonderdeel : Kwelwegberekening HDD boring Breezanddijk tekening nr. 482.15.2.039-104 Boring 9

**Invoergegevens kwelwegen**

Locatie	Grondsoort afhankelijke factor	Peilverschil [m]	Lengte natuurlijke verticale kwelweg [m]	Lengte natuurlijke horizontale kwelweg [m]	Lengte alternatieve verticale kwelweg [m]	Lengte alternatieve horizontale kwelweg [m]	Weegfactor
Locatie 1	7	8,35	0,0	45,28	6,32	47,78	1/6

**Toetsing kwelwegen**

*Locatie 1 (Absolute toetsing):*

$$C_L = 7$$

$$h = 8,35 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{h1} = 47,78 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{v1} = 6,32 \text{ m}$$

$$C_L \cdot h \leq \Sigma L_{v1} + \Sigma 1/3 \cdot L_{h1}$$

$$7 \cdot 8,35 \leq 6,32 + 1/3 \cdot 47,78$$

$$58,45 \leq 22,25 \rightarrow \text{Voldoet niet}$$

*Locatie 1 (Relatieve toetsing):*

$$\Sigma L_{ho} = 45,28 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{vo} = 0,0 \text{ m}$$

$$1/2 > \alpha > 3$$

$$\Sigma L_{vo} + \Sigma 1/3 \cdot L_{ho} \leq \Sigma L_{v1} + \Sigma \alpha \cdot L_{h1}$$

$$\alpha = 1/2 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 45,28 \leq 6,32 + 1/2 \cdot 47,78$$

$$15,09 \leq 30,21 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/3 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 45,28 \leq 6,32 + 1/3 \cdot 47,78$$

$$15,09 \leq 22,25 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/5 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 45,28 \leq 6,32 + 1/5 \cdot 47,78$$

$$15,09 \leq 15,88 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/6 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 45,28 \leq 6,32 + 1/6 \cdot 47,78$$

$$15,09 \leq 14,28 \rightarrow \text{Voldoet niet}$$

**Algemene gegevens**

Naam van het project : Windpark Fryslan

Projectonderdeel : Kwelwegberekening HDD boring Breezandijk tekening nr. 482.15.2.039-104 Boring 15

**Invoergegevens kwelwegen**

Locatie	Grondsoort afhankelijke factor	Peilverschil [m]	Lengte natuurlijke verticale kwelweg [m]	Lengte natuurlijke horizontale kwelweg [m]	Lengte alternatieve verticale kwelweg [m]	Lengte alternatieve horizontale kwelweg [m]	Weegfactor
Locatie 1	7	8,12	0,0	44,89	6,02	46,49	1/6

**Toetsing kwelwegen**

*Locatie 1 (Absolute toetsing):*

$$C_L = 7$$

$$h = 8,12 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{h1} = 46,49 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{v1} = 6,02 \text{ m}$$

$$C_L \cdot h \leq \Sigma L_{v1} + \Sigma 1/3 \cdot L_{h1}$$

$$7 \cdot 8,12 \leq 6,02 + 1/3 \cdot 46,49$$

$$56,84 \leq 21,52 \rightarrow \text{Voldoet niet}$$

*Locatie 1 (Relatieve toetsing):*

$$\Sigma L_{ho} = 44,89 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{vo} = 0,0 \text{ m}$$

$$1/2 > \alpha > 3$$

$$\Sigma L_{vo} + \Sigma 1/3 \cdot L_{ho} \leq \Sigma L_{v1} + \Sigma \alpha \cdot L_{h1}$$

$$\alpha = 1/2 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 44,89 \leq 6,02 + 1/2 \cdot 46,49$$

$$14,96 \leq 29,27 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/3 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 44,89 \leq 6,02 + 1/3 \cdot 46,49$$

$$14,96 \leq 21,52 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/5 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 44,89 \leq 6,02 + 1/5 \cdot 46,49$$

$$14,96 \leq 15,32 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$\alpha = 1/6 \rightarrow 0,0 + 1/3 \cdot 44,89 \leq 6,02 + 1/6 \cdot 46,49$$

$$14,96 \leq 13,77 \rightarrow \text{Voldoet niet}$$



## BIJLAGE 4 RAPPORTAGE FUGRO



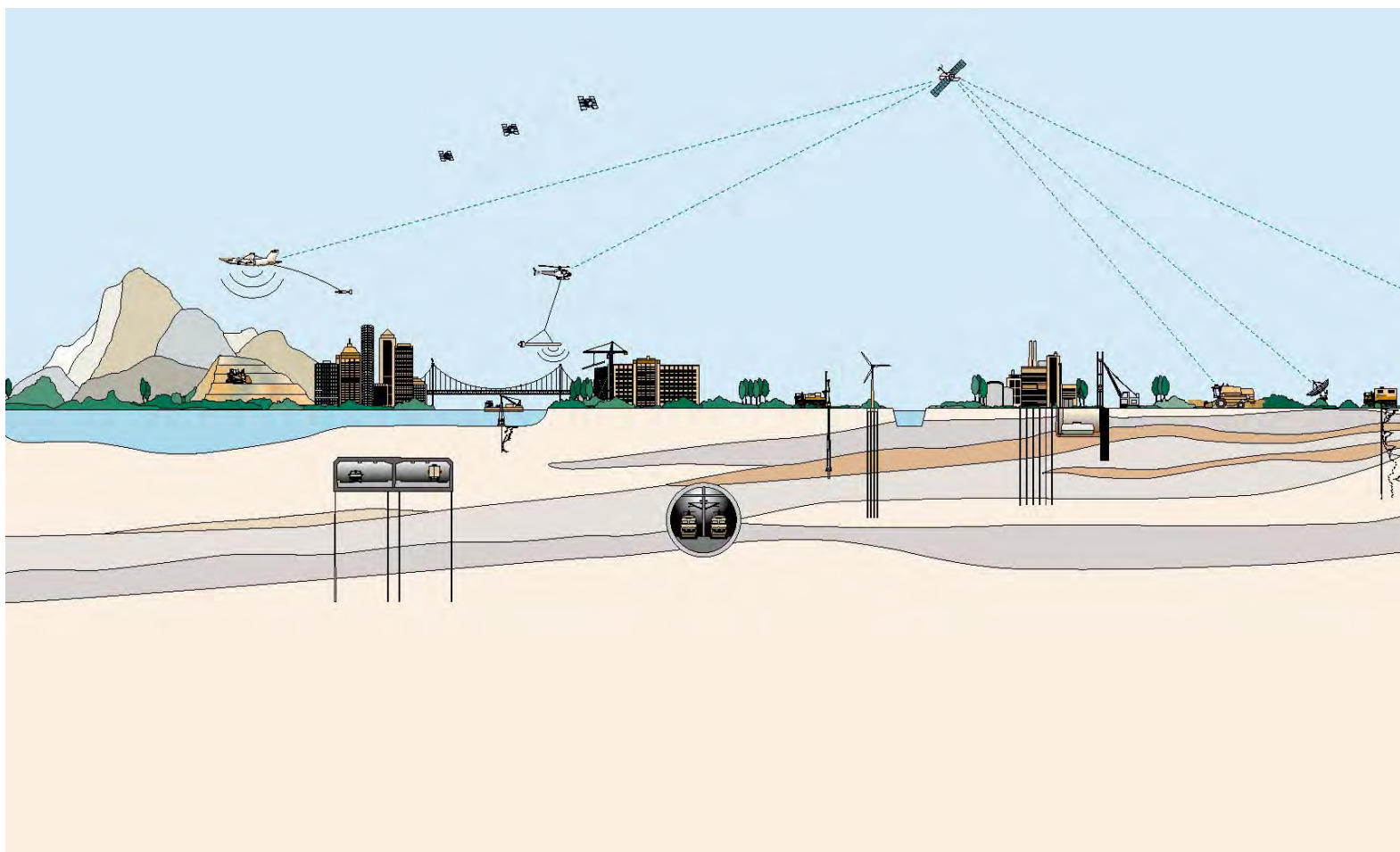




RAPPORT  
betreffende

**AANVULLENDE RISICOBESCHOUWING  
ELEKTRICITEITSKABELS IN AFSLUITDIJK**

Opdrachtnummer: 1013-0226-006



RAPPORT  
betreffende

**AANVULLENDE RISICOBESCHOUWING  
ELEKTRICITEITSKABELS IN AFSLUITDIJK**

Opdrachtnummer: 1013-0226-006

Opdrachtgever : Ventolines  
Postbus 1054  
8300 BB Emmeloord

Projectleider : ir. W.R. Halter

Mede opgesteld door : ing. P.A.J. Kivit  
Adviseur Geotechniek

ir. F. Hogervorst  
Adviseur Monitoring

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	8 september 2015	Concept, excl. kwaliteit grasmat	
2	8 september 2015	Concept, incl. kwaliteit grasmat	
3	14 september 2015	Opmerkingen verwerkt	

FILE: 1013-0226-006.R01v03

<u>INHOUDSOPGAVE</u>	<u>Blz.</u>
1. INLEIDING	1
1.1. Achtergrond	1
1.2. Doelstelling	1
1.3. Opbouw rapport	2
2. AANVULLEND ONTVANGEN INFORMATIE	3
3. LIGGING KABEL BIJ DOORSTEEK VISMIGRATIERIVIER	4
3.1. Inleiding	4
3.2. Situatiebeschrijving	4
3.3. Beoordeling veiligheid van coupure	5
3.4. Alternatief met HDD-boring	6
3.5. Conclusie	6
4. VERWACHTING HOLLE RUITES LANGS KABEL	7
4.1. Inleiding	7
4.2. Grond-kabelinteractie	7
4.3. Risico's van holle ruimtes langs kabels voor de veiligheid van de waterkering	7
5. HDD-BORINGEN EN ZETTINGSVLOEIINGEN	9
5.1. Inleiding	9
5.2. Obstakels in de ondergrond	9
5.3. Zettingen bij HDD-boringen	10
5.4. Stabiliteit waterkering bij HDD-boringen	23
5.5. Kwelweganalyse bij HDD-boringen	24
5.6. Zettingsvloeiing	24
6. KWALITEIT GRASMAT	28
6.1. Inleiding	28
6.2. Modelstrategie, uitgangspunten en randvoorwaarden	29
6.2.1. <i>Sectie Oost</i>	30
6.2.2. <i>Sectie West</i>	31
6.2.3. <i>Modeldomein "West"</i>	32
6.2.4. <i>Modeldomein "Oost"</i>	33
6.2.5. <i>Algemene randvoorwaarden</i>	34
6.3. Resultaten stap 1	36
6.4. Resultaten stap 2	37
6.5. Resultaten stap 3 en 4	39
6.6. Potentiele verdampingstoename	41
6.6.1. <i>Warmtestroom aan maaiveld</i>	41
6.6.2. <i>Normale kabelwarmtestroom</i>	42
6.6.3. <i>Kortdurende warmtepuls</i>	43
6.7. Conclusie temperatuureffect op kwaliteit grasmata	44
7. CONCLUSIES	46

BIJLAGEN

Nr.

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| - Rapportage Tebodin                  | 1 |
| - Resultaten stabiliteitsberekeningen | 2 |
| - Uitgangspunten kabelvermogen        | 3 |
| - Product data blad Cebo drill grout  | 4 |

## 1. INLEIDING

Op 25 augustus 2015 ontving Fugro GeoServices B.V. te Nieuwegein van Ventolines te Emmeloord de opdracht voor het opstellen van een aanvullende risicobeschouwing omtrent de aanleg en het beheer van hoogspanningskabels in de Afsluitdijk.

### 1.1. Achtergrond

In het IJsselmeer is Windpark Fryslân BV voornemens om een windpark te realiseren ten zuiden van de Afsluitdijk ter hoogte van de Breezanddijk. Het plan voorziet in maximaal twee hoogspanningscircuits (twee bundels van drie kabels, hierna wordt voor de duidelijkheid gesproken over 'twee kabels') in de Afsluitdijk die de opgewekte elektriciteit naar het landelijke hoogspanningsnet in Friesland transporteren.

Op 20 januari 2015 is door Fugro een geotechnisch advies en een risicoanalyse opgesteld betreffende de effecten op de waterkering ten gevolge van Windpark Fryslân (rapport met kenmerk 1013-0226-000.R01V08). Hierin zijn de risico's van het gehele project op de waterkering beschouwd, inclusief de bouw van windturbines, de bouw van een transformatorstation bij Breezanddijk en de aanleg van elektriciteitskabels. De conclusie van dit rapport is dat de risico's goed beheersbaar zijn.

Naar aanleiding van vragen van Rijkswaterstaat en overleg hierover is op 21 mei 2015 door Fugro een aanvullende risicoanalyse opgesteld, waarin alleen de risico's van de elektriciteitskabels zijn beschouwd en in hoger detailniveau op de mogelijke risico's wordt ingegaan. Het tracé is beschouwd vanaf de gestuurde boringen bij de aanlanding bij het transformatorstation op Breezanddijk tot aan het einde van de Afsluitdijk. Hierin is specifiek ingegaan op enkele aspecten die zijn benoemd op een risicosessie met Rijkswaterstaat en Deltares op 11 februari 2015. Met behulp van berekeningen is inzicht verschaft in de grootte van deze risico's.

Op 6 augustus is er een bespreking geweest met Rijkswaterstaat en Deltares waarin is gevraagd om enkele aanvullende beschouwingen.

### 1.2. Doelstelling

Het doel van dit rapport is om antwoord te geven op een deel van de aanvullende vragen van de bespreking van 6 augustus 2015 conform ook het verzoek van Rijkswaterstaat in reactie op de ingediende vergunningsaanvraag van Windpark Fryslân. De volgende vragen worden in dit rapport behandeld:

#### Afspraak 2 - Ligging kabel doorsteek vismigratierivier

- Hoe kan de hoogspanningskabel worden ingepast, zodat de effecten op de waterkerende veiligheid van de voorziene coupure bij de doorsteek van de voorziene vismigratierivier in de Afsluitdijk aanvaardbaar klein zijn?

#### Afspraak 6 – Verwachting holle ruimtes

- In hoeverre is er een risico voor het ontstaan van holle ruimtes rondom de kabels in de dam?
- Tot welke verschilzettingen kunnen de holle ruimtes leiden aan het maaiveld?
- Wat zijn de risico's van holle ruimtes voor de waterkerende veiligheid van de dam?

#### Afspraken 8, 9 en 10 - HDD-boringen en zettingsvloeiingen

- In hoeverre er bij de Lorentzsluizen bij Kornwerderzand sprake is van funderingen of damwanden langs het boortracé?
- Wat zijn de zettingen boven de HDD-boring volgens de Methode Peck?
- Kan worden aangetoond dat de stabiliteit van de waterkering bij het in- en uittredepunt van de HDD-boring niet in het geding is?
- Kan de kwelweg van de HDD-boringen worden berekend volgens bijlage D van NEN3651:2012?
- Kan met een geometrische beschouwing worden aangetoond dat het risico van zettingsvloeiing bij de HDD-boringen nihil is?

Ten behoeve van deze beantwoording en om de uitvoerbaarheid van de boringen, conform verzoek Rijkswaterstaat, aan te tonen is een eerste voorontwerp van de boringen opgesteld. Voor de tracé engineering van de HDD-boringen wordt verwezen naar de rapportages van KL Infra Engineering B.V.

#### Afspraak 11 – Kwaliteit grasmat

- Waar gaat de warmte van elektriciteitskabel naar toe?

### **1.3. Opbouw rapport**

In het volgende hoofdstuk wordt beschreven welke aanvullende informatie is ontvangen ten opzichte van het op 21 mei 2015 door Fugro gerapporteerde onderzoek. In hoofdstuk 3 tot en met 6 wordt achtereenvolgens ingegaan op de hierboven beschreven vier deelonderwerpen. De conclusies zijn in hoofdstuk 7 samengevat.

## 2. AANVULLEND ONTVANGEN INFORMATIE

De volgende informatie is beschikbaar gesteld door de opdrachtgever na oplevering van het Fugro-rapport van 21 mei 2015:

### *Voorontwerptekeningen vismigratierivier*

- Vismigratierivier Kornwerderzand, doorlaatmiddel Afsluitdijk, doorsteek dam Waddenzee, Grontmij, 1 mei 2015.
- Vismigratierivier Kornwerderzand, doorlaatmiddel Afsluitdijk, profielen coupure, Grontmij, 5 mei 2015.
- Vismigratierivier Kornwerderzand, doorlaatmiddel Afsluitdijk, bouwkuipen coupure, Grontmij, 5 mei 2015.
- Definitief ontwerp vismigratierivier Kornwerderzand, doorlaatmiddel Afsluitdijk, versie 1 zonder regelwerk, profielen coupure, Grontmij, 21 juli 2015.
- Definitief ontwerp vismigratierivier Kornwerderzand, doorlaatmiddel Afsluitdijk, versie 1 met regelwerk, profielen coupure, Grontmij, 21 juli 2015.
- Concept interface coupure kabels Windpark Fryslân, Ventolines, 14 september 2015.

### *Veldstrekkingen leiding*

- Terugmelding overleg elektromagnetische velden i.r.t. effecten op weg- en voertuigsystemen, e-mail Rijkswaterstaat, 6 juli 2015.
- Dwarsprofiel dijkvak 10, kabels onder fietspad, Ventolines, 10 juli 2015
- Rek- en buigstijfheid kabels, e-mail Ensol, 12 augustus 2015.
- Benodigde gegevens kabelstudie, e-mail Ventolines, 26 augustus 2015.
- Export kabel verbinding. Toelichting op technische vragen Pondera Consult, Ensol, concept, 20 augustus 2015.
- Thermisch vermogen per strekkende meter kabel, e-mail Ventolines, 3 september 2015.

### *Leidingkruisingen (voorontwerpen)*

- Boorplan, uitvoeren HDD-boringen Afsluitdijk / Kornwerderzand, Friesland, KL Infra Engineering, 21 augustus, 2015.
- Boorplan, uitvoeren HDD-boringen t.b.v. kabeltracé Windpark Fryslân Afsluitdijk / Kornwerderzand, km 96.1 te Friesland, KL Infra Engineering, 24 augustus, 2015.
- Boorplan, uitvoeren HDD-boringen t.b.v. kabeltracé Windpark Fryslân Afsluitdijk / Kornwerderzand, km 97.5 te Friesland, KL Infra Engineering, 24 augustus, 2015.
- Boorplan, uitvoeren HDD-boringen t.b.v. windparkbekabeling Windpark Fryslân Afsluitdijk / Breezanddijk, boring 1 t/m 8 Friesland, KL Infra Engineering, 24 augustus, 2015.
- Boorplan, uitvoeren HDD-boringen t.b.v. windparkbekabeling Windpark Fryslân Afsluitdijk / Breezanddijk, boring 9 t/m 15 Friesland, KL Infra Engineering, 24 augustus, 2015.
- HDD-boring vismigratierivier, tekening 482.15.2.039-103-1, Ventolines, 10 september 2015.

### 3. LIGGING KABEL BIJ DOORSTEEK VISMIGRATIERIVIER

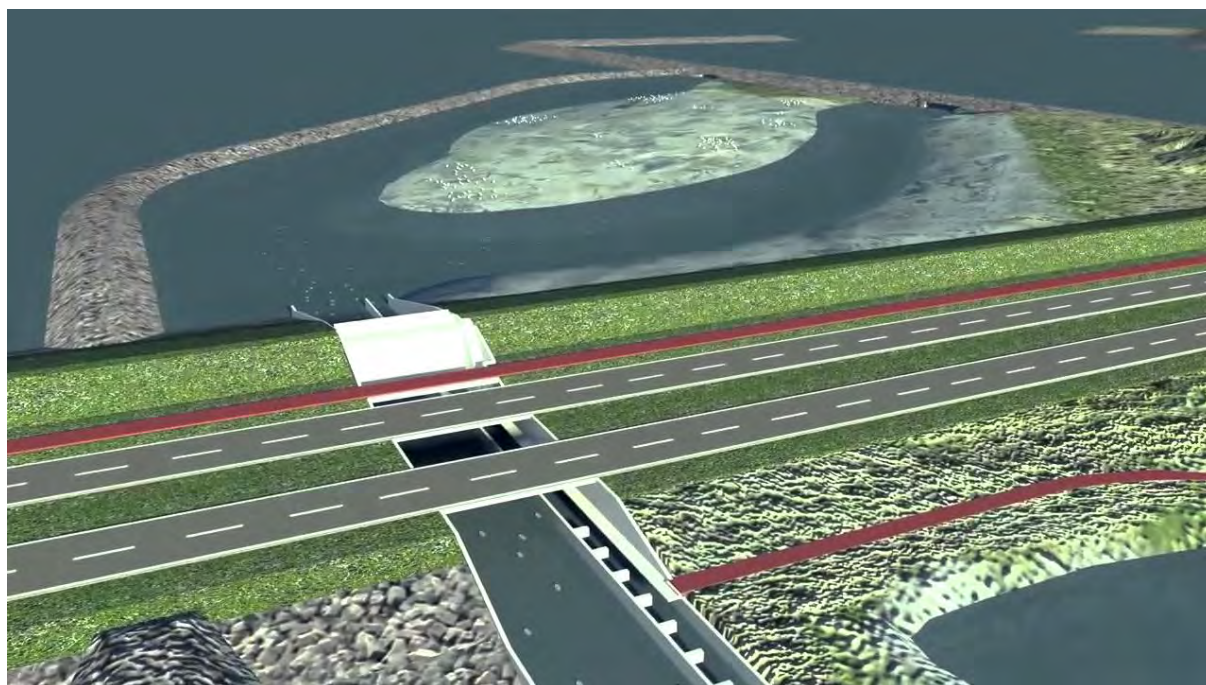
#### 3.1. Inleiding

In het Fugro-rapport van 21 mei 2015 is de kruising van de elektriciteitskabel met de doorsteek (coupure) van de vismigratierivier niet beschouwd, mede omdat er nog geen ontwerp beschikbaar was van het waterkerende kunstwerk ter plaatse van de doorsteek van de Afsluitdijk. De coupure wordt de Rijkswaterstaat gerealiseerd en door de nog te selecteren aannemer van Rijkswaterstaat ontworpen en aangelegd in de toekomst. In dit hoofdstuk is een kwalitatieve beschouwing uitgevoerd op basis van voorontwerptekeningen.

#### 3.2. Situatiebeschrijving

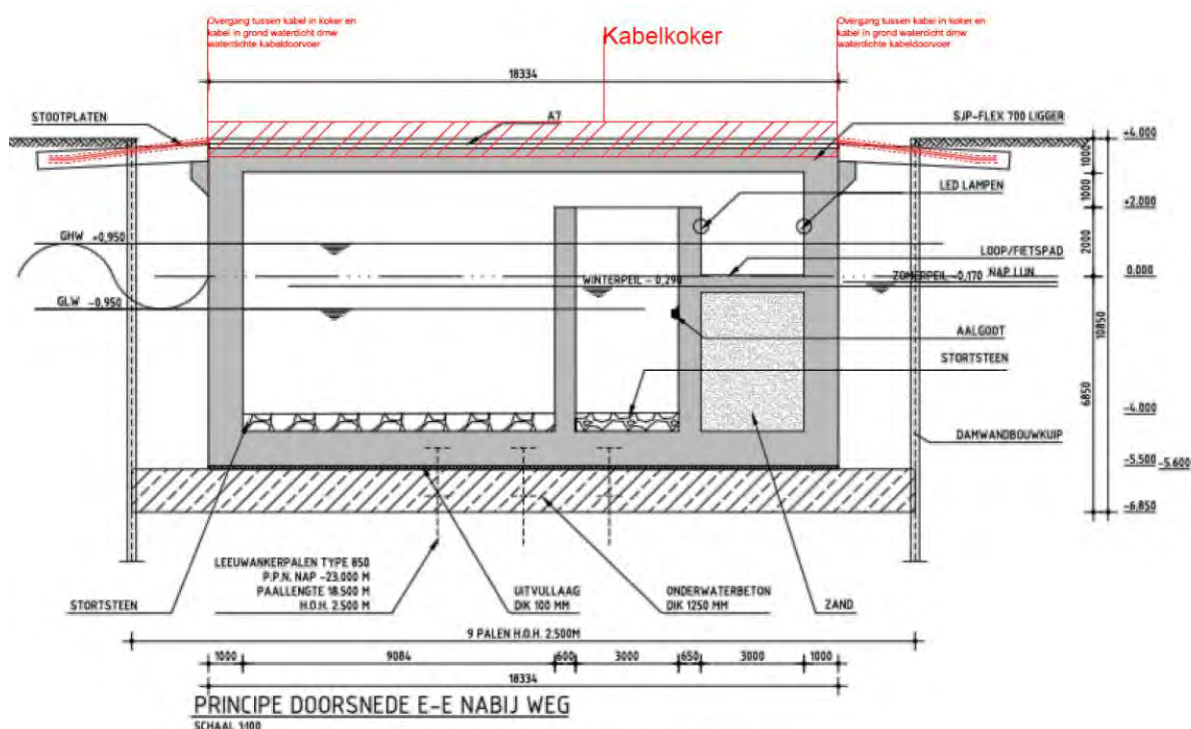
De vismigratierivier is net ten westen van Kornwerderzand voorzien. Het zal een coupure vormen in de Afsluitdijk, die ter hoogte van de tuimeldijk afsluitbaar is met een dubbele deur. Er is een voorontwerptekening beschikbaar, maar hierop zijn nog niet alle details ingevuld. Zo is er op de tekening nog geen fietsbrug/inspectiepad opgenomen.

De kabel is aan weerszijden van de vismigratierivier onder het fietspad voorzien. Het voorkeursalternatief is om de kabel bij het kunstwerk onder het fietspad door te trekken in een kabelgoot, omhuld met een beschermkoker. Uittredend grondwater wordt voorkomen door de kruising van de kabel met de muur van de doorsteek water- en grond dicht af te werken. Alternatief is een boring onder de coupure door waardoor een directe kruising met de coupure wordt vermeden.



Figuur 3.1 – Artist Impression van doorsteek vismigratierivier in Afsluitdijk (bron: [www.deafsluitdijk.nl](http://www.deafsluitdijk.nl))





Figuur 3.2 – Kabeldoorvoer bij doorsteek vismigratierivier in Afsluitdijk (bron: definitief ontwerp vismigratierivier Afsluitdijk Kornwerderzand)

### 3.3. Beoordeling veiligheid van coupure

Er is nog niet bekend hoe de waterkerende veiligheid van de coupure precies wordt gegarandeerd, omdat het definitieve ontwerp van de vismigratierivier nog niet beschikbaar is. Dit heeft als voordeel dat het in plan van de vismigratierivier nog kan worden geanticipeerd op de hoogspanningskabel. Bij het ontwerp zal rekening moeten worden gehouden met de aanbevelingen uit de Leidraad Kunstwerken van TAW van mei 2003.

De doorsteek van de vismigratierivier is volgens de Leidraad Kunstwerken een type I constructie, omdat deze volledig zelfstandig de waterkerende functie moet vervullen. Bij de beoordeling van de veiligheid wordt in het algemeen gekeken naar drie aspecten:

1. kerende hoogte
2. betrouwbaarheid van de afsluitmiddelen
3. sterkte en stabiliteit.

Ad. 1: De kabel heeft geen invloed op de kerende hoogte van dit kunstwerk, omdat deze niet kruist met het afsluitmiddel.

Ad. 2: De kabel kan op enkele manieren invloed hebben op de betrouwbaarheid van de afsluitmiddelen:

- Rondom de hoogspanningskabel is sprake van beperkt elektromagnetisch veld en een beperkt verhoogde temperatuur en geen elektrisch veld als gevolg van de opbouw van de kabel. Door voldoende afstand aan te houden tussen de hoogspanningskabels en de kabels van de meet- en regeltechniek van de afsluitmiddelen liggen, dan is wederzijdse beïnvloeding uit te sluiten. op grond van de gewenste locatie van de hoogspanningskabels en de afstand tot de sluitende delen in het voorontwerp vormt dit

naar verwachting geen belemmering. Aanbevolen wordt in het ontwerp onderbouwd voldoende fysieke tussenafstand aan te houden. Bovendien dient, zoals te doen gebruikelijk, het sturingssysteem van de afsluitmiddelen bij voorkeur dubbel en onafhankelijk van elkaar worden uitgevoerd.

- Aanbevolen wordt tijdens (dreigend) hoog water geen werkzaamheden aan de hoogspanningskabel uit te voeren om werkzaamheden in de nabijheid van de kerende delen (en mogelijke schade of hinder hierdoor) volledig uit te sluiten.

Ad. 3: De kabel kan op enkele manieren invloed hebben op de sterkte en stabiliteit van dit kunstwerk:

- In het onwaarschijnlijke geval van een kortsluiting in de kabels, zullen er krachten op de beschermkoker worden uitgevoerd in potentie. De beschermkoker rondom de kabel kan hierop eenvoudig worden gedimensioneerd, omdat uit eerdere beschouwingen in het rapport van 21 mei 2015 is gebleken, dat deze krachten relatief gering zijn.
- Bij een lekkage rondom de aansluiting van de kabel in de dijk kan kwel en interne erosie in het aansluitende damlichaam optreden. Er zijn echter middelen beschikbaar, zoals een flexibele rubberen afdichting of een kleikist, om een waterdichte en gronddichte aansluiting te creëren, zelfs bij de optredende uitzetting en krimp van de kabel door temperatuurverschillen. Toepassing van een water- en gronddichte aansluiting is een uitgangspunt voor de toepassing van de kabel in de kabelgoot/beschermkoker.
- De aansluiting van de kabel met de muur van de doorsteek vormt een star punt, terwijl de grond nog enkele centimeters kan zakken, indien de dijk wordt verhoogd. Rekening dient derhalve te worden gehouden met de mogelijkheid van krachtsafdracht van de kabel naar de muur. De muur kan hierop worden gedimensioneerd. Bovendien is de kans op holle ruimtes onder de kabels hier lokaal aanwezig. Zolang de aansluiting met de muur water- en grond dicht is afgesloten, heeft dit echter geen consequenties voor de veiligheid. Aanbevolen wordt bij het leggen van de kabel in de overgang enige ruimte voor zetting op te nemen (max. 5 cm) om rekening te houden met het scenario dat de dijk maximaal wordt opgehoogd aangezien dit de maximale zetting is die wordt verwacht. Hiermee kan het ontstaan van holle ruimtes worden voorkomen evenals een krachtsafdracht.

### **3.4. Alternatief met HDD-boring**

Als alternatief is een HDD-boring beschouwd onder de doorsteek van de vismigratierivier. De hierboven beschreven aandachtspunten zoals beïnvloeding van de meet- en regeltechniek van de afsluitmiddelen en lekkage rondom aansluitingen met het kunstwerk spelen dan niet meer. Wel spelen er aandachtspunten, die ook bij andere HDD-boringen spelen. Hierop wordt ingegaan in hoofdstuk 5.

### **3.5. Conclusie**

Op basis van bovenstaande beschouwing is een hoogspanningskabel bij de doorsteek van de vismigratierivier goed inpasbaar met beheersbare effecten op de veiligheid van de waterkering of het ontwerp van het toekomstige kunstwerk. Aanbevolen wordt om bij het ontwerp van de fietsbrug over de vismigratierivier en van de meet- en regeltechniek voor de afsluitmiddelen al te anticiperen op de aanwezigheid van kabels door dit in het programma van eisen voor het ontwerp van het kunstwerk op te nemen.

## 4. VERWACHTING HOLLE RUIMTES LANGS KABEL

### 4.1. Inleiding

Er is zorg dat bij zettingen van de Afsluitdijk holle ruimtes kunnen ontstaan langs de kabel op de veldstrekkings (met de dijk parallelle delen van het tracé) als deze niet volledig meebeweegt met de zetting. In het Fugro-rapport van 21 mei 2015 is berekend dat de verwachte zettingen bij de kabel ten gevolge van grootste denkbare ophoging van de Afsluitdijk circa 0,03 m zijn. In dit hoofdstuk wordt met behulp van berekeningen nader ingegaan in hoeverre er door grondvervormingen van de berekende orde van grootte holle ruimtes langs de kabels kunnen ontstaan en of dit een negatief effect kan hebben op veiligheid van de dam.

### 4.2. Grond-kabelinteractie

De grond-kabelinteractie is beschouwd door Tebodin in haar rapport van 7 september 2015 (zie bijlage 1) conform de methode die door Deltares is verzocht. Daarin is uitgegaan van ca. 0,05 m zakking door zettingen ten gevolge van een potentiële toekomstige ophoging van de Afsluitdijk, plus nog circa 0,01 m tijdens uitvoering. Dit levert een maximaal zakkingsverschil op van ca. 0,06 m. Uit dit rapport blijkt dat er alleen holle ruimtes langs de kabels kunnen ontstaan als de zakkingsverschillen over een afstand van minder dan 2 à 3 m zullen optreden. Bij de veldstrekkings zullen de holle ruimtes verwaarloosbaar zijn, omdat eventuele zakkingsverschillen er veel geleidelijker zullen optreden (de ophoging is immers in de lengterichting; gelijk aan het tracé van de kabel). Bij de aansluiting van de kabels bij kruisingen is alleen sprake van potentiële, abrupte zakkingsverschillen. Dit betreft 5 locaties: Breezanddijk, de kruising van de vismigratierivier (2x) en Kornwerderzand (2x). Daar kunnen heel lokaal in potentie spleten langs de leiding ontstaan van 1 à 2 m lengte door zakkingsverschillen, tenzij men in de detaillering een flexibele aansluiting realiseert, bijvoorbeeld met een mantelbuis.

### 4.3. Risico's van holle ruimtes langs kabels voor de veiligheid van de waterkering

Op basis van het rapport van Tebodin zullen er nauwelijks holle ruimtes ontstaan langs de kabel. Het beschouwen ervan is dus eigenlijk niet meer relevant. Voor de volledigheid zijn toch de risico's beschouwd van langwerpige maximaal 0,06 m brede spleten langs delen van de kabel.

Tijdens het overleg van 12 augustus zijn door Rijkswaterstaat twee mogelijke risico's van holle ruimtes langs de kabels genoemd:

1. Afname van de erosiebestendigheid van de Afsluitdijk. Holle ruimtes onder de kabels kunnen onder invloed van de zwaartekracht leiden tot grondverplaatsingen. Op het maaiveld kan hierdoor een zettingstrog ontstaan. Verschilzettingen kunnen leiden tot scheuren in het asfalt van het fietspad. Bij grote golfoverslag zal gescheurd asfalt gevoeliger zijn voor uitspoeling dan ongescheurd asfalt. Uitspoeling van grond kan op termijn leiden tot falen van de dam.
2. Uitspoeling van holle ruimtes door geconcentreerde grondwaterstroming. De veronderstelling is dat bij een grote mate van golfoverslag er snel veel water in de dijk infiltreert. Daarbij wordt aangenomen dat als het grondwater bij de holle ruimtes komt, dat het door lokaal aanwezige drukken sneller kan gaan stromen. Deze waterstroming door de holle ruimtes zou kunnen leiden tot interne uitspoeling en vergroting van de holle ruimtes. Dit zou op den duur kunnen leiden tot ondermijning van de Afsluitdijk.

Opgemerkt wordt dat beide risico's betrekking hebben op grote golfoverslag in combinatie met zettingen door een grote verhoging van de Afsluitdijk tot NAP +10 m. In de praktijk zal de mate van golfoverslag echter juist afnemen door een verhoging van de dijk. Volgens Rijkswaterstaat kan het er echter zelfs bij een forse verhoging van de Afsluitdijk noodzakelijk zijn om de Afsluitdijk volledig als overslagbestendige dam in te richten, bijvoorbeeld omdat er gekozen wordt voor een gladde steenbekleding.

Eén van de afspraken van het overleg was dat er nog een beschrijving zou worden geleverd van de damfaalmechanismen die volgens Rijkswaterstaat kunnen optreden bij het optreden van kleine holle ruimtes. Deze beschrijving is niet ontvangen. Door Fugro is dit hierna beschreven.

Om de volgende redenen wordt niet verwacht dat bovengenoemde risico's gaan optreden: Algemeen: uit de berekeningen van Tebodin blijkt dat de kabel in de veldstrekkingen mee beweegt met zettingen waardoor geen spleetvorming optreedt.

Ad. 1: Nazakking door een spleet van 0,05 m onder een kabel kunnen volgens de Methode Peck leiden tot een zettingstrog van circa 0,01 à 0,02 m diep. Het is niet aannemelijk dat hierdoor scheurvorming ontstaat in het asfalt van het fietspad, omdat asfalt plastisch reageert op vervormingen. Eventuele scheurvorming kan door periodieke inspectie tijdig worden geïdentificeerd en hersteld.

Ad. 2: Bij extreme golfoverslag zal de freatische lijn in de Afsluitdijk stijgen door infiltrerend water. Het kan niet worden uitgesloten dat de kabel dan onder in plaats van boven de freatische lijn komt te liggen. Het optreden van een grondwaterstroming wordt echter uitgesloten, omdat in geval van spleetvorming de holte horizontaal ligt en in lengterichting van de dijk. De golfoverslag zal weliswaar leiden tot verschilwaterdrukken aan het oppervlak, maar de oscillerende golfstroming zal nauwelijks in de fijnkorrelige bodem infiltreren. Dit kan worden aangetoond met diverse empirische formules, bijvoorbeeld van De Graauw en Forchheimer. Deze zijn onder andere beschreven in het rapport over "Het doordringen van golven in een filterlaag" van R. Jansens d.d. november 2000.

## 5. HDD-BORINGEN EN ZETTINGSVLOEIINGEN

### 5.1. Inleiding

In eerder uitgebrachte rapportage van Fugro (rapportagenummer 1013-0226-005.R02V03 d.d. 21-05-2015) is een veiligheidsbeschouwing uitgevoerd voor de HDD-boring voor de aanlanding bij Breezanddijk en bij Kornwerderzand. Geconcludeerd is dat de risico's voor de waterkering goed beheersbaar zijn. In dit hoofdstuk zijn een aantal geotechnische aspecten nader beschouwd op basis van het inmiddels beschikbaar gekomen ontwerp (opgesteld door KL Infra Engineering) en werkplan / boorplan (opgesteld door KL Infra Engineering).

### 5.2. Obstakels in de ondergrond

Bij de aanleg van de Afsluitdijk zijn keileemdammen aangebracht op zinkstukken van rijshout. Daartussen is zand opgespoten. Hierin bevinden zich lokaal mogelijk klei- en veenopsluitingen. In de oorspronkelijke ondergrond onder de dam zijn afwisselend klei-, zand- en keileemlagen aanwezig. Volgens de aannemer vormen deze afwisselende lagen geen belemmering voor de uitvoering van HDD-boringen.

Ter plaatse van diepe geulen zijn volgens bestekstekeningen betegelingsdammen aanwezig. Deze bestaan uit keileem met (met stenen bestorte) dekstukken. Dit is onder meer het geval bij de Middelgronden aan de westzijde van Kornwerderzand. Deze valt echter buiten de HDD-boringen bij Kornwerderzand (zie figuur 5.1). Een eventuele HDD-boring onder de vismigratierivier zal mogelijk wel door deze betegelingsdam gaan.



Figuur 5-1: Ligging betegelingsdam bij Middelgronden (Bron: bestek 1929)

De bodem van de spuisluizen bij de Lorentzsluizen ligt op 4 m onder NAP. Daaronder ligt een 0,5 m dikke betonnen plaat. De sluisdrempel van de schutsluizen ligt op 3,5 m onder NAP (bron: monumentenregister).

Er is beperkte informatie beschikbaar over obstakels in de ondergrond. In het boek “Een halve eeuw Zuiderzeewerken” van ir. J. Th. Thijssen staat vermeld dat de Lorentzsluizen op houten palen met betonnen oplangers is gefundeerd, in tegenstelling tot de op staal gefundeerde Stevinsluizen. In een rapportage van toenmalig ministerie van Verkeer en Waterstaat, Eindrapport van de werkgroep aangepaste kunstwerken Afsluitdijk (publicatie ca. 1987) is het volgende beschreven over de spuisluis t.p.v. Kornwerderzand:

*“De sluis te Kornwerderzand is gebouwd op een paalfundering. In totaal zijn 11.000 stuks bovenlandse dennen heipalen van ongeveer 12 m lengte geleverd. Volgens het palenplan zijn in totaal 7836 palen geheid, waarvan 644 schoorpalen onder de vleugelwanden”.*

Er zijn andere ondergrondse objecten aanwezig bij Kornwerzand, zoals kwelschermen, de fundering van het Kapitein Boers Viaduct en de meerpalen in kolk van de schutsluizen. Er is vooralsnog echter niet teruggevonden hoe diep deze liggen, ook niet na consultatie van Rijkswaterstaat.

Het kan niet worden uitgesloten dat er in de toekomst nieuwe obstakels in of onder de Afsluitdijk worden aangebracht, bijvoorbeeld bij de renovatie van de Lorentzsluizen. Uitgangspunt is dat daarbij rekening wordt gehouden met de ligging van de HDD-boringen. Er is in het tracé ruim afstand gehouden tot de Lorentzsluizen.

### **5.3. Zettingen bij HDD-boringen**

Bij HDD-boringen wordt de ruimte rondom de geïnstalleerde buis opgevuld met bentoniet om ontspanning van grond en holle ruimtes te voorkomen. Waar relevante zetting wordt verwacht kan door middel van grout zetting worden beperkt tot een minimum. In de eerdere rapportage van Fugro (1013-0226-005.R02v3 d.d.21 mei 2015) is aangegeven dat het bentonietmengsel, welke als boorvloeistof wordt toegepast, op lange termijn tot inklinking kan leiden, om die reden wordt bij de definitieve boorplannen voorafgaand aan de uitvoering toepassing van grout opgenomen als blijkt dat dit aan de orde is op basis van zettingsberekeningen. Indien geen grout wordt toegepast, kan als gevolg van inklinking van het bentoniet zakking van direct omliggende grondlichamen dan wel objecten optreden. Deze grond-object interactie kan van toepassing zijn voor wegen, bebouwing, sluiscomplex Kornwerderzand, waterbouwkundige objecten zoals steigers, meerpalen, etc.

Tijdens het boorproces wordt, nadat eerst de pilotboring is uitgevoerd, m.b.v. een zogenaamde “ruimer”, het boorgat rondom het geboorde tracé van de pilotboring groter gemaakt. Afhankelijk van de benodigde boordiameter zullen meerdere slagen benodigd zijn om het boorgat te verruimen. Daarbij wordt bentoniet of grout gebruikt als opvulling.

Conform het verzoek van Rijkswaterstaat zijn zettingsberekeningen uitgevoerd met de methode Peck om te bepalen voor welke boringen toepassing van grout is vereist. Zowel met als zonder grout zijn de resultaten gepresenteerd, voor de boringen waar grout zal worden toegepast.

#### *Mate van volumeverlies bij afwezigheid van grout*

Het boorgat wordt in stand gehouden doordat deze wordt opgevuld met een bentonietmengsel. Dit bentoniet heeft een laag volumiek gewicht (ca. 1150 á 1200 kg/m<sup>3</sup>, zie boorplan KL-Infra Engineering) en een hoog watergehalte en zal op lange termijn samendrukken door het gewicht van de omliggende grond. Op basis van kengetallen van

Deltares voor een ander HDD-project is voor de analyses conservatief een volumeverlies van 75% als uitgangspunt gehanteerd.

#### Locaties HDD-boringen

In totaal is voornamelijk beoogd om op 5 locaties een HDD-boring uit te voeren, per locatie worden meerdere naast elkaar gelegen boringen uitgevoerd:

1. Aanlanding bij Breezanddijk;
2. Kruising rijksweg bij Breezanddijk;
3. Kruising rijksweg ten westen van Kornwerderzand;
4. Kruising Lorentzsluizen bij Kornwerderzand;
5. Kruising rijksweg ten oosten van Kornwerderzand.

De locaties van de boringen zijn weergegeven in onderstaande figuur 5-2.



Figuur 5-2: Situatie beoogde locaties HDD-boringen in Afsluitdijk

#### Methode Peck

De maaiveldzettingen boven de HDD-boringen zijn op kritieke locaties indicatief berekend met de methode Peck. Voor locaties met relevante zettingen is daarbij de berekening met alleen bentoniet en met toepassing van grout gegeven. Hierbij is de volume van de zettingstrog op het maaiveld gelijk aangenomen aan het volumeverlies door de aanleg van de HDD-leiding (oversnijding en samendrukking bentoniet). De totale breedte van de zettingstrog kan worden geschat als 4 à 5 maal de buigpuntcoëfficiënt. De waarden van de buigpuntcoëfficiënt geeft de afstand van het buigpunt van de theoretische zettingkromme tot de plaats met de maximale zetting aan en is dus een maat voor de verschilzettingen.

Volgens CUR/COB rapport L 510-01 "Inventarisatie ontwerpmethoden boortunnels voor weg- en railverbindingen" is de zettingstrog met de formule van Peck (bepaling  $i$  volgens New & O'Reilly) voor homogene, niet cohesieve grond m.b.v. een Gauss-kromme te bepalen:

$$\delta_x = \delta_{\max} \cdot e^{-\frac{x^2}{2i^2}} \text{ waarin:}$$

$$i = 0,28 \cdot z_0 - 0,1 \text{ voor niet cohesieve gronden volgens New \& O'Reilly}$$

$z_0$  = afstand tussen maaiveld tot leiding-as

$\delta_{\max}$  = is de maximale zetting in het hart van de trog

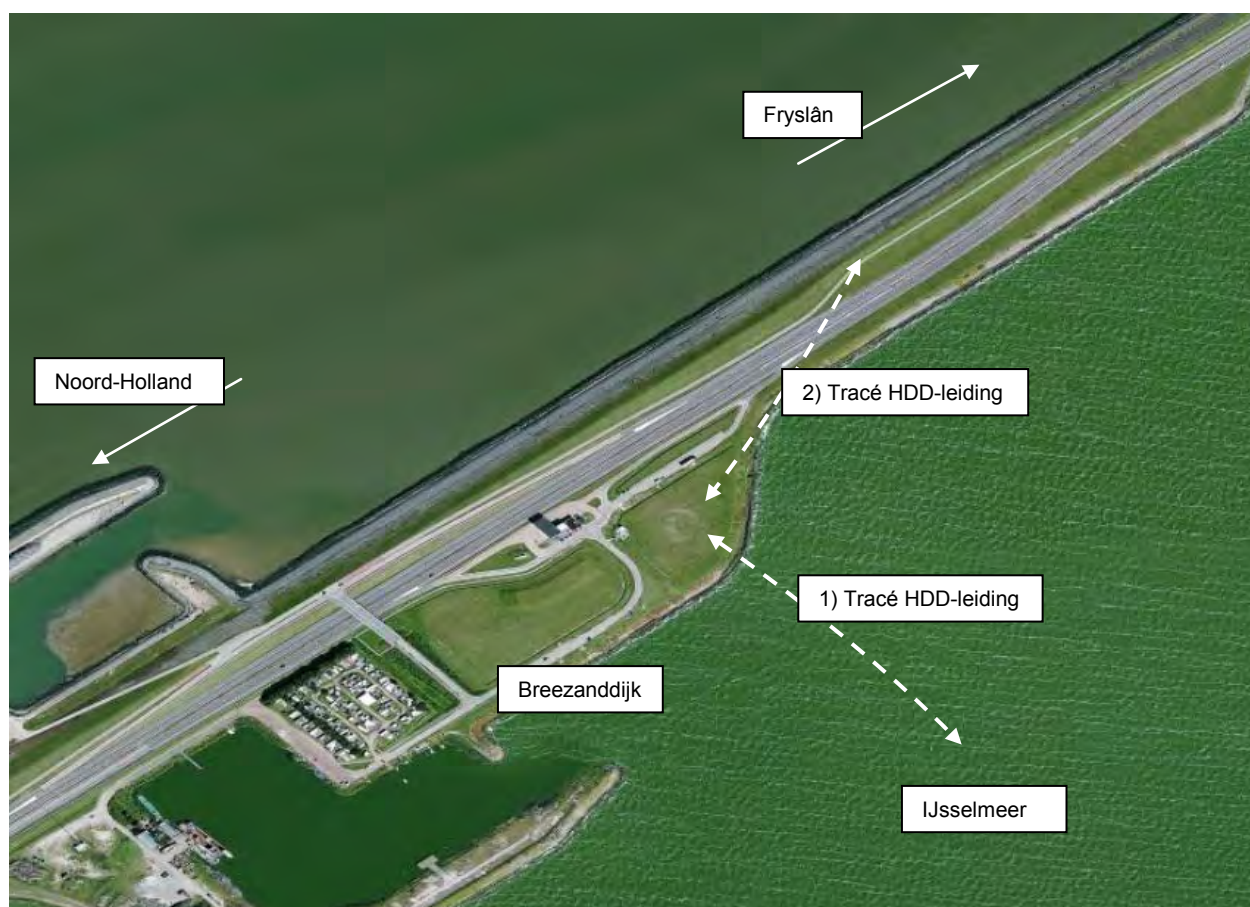
$$\delta_{\max} = \frac{V}{2,5 \cdot i}; (V: \text{volumeverlies})$$

Bij meerdere dicht naast elkaar gelegen mantelbuizen kunnen de totaalzettingen indicatief worden bepaald door de verschillende “zettingstroggen” bij elkaar op te tellen.

De methode Peck is op verzoek van Rijkswaterstaat toegepast. Opgemerkt wordt dat enige onzekerheid in de berekeningsresultaten aanwezig is, omdat het empirische formules betreft. Afhankelijk van de resultaten en risico's kan nadere uitwerking plaatsvinden.

### 1) Locatie aanlanding Breezanddijk

Volgens het voorontwerp boorplan van KL Infra Engineering (482.15.2.039-6 d.d. 27-08-2015) worden in totaal 15 boringen uitgevoerd onder de steenbekleding van het voormalige werkeiland Breezanddijk. De onderlinge afstand bedraagt 5 m. Bij elke HDD-boring wordt in de ruimerfase een diameter  $\varnothing$  375 mm toegepast. De HDPE buis welke na de ruimerfase door de boring worden getrokken bestaan uit 1 leiding met een diameter  $\varnothing$  250 mm. Op basis van dwarsprofieltekeningen van de Afsluitdijk is aangenomen dat de dikte van de steenbestorting 0,5 m bedraagt. De mantelbuis ligt op het ondiepste punt 5,32 m onder de steenbestorting.



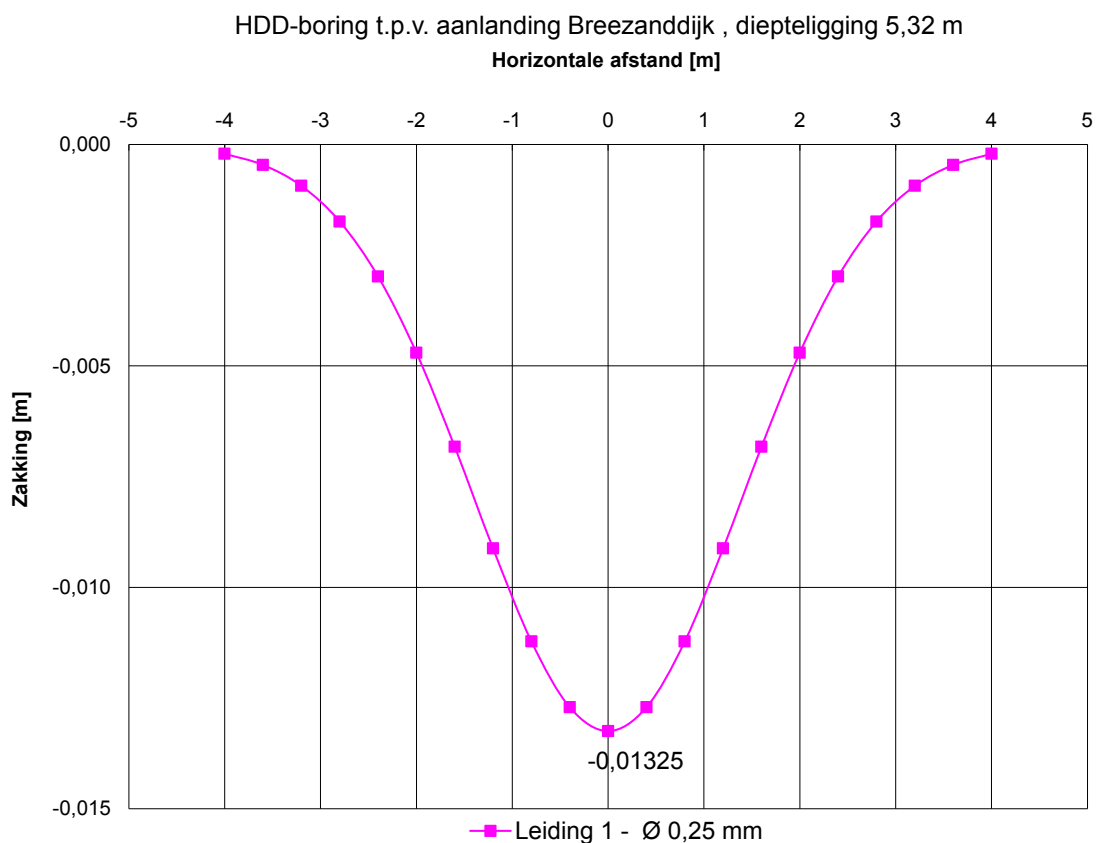
Figuur 5-3: Beoogde route van HDD-boring t.h.v. aanlanding Breezanddijk en km 86.581 tot km 86.875



De volumeverschil tussen de ruimer en de mantelbuis bedraagt:

- Volume ruimer =  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 0,110 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,375 \text{ m}$ ;
- Volume mantelbuis =  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 0,049 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,250 \text{ m}$ ;
- Volume bentoniet = Volume ruimer – volume leidingen =  $0,061 \text{ m}^3/\text{m}$ ;
- Volumeverlies bentoniet =  $75\% \times \text{Volume bentoniet} = 0,046 \text{ m}^3/\text{m}$ .

Met de berekeningsmethode van Peck is een indicatieve berekening uitgevoerd voor de zakkingen t.g.v. volumeverlies van het bentoniet mengsel t.p.v. onderkant steenbestorting. Uit de resultaten van de berekening blijkt dat zakkingen van ca. 0,01 m kunnen optreden bij de maatgevende diepte van de mantelbuis van 5,32 m onder maaiveld (zie figuur 5-4). Bij een onderlinge afstand van 5 m tussen de HDD-boringen is er op basis van de berekende zakkingstrog nauwelijks onderlinge beïnvloeding van zettingen.



Figuur 5-4: Zakking onderkant steenbestorting t.g.v. HDD-boring op ca. 5,32 m diepte

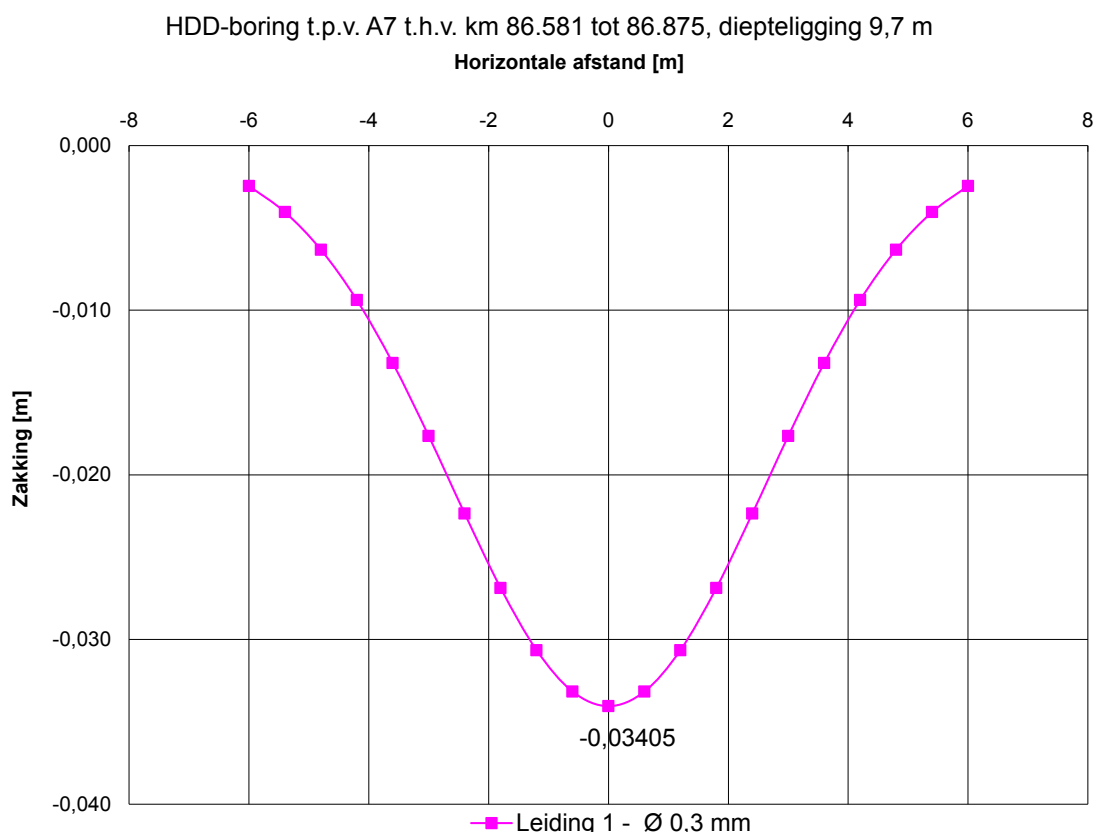
## 2) Locatie Onderdoorgang A7 t.h.v km. 86.581 tot km 86.875

Volgens het boorplan van KL Infra Engineering (482.15.2.039-6 d.d. 27-08-2015) worden twee boringen uitgevoerd onder de A7. De onderlinge afstand bedraagt 5 m. Bij elke HDD-boring wordt in de ruimerfase een diameter  $\varnothing$  760 mm toegepast. De HDPE buizen welke na de ruimerfase door de boring worden getrokken bestaan uit 3 stuks met  $\varnothing$  250 mm en 1 stuks met  $\varnothing$  110 mm. De locatie van de boringen is weergegeven in figuur 5-1.

De volumeverschil tussen de ruimer en de in totaal 4 mantelbuis bedraagt:

- Volume ruimer =  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 0,454 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,760 \text{ m}$ ;
- Volume grote mantelbuizen, 3 stuks =  $3 \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 0,147 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,250 \text{ m}$ ;
- Volume kleine mantelbuis =  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 0,010 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,110 \text{ m}$ ;
- Volume bentoniet = Volume ruimer - volume leidingen =  $0,297 \text{ m}^3/\text{m}$ ;
- Volumeverlies bentoniet =  $75\% \times \text{Volume bentoniet} = 0,223 \text{ m}^3/\text{m}$ .

Met de berekeningsmethode van Peck is een indicatieve berekening uitbracht voor de maaiveldzakkingen t.g.v. volumeverlies van het bentonietmengsel t.p.v. rijksweg A7. Uit de resultaten van de berekening blijkt dat zakkingen van ca. 0,04 m kunnen optreden op de maatgevende diepte van de mantelbuis van 9,7 m onder maaiveld (zie figuur 5-5). Deze zettingen dienen te worden gecompenseerd met grout.



Figuur 5-5: Maaiveldzakking t.g.v. HDD-boring op ca. 9,7 m diepte

### 3) Locatie Onderdoorgang A7 t.h.v. km. 95.952 tot km 96.148

Volgens het boorplan van KL Infra Engineering (482.15.2.039-4 d.d. 24-08-2015) worden twee boringen uitgevoerd onder de A7. Bij de HDD-boring wordt in de ruimerfase een diameter  $\varnothing$  760 mm toegepast. De HDPE buizen welke na de ruimerfase door de boring worden getrokken bestaan uit 3 stuks met  $\varnothing$  250 mm en 1 stuks met  $\varnothing$  110 mm. De locatie van de boringen is weergegeven in figuur 5-6.

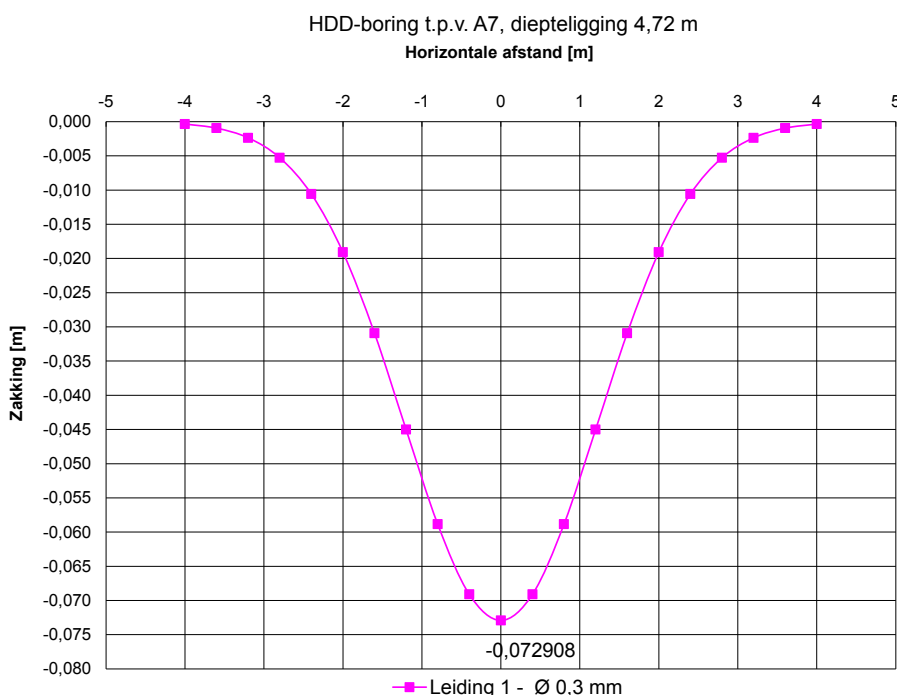


Figuur 5-6: Beoogde route van HDD-boring t.h.v. km 95.952 tot km 96.148

De volumeverschil tussen de ruimer en de in totaal 4 mantelbuis bedraagt:

- Volume ruimer =  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 0,454 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,760 \text{ m}$ ;
- Volume grote mantelbuizen, 3 stuks =  $3 \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 0,147 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,250 \text{ m}$ ;
- Volume kleine mantelbuis =  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 0,010 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,110 \text{ m}$ ;
- Volume bentoniet = Volume ruimer – volume leidingen =  $0,297 \text{ m}^3/\text{m}$ ;
- Volumeverlies bentoniet =  $75\% \times$  Volume bentoniet =  $0,223 \text{ m}^3/\text{m}$ .

Met de berekeningsmethode van Peck is een indicatieve berekening uitbracht voor de maaiveldzakkingen t.g.v. volumeverlies van het bentoniet mengsel t.p.v. rijksweg A7. Uit de resultaten van de berekening blijkt dat zakkingen van ca. 0,07 m kunnen optreden op de maatgevende diepte van 4,72 m (zie figuur 5-7). Deze zettingen dienen te worden gecompenseerd met grout.



Figuur 5-7: Maaiveldzakking t.g.v. HDD-boring op ca. 4,72 m diepte

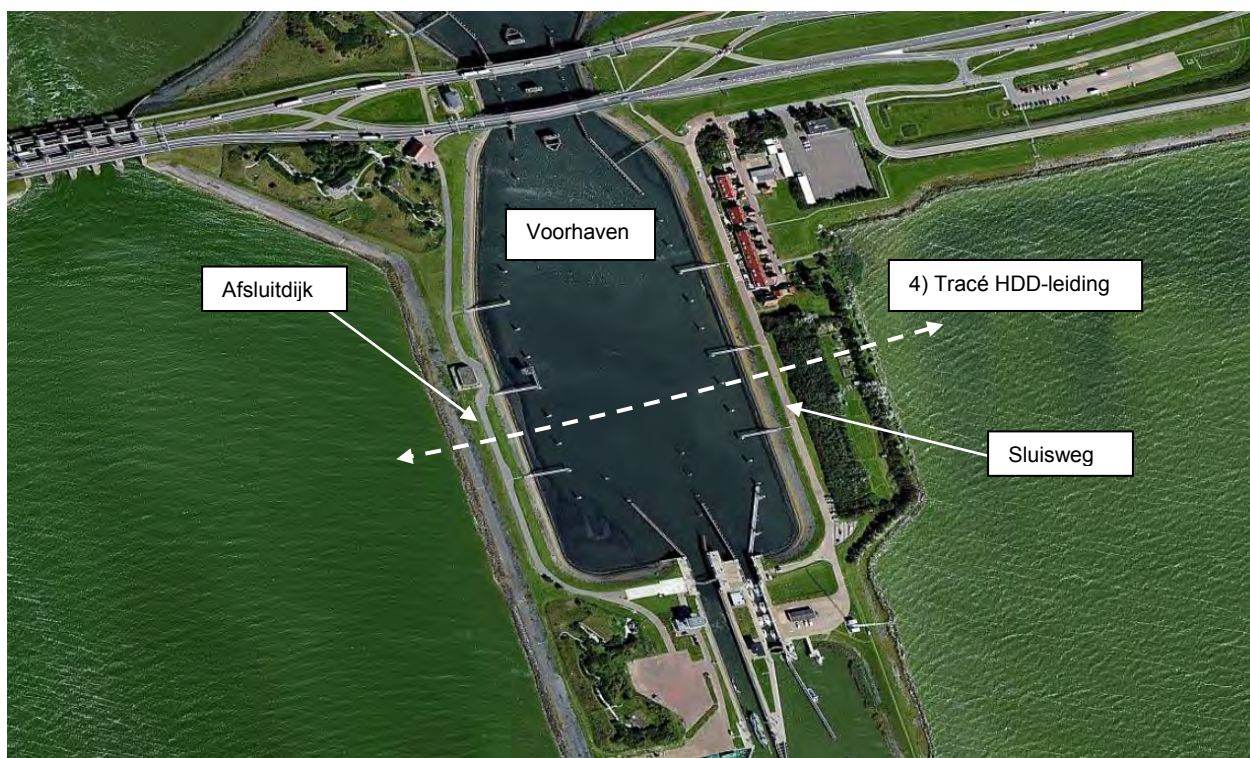
#### 4) Locatie voorhaven en sluis Kornwerderzand

Volgens het boorplan van KL Infra Engineering (482.15.2.039-1 d.d. 21-08-2015) worden twee boringen uitgevoerd. De onderlinge afstand h.o.h. afstand bedraagt 5 m. Bij de HDD-boring wordt in de ruimerfase een diameter  $\text{Ø} 880$  mm toegepast. De stalen mantelbuizen welke na de ruimerfase door de boring worden getrokken bestaan uit 3 stuks met  $\text{Ø} 273$  mm en 1 stuks met  $\text{Ø} 114$  mm, waarna de HDPE kunststof productieleidingen wordt ingebracht.

De volumeverschil tussen de ruimer en de in totaal 4 mantelbuis bedraagt:

- Volume ruimer =  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 0,608 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,88$  m;
- Volume mantelbuizen, 3 stuks =  $3 \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 0,176 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,273$  m;
- Volume mantelbuis =  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 0,010 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,114$  m;
- Volume bentoniet = Volume ruimer – volume leidingen =  $0,422 \text{ m}^3/\text{m}$ ;
- Volumeverlies bentoniet =  $75\% \times$  Volume bentoniet =  $0,317 \text{ m}^3/\text{m}$ .

Door de boring kunnen zakkings optreden bij nabijgelegen objecten, maatgevend zijn in dit geval waarschijnlijk de meerpalen t.p.v. voorhaven Kornwerderzand en paalfundatie van het "Kaptein Boers viaduct" over de A7 ten oosten van de Lorentzsluizen. Op grond van de beschikbare informatie liggen de houten palen van de Lorentzsluizen op voldoende afstand van het boortracé om beïnvloeding uit te sluiten.



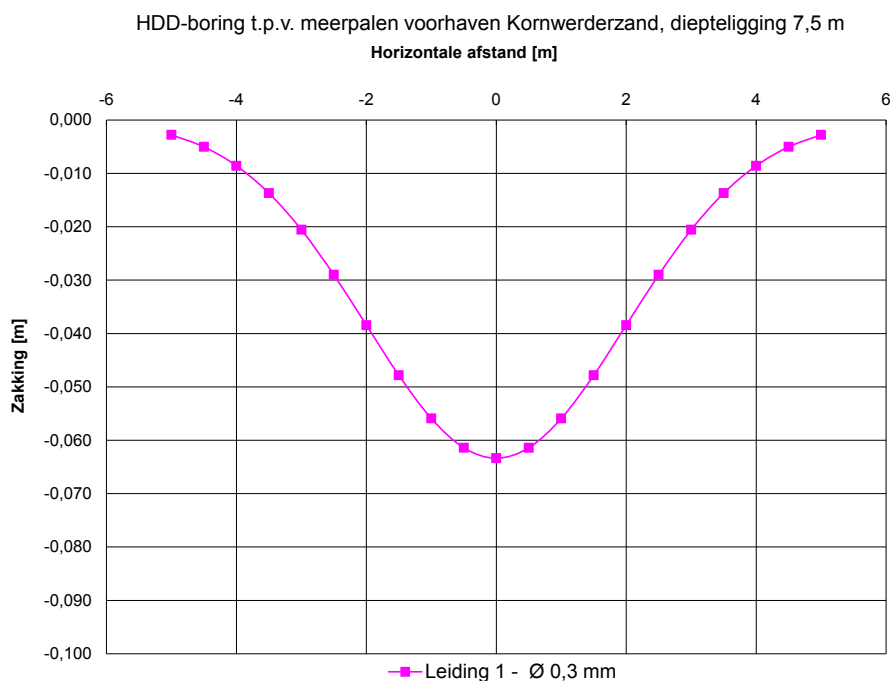
Figuur 5-8: Beoogde route van HDD-boring in voorhaven Kornwerderzand (ca. 150 m afstand tot sluisdeuren)

Op basis van Fugro-project in de Beneluxhaven te Rotterdam en de lokale grondopbouw wordt geschat dat de meerpalen tot een diepte (afhankelijk van diameter, dikte, belasting) van ca. 15 á 25 m onder bodemniveau zijn geïnstalleerd. Het viaduct kan mogelijk op staal danwel op palen gefundeerd zijn. De afstand in x / y richting tussen de boring van huidig ontwerp en meerpaal wordt geschat op 2 m en tussen viaduct en boring ca. 20 á 25 m.

Geadviseerd wordt om diepte ligging (z richting) van de meerpalen in de voorhaven Kornwerderzand en paalfundatie (danwel gefundeerd op staal) van het “Kapitein Boers viaduct” te verifiëren. Desgewenst kan Fugro controle sonderingen uitvoeren naar de diepte ligging middels een magnetometerconus. Deze conus is in 3 richtingen uitgerust met een meetinstrument waarbij afwijkingen in het aardmagnetisch veld worden gemeten. Objecten van staal (dan wel wapening van betonpalen) kunnen tot ca. 2 m worden gedetecteerd. De lengte van houten palen kan niet worden vastgesteld met dit soort metingen.

#### *Resultaat zakking onder meerpaal, voorhaven Kornwerderzand*

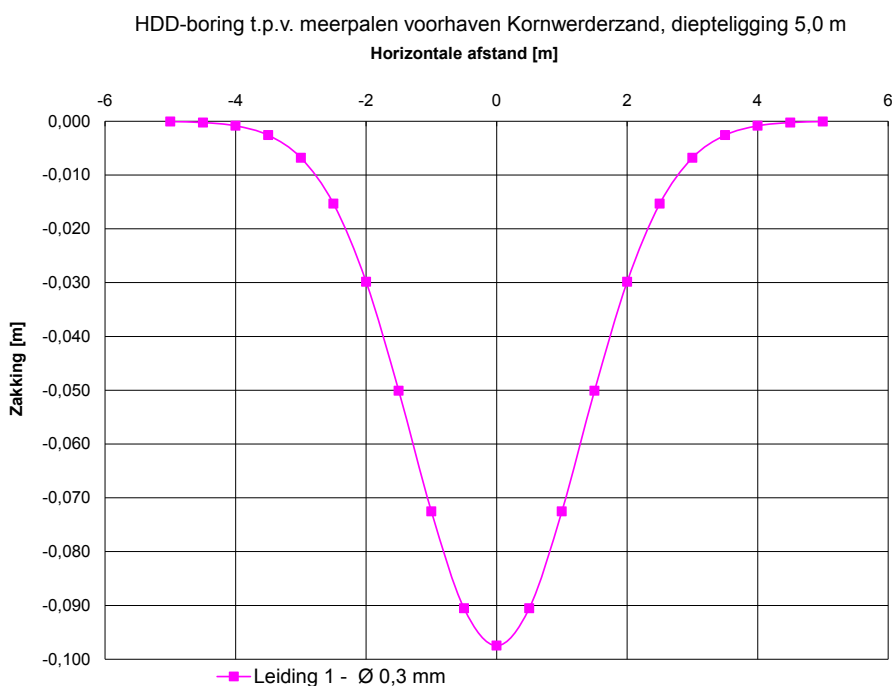
Met de berekeningsmethode van Peck is een indicatieve berekening uitbracht naar het invloedsgebied van het volumeverlies op zakkingen in bovenliggende grondlagen t.p.v. de meerpalen. Het is aannemelijk (maar niet zeker) dat de HDD-boring 5 á 7,5 m onder de voet van de meerpalen doorgaat. Het resultaat van de berekening laat zien dat op een invloedsgebied van ca. 5 á 7,5 m boven de leiding, zakkingen kunnen optreden van circa 0,06 m (zie figuur 5-9). Een alternatief ten opzichte van de toepassing van grout is om de zakkingen te reduceren is door de routing van de HDD-boring te verleggen op een afstand (x / y richting) van ca. 5 m van de meerpalen. De zakkingseffecten zijn dan verwaarloosbaar.



Figuur 5-9: Invloedsgebied HDD-boring op ca. 7,5 m diepte direct onder meerpaal

#### Resultaat zakking aanlanding in- en uittredepunt Kornwerderzand

Met de berekeningsmethode van Peck is een indicatieve berekening uitbracht voor de maaiveldzakkingen t.g.v. volumeverlies van het bentoniet mengsel t.p.v. aanlanding in- en uittredepunt t.h.v. de steenbekleding. Uit de resultaten van de berekening blijkt dat zakkingen van ca. 0,10 m kunnen optreden (zie figuur 5-10). Deze zettingen dienen te worden gecompenseerd met grout.



Figuur 5-10: Maaiveldzakking t.g.v. HDD-boring op ca. 5 m diepte

### 5) Locatie Onderdoorgang A7 t.h.v. km. 97.390 tot km 97.715

Volgens het boorplan van KL Infra Engineering (482.15.2.039-5 d.d. 27-08-2015) worden twee boringen uitgevoerd onder de A7. De onderlinge afstand h.o.h. afstand bedraagt 5 m. De HDD-boring wordt in de ruimerfase een diameter  $\varnothing$  760 mm toegepast. De HDPE buizen welke na de ruimerfase door de boring worden getrokken bestaan uit 3 stuks met  $\varnothing$  250 mm en 1 stuks met  $\varnothing$  110 mm.

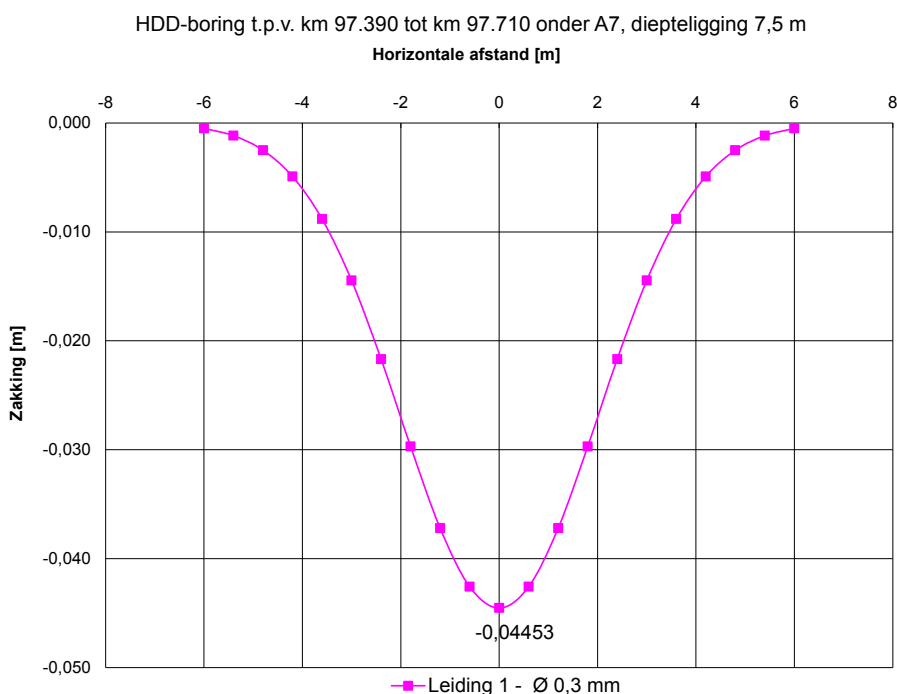


Figuur 5-11: Beoogde route van HDD-boring t.h.v. km 97.390 tot km 97.715

De volumeverschil tussen de ruimer en de in totaal 4 mantelbuis bedraagt:

- Volume ruimer =  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 0,454 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,76 \text{ m}$ ;
- Volume grote mantelbuizen, 3 stuks =  $3 \times \frac{1}{4} \pi D^2 = 0,147 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,250 \text{ m}$ ;
- Volume kleine mantelbuis =  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 0,010 \text{ m}^3/\text{m}$ , waarin  $D = 0,110 \text{ m}$ ;
- Volume bentoniet = Volume ruimer – volume leidingen =  $0,297 \text{ m}^3/\text{m}$ ;
- Volumeverlies bentoniet =  $75\% \times \text{Volume bentoniet} = 0,223 \text{ m}^3/\text{m}$ .

Met de berekeningsmethode van Peck is een indicatieve berekening uitbracht voor de maaiveldzakkingen t.g.v. volumeverlies van het bentoniet mengsel t.p.v. fietspad en rijksweg A7 t.h.v. km 97.390 en km 97.715. Uit de resultaten van de berekening blijkt dat zakkingen van ca. 0,04 m kunnen optreden op de maatgevende diepte van 7,5 m (t.h.v. fietspad / rijksweg), zie figuur 5-12. Deze zettingen dienen te worden gecompenseerd met grout.



Figuur 5-12: Maaiveldzakking t.g.v. HDD-boring op ca. 7,5 m diepte

### 5) Locatie Onderdoorgang vismigratierivier

Als alternatief voor een kabeldoorvoer vlak onder het fietspad is een HDD-boring onder de doorgang van de vismigratierivier beschouwd

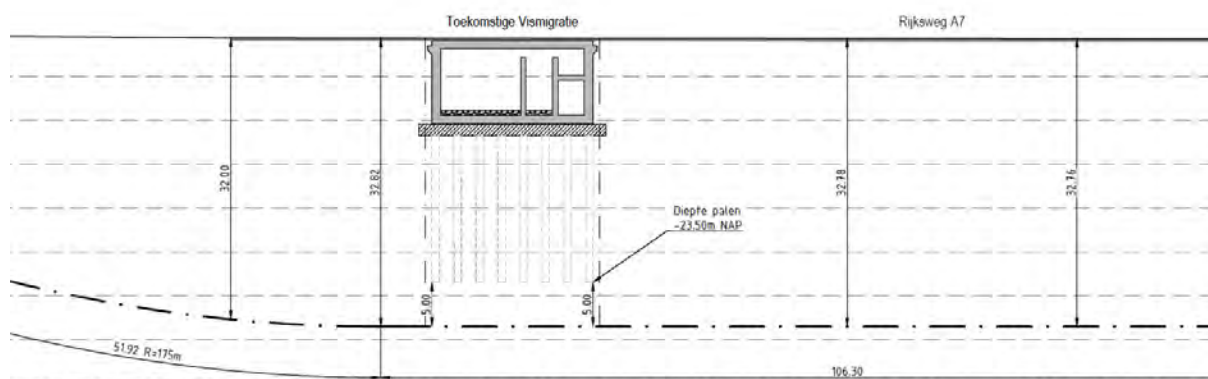
Volgens de tekening van Ventolines (482.15.2.039-103-1 d.d. 10 september 2015) worden twee boringen uitgevoerd. De onderlinge afstand h.o.h. afstand bedraagt 5 m. Bij de HDD-boring wordt in de ruimerfase een diameter  $\text{Ø} 950 \text{ mm}$  toegepast. De HDPE buizen welke na de ruimerfase door de boring worden getrokken bestaan uit 3 stuks met  $\text{Ø} 250 \text{ mm}$  en 1 stuks met  $\text{Ø} 110 \text{ mm}$ . De HDD-boring gaat onder de toekomstige funderingspalen van de coupure door. De onderkanten van deze palen komen volgens tekening op NAP -23,50 m.

Met de berekeningsmethode van Peck is een indicatieve berekening uitbracht voor de maaiveldzakkingen t.g.v. volumeverlies van het bentoniet mengsel t.p.v. de onderkant van de funderingspalen. Uit de resultaten van de berekening blijkt dat zakkingen van ca. 0,12 m

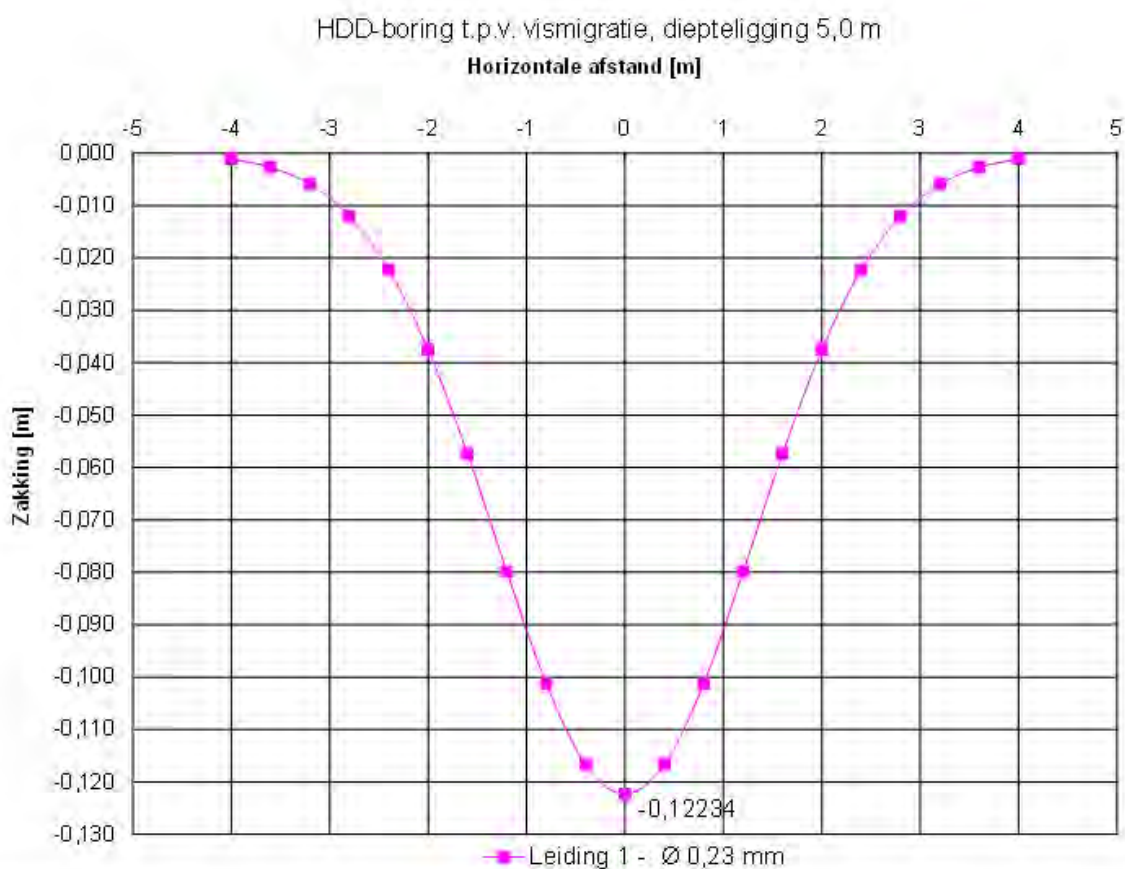


kunnen optreden op de maatgevende diepte van 5,0 m, zie figuur 5-14. Deze zakkingen dienen te worden gecompenseerd met grout, tenzij de HDD-boring ruimschoots voor het aanbrengen van de funderingspalen wordt uitgevoerd. In dat geval zijn de zakkingen namelijk al opgetreden.

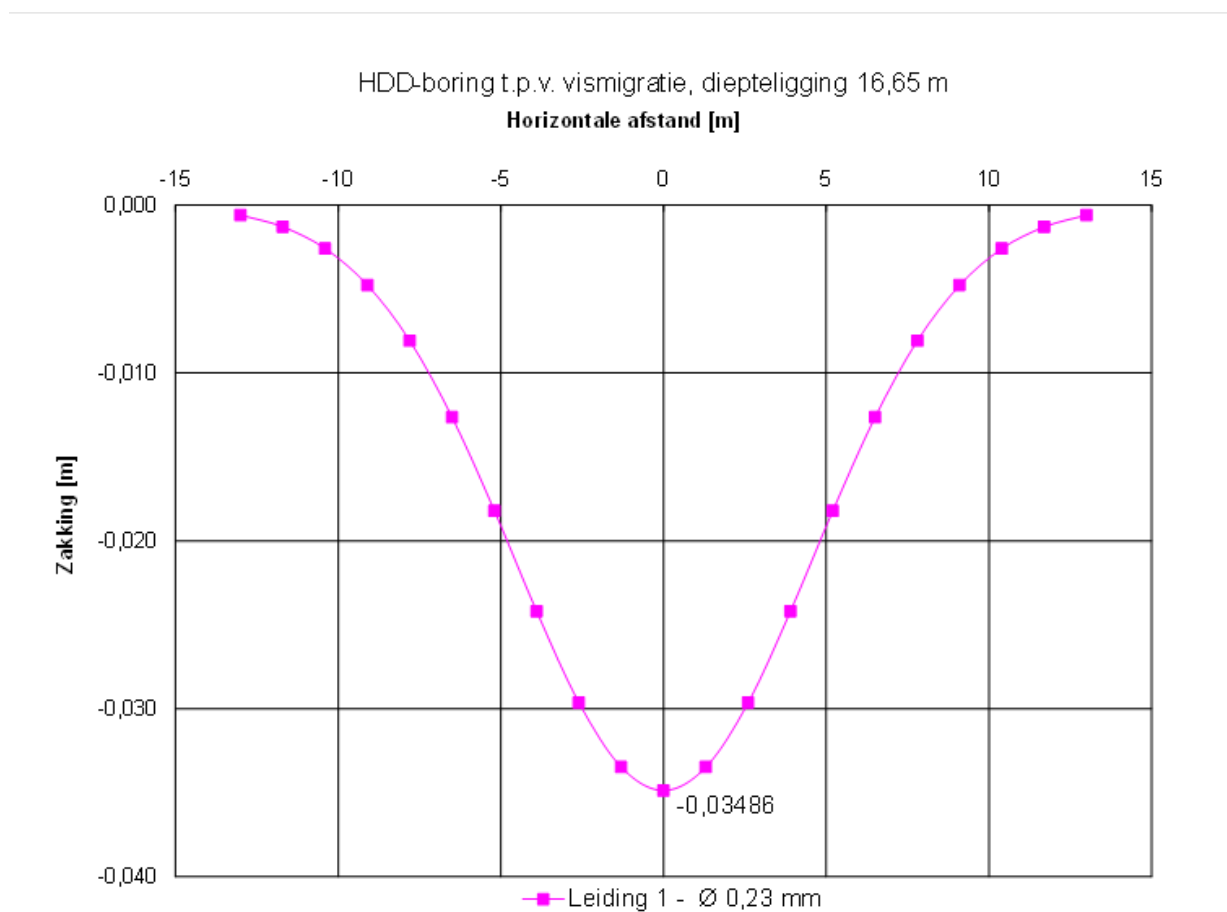
Daarnaast zijn de maximale zakkingen ter plaatse van de rijksweg berekend. Deze bedragen ca.0,03 m. Deze zakkingen dienen te worden gecompenseerd met grout.



Figuur 5-13: Dwarsdoorsnede bij onderdoorgang vismigratierivier (bron: Ventolines, 10 september 2015)



Figuur 5-14: Maaiveldzakking t.g.v. HDD-boring op ca. 5,0 m diepte



Figuur 5-15: Maaiveldzakking t.g.v. HDD-boring op ca. 16,7 m diepte

#### Risicobeschuwing (maaiveld)zakkingen t.g.v. HDD-boring

De berekende maximale zakkingen bij steenbekledingen, asfaltwegen en paalvoeten ten gevolge van de HDD-boringen zijn 4 tot 12 centimeter en derhalve niet 'nihil', met uitzondering van de aanlanding bij Breezanddijk (locatie 1). Alle zettingen kunnen worden gereduceerd tot 'nihil' door correcte toepassing van een speciale uithardende boorvloeistof (drillgrout of een vergelijkbaar product) tijdens de intrefase. Er is dan geen sprake van volumeverlies rond de leiding en daardoor zijn er geen maaiveldzakkingen t.g.v. de HDD-boring. In bijlage 4 is een voorbeeld opgenomen van een grouttype en werkwijze die kunnen worden toegepast. Een overzicht van de berekende zakkingen is weergegeven in onderstaande tabel:

Tabel 5.1 - Samenvatting Peckberekeningen

Locatie	Naam	Diepte	Object	Max. zakkings (zonder grout)	Max. zakkings (met grout)
1	Aanlanding Breezanddijk	5,3 m	Steenbekleding	0,01 m	niet van toepassing
2	Onderdoorgang A7 t.h.v. km. 86.581 tot km 86.875	9,7 m	Rijksweg	0,04 m	0,00 m
3	Onderdoorgang A7 t.h.v. km. 95.952 tot km 96.148	4,7 m	Rijksweg	0,07 m	0,00 m
4	Voorhaven en sluis Kornwerderzand	7,5 m*	Onderkant meerpaal	0,06 m	0,00 m
4	Voorhaven en sluis Kornwerderzand	5,0 m	Steenbekleding	0,10 m	0,00 m
5	Onderdoorgang A7 t.h.v. km. 97.390 tot km 97.715	7,5 m	Fietspad / rijksweg	0,04 m	0,00 m
6	Onderdoorgang vismigratierivier	5,0 m	Onderkant funderingspalen coupure vismigratieriver	0,12 m	0,00 m**
6	Onderdoorgang vismigratierivier	16,7 m	Rijksweg	0,03 m	0,00 m

\*aanname

\*\* Zakkingscorrectie is alleen nodig, indien de HDD-boring na of gelijktijdig met het aanbrengen van de funderingspalen plaatsvindt.

#### 5.4. Stabiliteit waterkering bij HDD-boringen

##### *Beschouwing HDD-boring aanlanding Breezanddijk*

Eerder is de taludstabiliteit bij de aanlanding van de kabels bij Breezanddijk beschouwd op basis van conservatieve uitgangspunten voor de diepteligging en de omvang van de plastische zones. Dit is toegelicht in de Fugro-rapportage van 21 mei 2015.

In aanvulling van deze eerdere beschouwingen is de ontwerptekening van KL Infra Engineering (tek. nr. 482.15.2.039-102, Boring 1 t/m 8 d.d. 21-08-2015 en tek. nr. 482.15.2.039-104, Boring 9 t/m 15 d.d. 26-08-2015) als uitgangspunt aangehouden voor de stabiliteitsanalyses.

Het tracé van de HDD-boring heeft volgens de ontwerptekeningen een diepteligging van NAP -13,0 m ofwel 9,4 m onder de teen. Volgens het bijbehorende boorplan is de diameter van de plastische zone 0,375 m en kleiner dan de eerder aangenomen 1,0 m. De resultaten van de boring geven in 0-situatie een stabiliteitsfactor SF van 1,53 en dit resultaat is bijna gelijk aan de berekening van de tijdelijke situatie tijdens aanleg inclusief HDD-boring (SF = 1,52).

Geconcludeerd kan worden dat de boring geen negatief effect heeft op de stabiliteit (zie bijlage 2).

##### *Beschouwing HDD-boring tuimeldijk Breezanddijk*

De beoogde uiteinde van de HDD-boring naast de tuimeldijk (lengterichting), onder het fietspad, heeft minder invloed op de stabiliteit dan de uitvoeringsmethode waarbij kabels in

een open sleuf worden aangebracht. De plastische zone van de HDD-boring zal lokaal leiden tot een lagere stijfheid, maar niet tot negatieve invloed in de glijvlakzone van de tuimeldijk. Verwacht wordt dat het effect op de stabiliteit (nog) lager is t.o.v. aanleg middels een open sleuf.

#### *Beschouwing HDD-boring voorhaven en sluis Kornwerderzand*

De afstand tussen de HDD-boring en de sluis bedraagt ca. 150 m. Aangenomen wordt dat de beïnvloedingszone t.g.v. de ontgraving van 2 m<sup>2</sup> bij het intredepunt geen negatieve gevolgen heeft op de damwandstabiliteit bij de sluiskolk.

Uit de ontwerptekening van KL Infra Engineering (482.15.2.039-100 d.d. 21-08-2015) blijkt dat de afstand tussen HDD-boring en de teen ca. 19 m bedraagt. Gezien de aanmerkelijk grotere diepteligging van de boring t.o.v. de beschouwde doorsnede t.h.v. aanlanding Breezanddijk (ruim 10 m dieper) is geen aanleiding te verwachten dat de HDD-boring een negatief effect heeft op de stabiliteit.

### **5.5. Kwelweganalyse bij HDD-boringen**

Conform bijlage D van NEN 3651 dient bij leidingen die door middel van horizontaal gestuurde boringen zijn aangelegd in of nabij waterstaatswerken het effect op middellange termijn van langloopsheid (kwel) te worden onderzocht.

Er zijn twee redenen waarom dit voor deze situatie geen risico vormt. Ten eerste wordt er niet van buitendijks gebied naar binnendijks gebied geboord. Bij de kruisingen van de rijksweg wordt weliswaar een deel van dijklichaam gekruist, maar dit zal niet leiden tot een verkorting van een bestaande kwelweg door de aanwezigheid van een zandlichaam rondom het uittredepunt van de HDD-boring. Ten tweede is er geen sprake van een waterstandsverschil tussen het in- en uittredepunt. Een effect van kwel is derhalve uitgesloten.

### **5.6. Zettingsvloeiing**

Er is gecontroleerd of de realisatie van de leidingkruising met HDD kan leiden tot zettingsvloeiing. Een zettingsvloeiing treedt op indien bij een toename van de schuifspanning in een losgepakte zandlaag een dusdanige wateroverspanning ontstaat dat verweking van het materiaal optreedt. Een zettingsvloeiing kan alleen optreden indien sprake is van:

1. een initiërend mechanisme;
2. een losgepakte zandlaag met voldoende dikte (> ca. 3 m);
3. een voldoende steil onderwatertalud.

Deze voorwaarden worden hieronder beschouwd:

#### **1. Initiërend mechanisme**

Twee aspecten zouden in dit geval kunnen leiden tot een initiatie voor zettingsvloeiing:

- trillingen in de ondergrond ten gevolge van de uitvoering van de HDD;
- ontspanning in de ondergrond ten gevolge van de HDD door tijdsafhankelijke samendrukking van het bentoniet (als lokaal geen grout wordt toegepast).

Deze twee aspecten zijn niet met berekeningen voor deze specifieke situaties beschouwd. Uit berekeningen bij andere locaties blijkt dat initiatie van zettingsvloeiing kan worden uitgesloten bij verwekingsgevoelige lagen als de onderkant van de HDD-boringen op minimaal 15 m onder deze lagen ligt.

## 2. Losgepakte zandlaag

De relatieve dichtheid is een maat voor de pakking van zand. Indien de relatieve dichtheid ( $R_e$ ) hoger is dan 65% is sprake van vast gepakt zand dan is zettingsvloeiing niet aan de orde. Aan de hand van een archiefsondering sondering, DKMP1 (bron: Fugro-project G-7043, t.p.v. KM97.000 langs A7) is de relatieve dichtheid van de zandlagen bepaald.

Hierbij is de relatieve dichtheid bepaald volgens Baldi. Een overzicht van de relatieve dichtheid en verwekingsgevoeligheid van de aanwezige zandlagen is weergegeven in tabel 5.2.

Tabel 5.2 - Overzicht relatieve dichtheid zandlagen op basis van sondering DKMP1, G-7043

Bovenkant laag [m NAP]	Onderkant laag [m NAP]	Dikte laag [m]	Gemiddelde $R_e$ [%]	Zettingsvloeiingsgevoelig
+6,8	-1,0	7,8	20	ja
-1,0	-3,5	2,5	55	ja
-3,5	-7,5	4,0	65	nee
-7,5	-8,5	1,0	35	nee
-8,5	-11,0	2,5	70	nee
-12,0	-14,0	2,0	70	nee

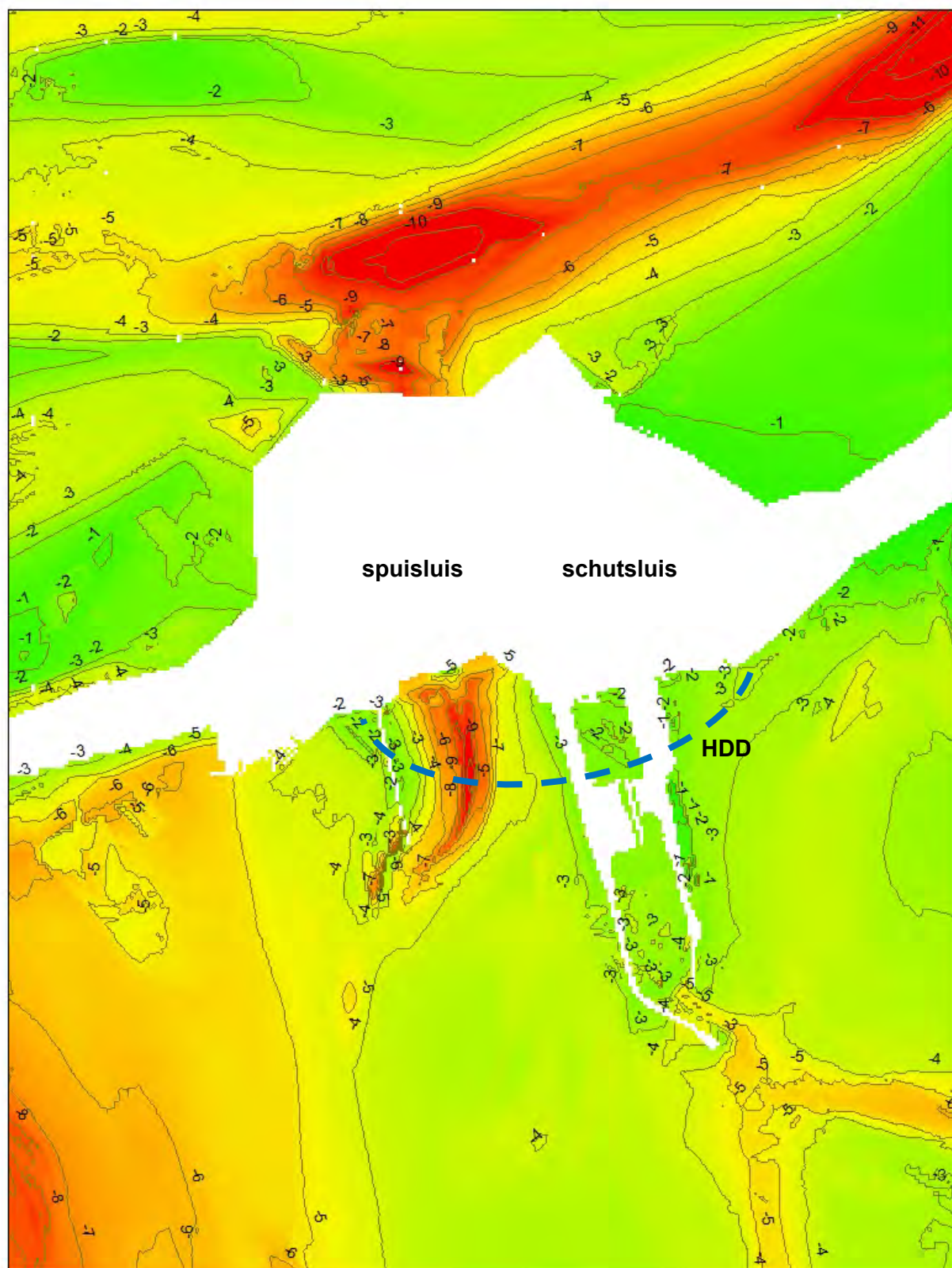
Uit de bepaling van de relatieve dichtheid blijkt dat er tussen NAP +6,8 en -3,5 m verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn. Er is één sondering beschouwd en er is dus niet verkend hoe dit varieert voor andere locaties. Er kan dus niet worden gegarandeerd dat er locaties zijn rondom Kornwerderzand zonder verwekingsgevoelige zandlagen. Puur op basis van sonderingen kan zettingsvloeiing dus niet worden uitgesloten, er is meer bewijsvoering nodig.

## 3. Helling onderwatertalud

Bij een flauw onderwatertalud kan zettingsvloeiing worden uitgesloten. Het verloop van het onderwatertalud is herleid uit bij Fugro beschikbare data, die is vrijgegeven door Rijkswaterstaat op 29 november 2007, zie figuur 5.16. Er wordt aangenomen dat de ligging van de waterbodem sindsdien niet ingrijpend is gewijzigd.

Uit deze bathymetrische informatie blijkt dat bij zuidelijke kolk van de schutsluis van Kornwerderzand en ten zuidoosten hiervan de waterdiepte zeer beperkt is en er nauwelijks sprake is van onderwatertaluds. Dit is een zelfde situatie als bij de aanlanding van HDD-boringen bij het transformatorstation bij Breezanddijk, waar ook sprake is van een waterdiepte van 2 à 3 m. Bij deze geringe waterdieptes kan zettingsvloeiing niet optreden.

Ten zuiden van de spuisluis zijn wel grotere waterdieptes gemeten. Hier kruist de HDD-boring een geul van maximaal 10 m diep. De onderwatertaluds langs deze geul hebben hellingen van maximaal 1 : 10 à 1 : 15. Met behulp van het Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor Primaire Waterkeringen (VTV, katern 9 Voorland) is getoetst of er sprake kan zijn van een afschuiving van het voorland of zettingsvloeiing.



Figuur 5.16 – Waterbodenniveau rondom Kornwerderzand met globale ligging HDD-boring (opname RWS 2007)

Volgens het VTV is in het getijdengebied nog nooit een inscharing tot aan de waterkering ten gevolge van zettingsvloeiing of afschuiving geconstateerd in natuurlijke geulen waarbij de geuldiepte kleiner was dan 9 m. Dit hangt samen met enerzijds de kans op een instabiliteit, die afneemt naarmate de geuldiepte kleiner is, en anderzijds met de grootte van de inscharing, dus de kans dat de waterkering beschadigd raakt door een instabiliteit; die kans wordt eveneens kleiner bij een kleinere geuldiepte. In de andere watersystemen (zoals het IJsselmeer) zijn de sterkte en belasting bij natuurlijke geulen altijd gunstiger dan in het getijdengebied: het zand is grover en hoekiger en de waterstandvariatie is kleiner. Voor een eerste conservatieve benadering kan het criterium voor bewezen sterkte dat geldt in het getijdengebied daarom ook worden toegepast in het IJsselmeer. Op basis van dit criterium kunnen zettingsvloeiing en afschuiving echter niet volledig worden uitgesloten, omdat de geul lokaal 10 m diep is. Bovendien moet rekening worden gehouden met een vergrote (fictieve) geuldiepte door de aanwezigheid van havendammen en de dijk boven water.

In stap 4 van katern 9 van de VTV wordt een geometrische toetsing beschreven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een rekenregel die berekent of afschuiving mogelijk is op basis van de geometrie van het onderwatertalud. Dit optredingscriterium bevat regels voor de taludhelling van de geul: als de taludhelling nergens zo steil is dat het mechanisme kan optreden, kan op basis daarvan een score 'voldoende' worden gegeven. Het blijkt dat de kans op afschuiving voldoende klein is, omdat de taludhelling tussen de geulrand en geulbodem nergens steiler is dan 1 : 4,5. De kans op zettingsvloeiing is voldoende klein, omdat de taludhelling tussen de geulrand en geulbodem nergens steiler is dan 1 : 7.

#### Conclusie

Op basis van bovenstaande beschouwing kan worden geconcludeerd dat het risico op zettingsvloeiing door toedoen van de voorziene HDD-boringen voldoende klein is.

## 6. KWALITEIT GRASMAT

### 6.1. Inleiding

In het Fugro-rapport van 21 mei 2015 is beschreven waarom, op basis van een kwalitatieve beschouwing, geen meetbare invloed wordt verwacht van de temperatuurverhoging door de aanwezigheid van kabels op de kwaliteit van de grasmat. Daar waar kabels warmte toevoegen aan de bodem verdampt meer bodemwater en daardoor treedt verdampingsstress eerder op. Echter, omdat de warmtestroom vanuit de kabel in het niet valt bij de overige invloedsfactoren is dit effect verwaarloosbaar en was er geen aanleiding om hier verder aan te rekenen.

De analyse die ten grondslag ligt aan deze conclusie is gebaseerd op de volgende veronderstellingen:

1. Kabelwarmte leidt tot toename van temperatuur van de wortelzone.
2. Temperatuurtoename leidt tot toename van de bodemverdamping en gewastranspiratie. De bodemwatervoorraad raakt eerder uitgeput dan zonder kabelwarmtetoevoer.
3. Indien gras in waterstress komt, treedt groeivertraging op en uiteindelijk volgt sterfte.
4. Herstel van de grasmat tot de normale kwaliteit (intensieve beworteling) kost tijd.

In het overleg met Rijkswaterstaat is naar voren gekomen dat een nadere uitwerking gewenst is. Om meer zicht te krijgen op de bodemwarmtestroom naar maaiveld wordt in deze rapportage ingegaan op:

- de ruimtelijke verdeling van de warmtestroom in het specifieke geval van de Afsluitdijk:
  - o tussen maaiveld en grondwater, en
  - o horizontaal, haaks op de kabel,
- de tijdverdeling van de warmtestroom:
  - o hoe lang welk vermogen is geleverd voorafgaand aan de droogteperiode, (ladingsgeschiedenis)
  - o de tijd-dempingkarakteristiek van de kabelomgeving kabelwarmtestroom naar maaiveld.

Voor het verkrijgen van deze informatie wordt gebruikgemaakt van de simulatieomgeving Feflow (DHI-WASY) waarmee stroming van grondwater en warmte kan worden weergegeven onder veranderlijke omstandigheden. Deze simulaties worden uitgevoerd langs twee verticale dwarsdoorsneden van de dijk met een verschillende positie van de kabels, fietspad en snelweg. Per model worden twee belastingsscenario's beschouwd.

Aangezien de temperatuursberekening en beoordeling uit het voorgaande rapport nadere uitwerking vereisten is ook naar een extreem scenario gekeken; een scenario van een combinatie van omstandigheden die negatief werken op de temperatuursopbouw en vochtbalans. Daarbij wordt opgemerkt dat het om een 'extreem' als schokproef. De kans dat deze combinatie van ongunstige omstandigheden zich voordoet in de praktijk is niet bepaald..

Vragen die open blijven staan, zijn onder andere:

- De klimatologie van de dijk in open water, windinvalshoek, zoninvalshoek, relatieve vochtigheid en temperatuur (relevant voor enkele conclusies).
- Zwel en krimpverschillen zoals schade aan wortels door scheurvorming (ander mechanisme van schade aan grasmat).



- De groeistrategie van gras onder veranderende bodemtemperatuur en het effect van verlenging van het groeiseizoen en de versnelling van organische stofdynamiek (mogelijk van invloed op de worteldiepte en worteldichtheid).

Echter, deze vragen zijn locatie specifieke details die ook positief kunnen uitwerken. Deze leiden niet tot een verandering van de conclusies in dit rapport ten aanzien van het risico op grassterfte door uitdroging. aangezien het effect van de kabel primair de toevoeging van warmte in de ondergrond betreft welke van invloed is op de vochtbalans. Dit is bepalend voor de effectbeoordeling.

## 6.2. Modelstrategie, uitgangspunten en randvoorwaarden

Twee modellen worden opgebouwd om representatieve resultaten te berekenen voor de secties :

- ten oosten van Kornwerderzand (tekeningen op pagina 28),
- ten westen van Kornwerderzand (tekeningen op pagina 29).

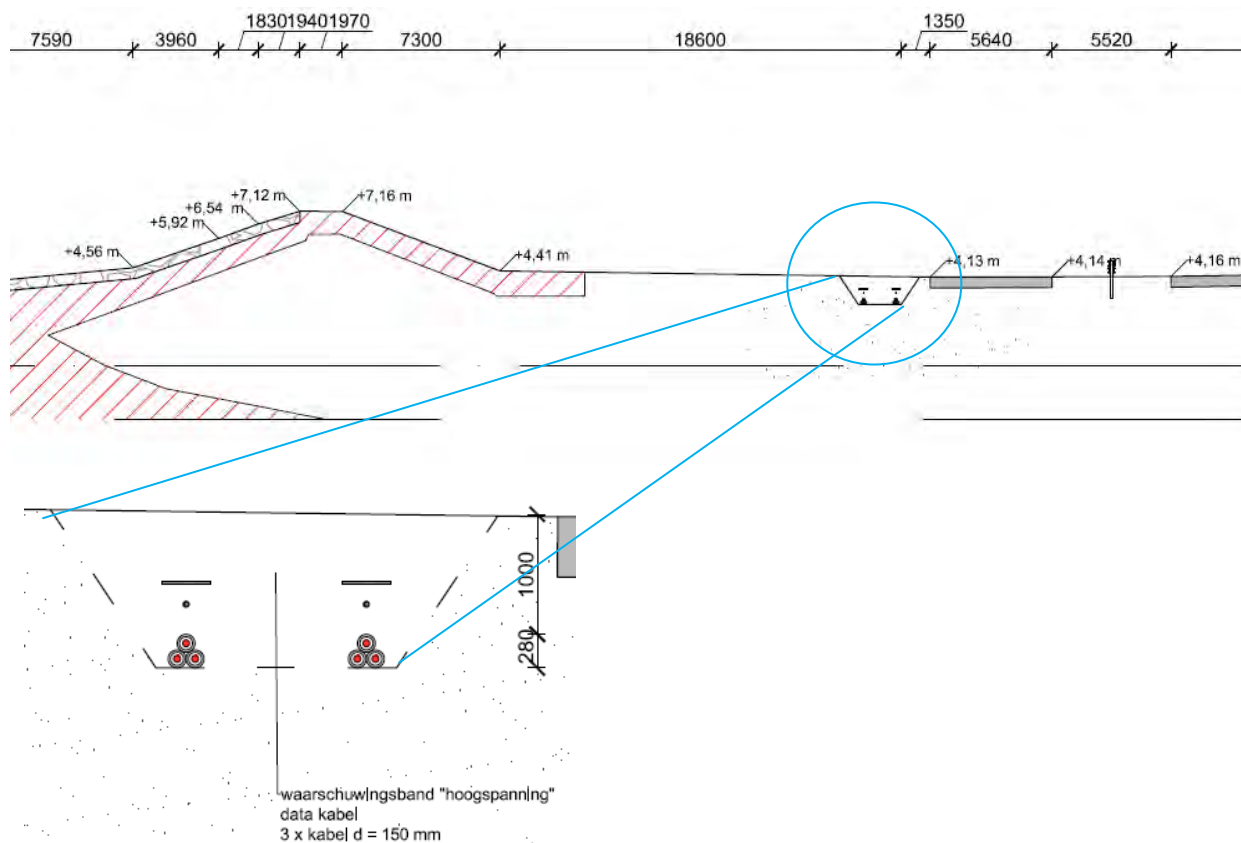


Figuur6.1 ligging secties Oost en West.

Langs deze twee secties wordt de bodemopbouw ingevoerd in een verticaal 2D netwerk met eindige elementen. Deze twee verticale dwarsdoorsnedemodellen worden onderworpen aan startcondities en vaste thermische randvoorwaarden. Om de effecten van de kabelwarmte te kunnen beoordelen, los van andere factoren, wordt het thermische vermogen dat wordt opgewekt door de kabels ingevoerd in de kabelkernen zodat het geheel past bij een worst case zomersituatie.

### 6.2.1. Sectie Oost

In de onderstaande figuren is de dijksectie Oost weergegeven. De maatvoering en materiaal kenmerken daarvan vormen de basis voor het modeldomein "Oost".

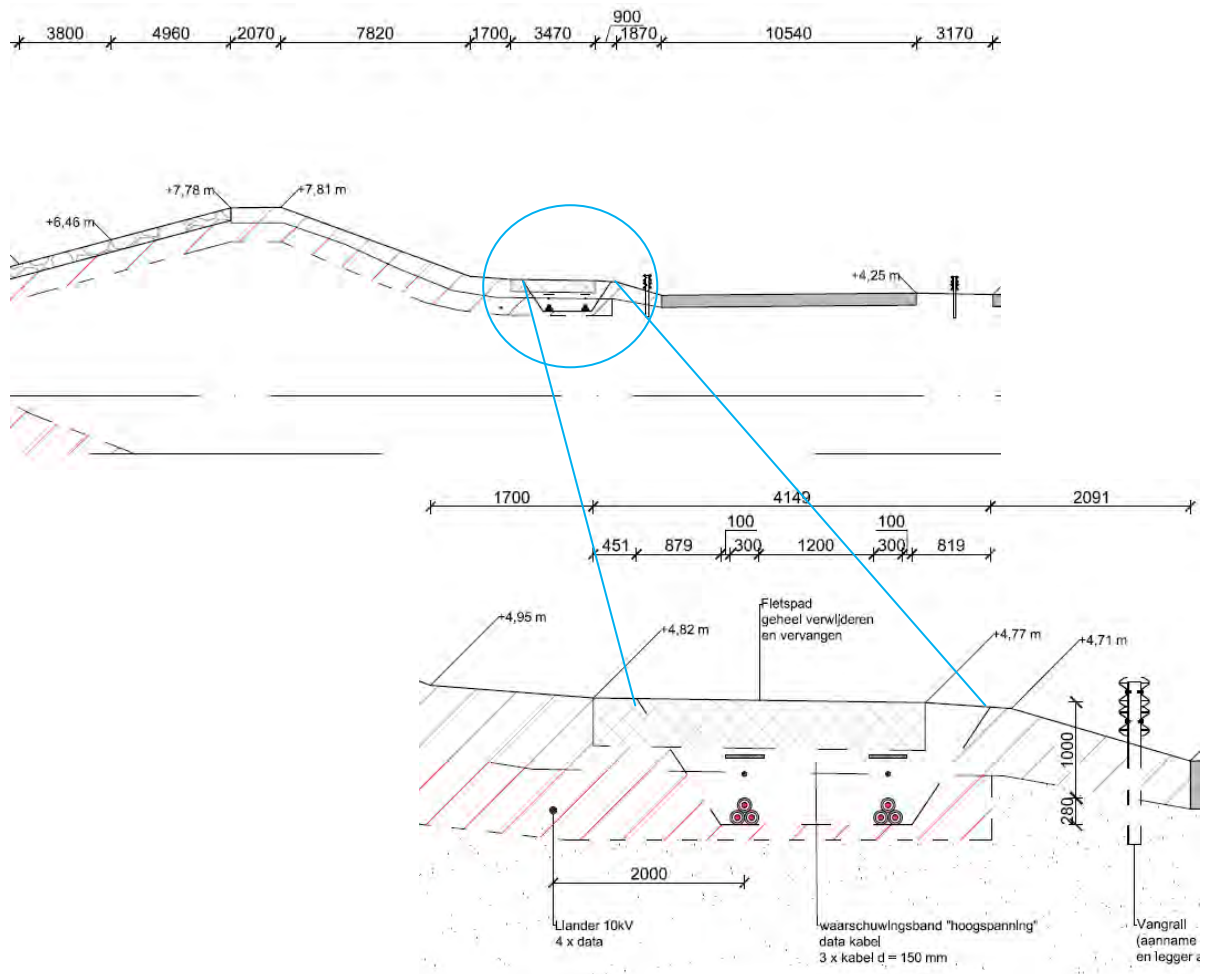


Vergelijkingstabel secties Oost en West.

Kenmerken secties	Sectie Oost "naast fietspad"	Sectie West "onder fietspad"
topografie	Horizontaal	Naast talud
bodemprofiel	Zand	Klei op zand
Maaiveldhoogte	NAP + 4,13 m	NAP + 4,82 m
PE beschermplaten	Breedte bundel	Breedte bundel
Diepte onderzijde kabelbundel	mv-128cm	mv-128cm
afstand tussen kabelbundels	120cm	120 cm

### 6.2.2. Sectie West

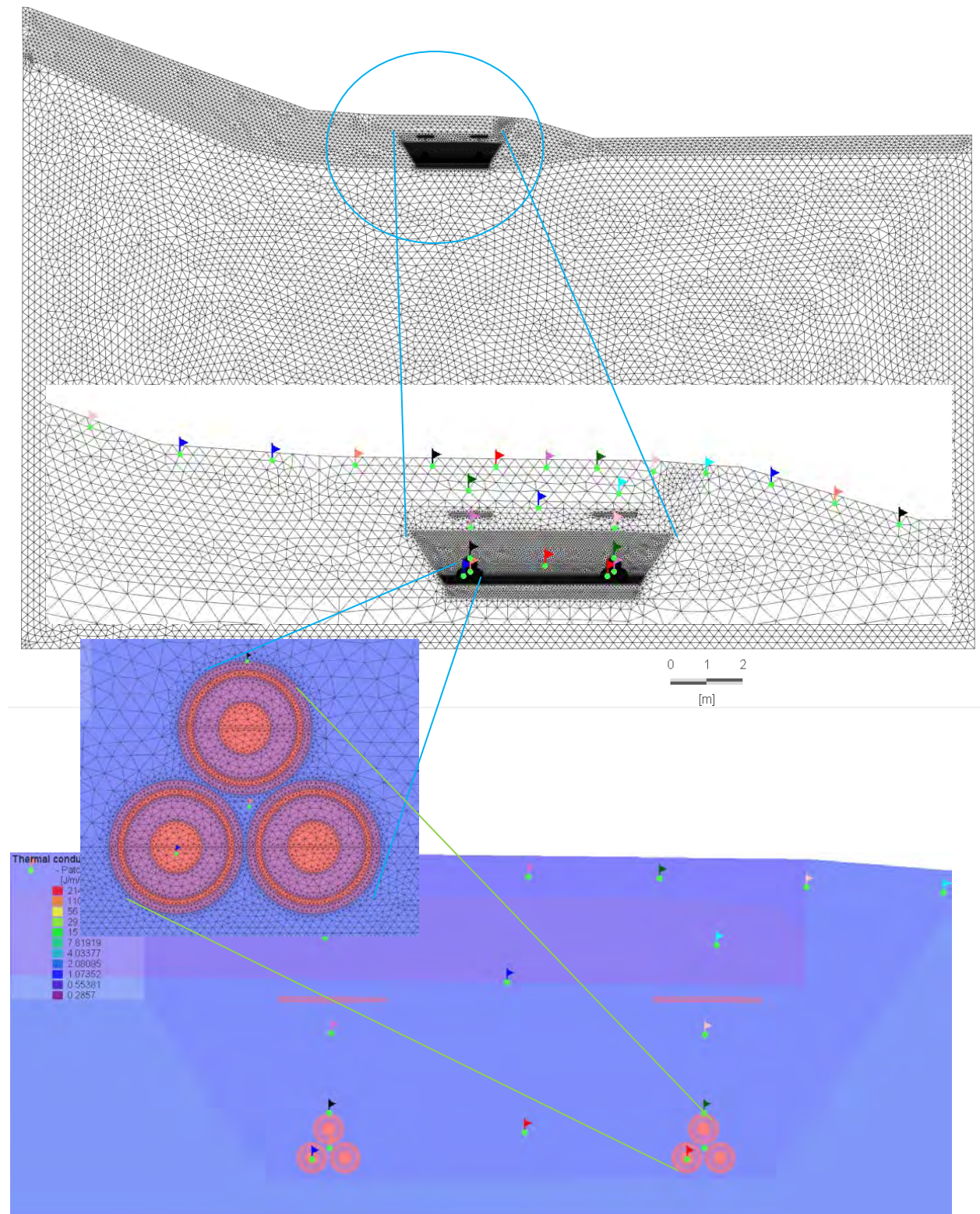
In de dwarsdoorsnede hieronder zijn de belangrijkste maatvoeringen en topografie zichtbaar, die terugkomen in het modelgrid van model West. Let op de dikte van de kleilaag die is weergegeven met een gearceerde ondergrens. De aanwezigheid en dus ook de dikte van de kleilaag is belangrijk voor de verticale verdeling van warmte. De dikte is niet exact bekend.



In de kabelomgeving is een 10kV kabel aanwezig. Die is niet in het model opgenomen, omdat de maximale belasting daarvan ver onder de ontwerpcapaciteit ligt, waardoor geen sprake is van thermische warmteproductie. De kabel bevindt zich wel in het beïnvloedingsgebied van de hoogspanningskabels.

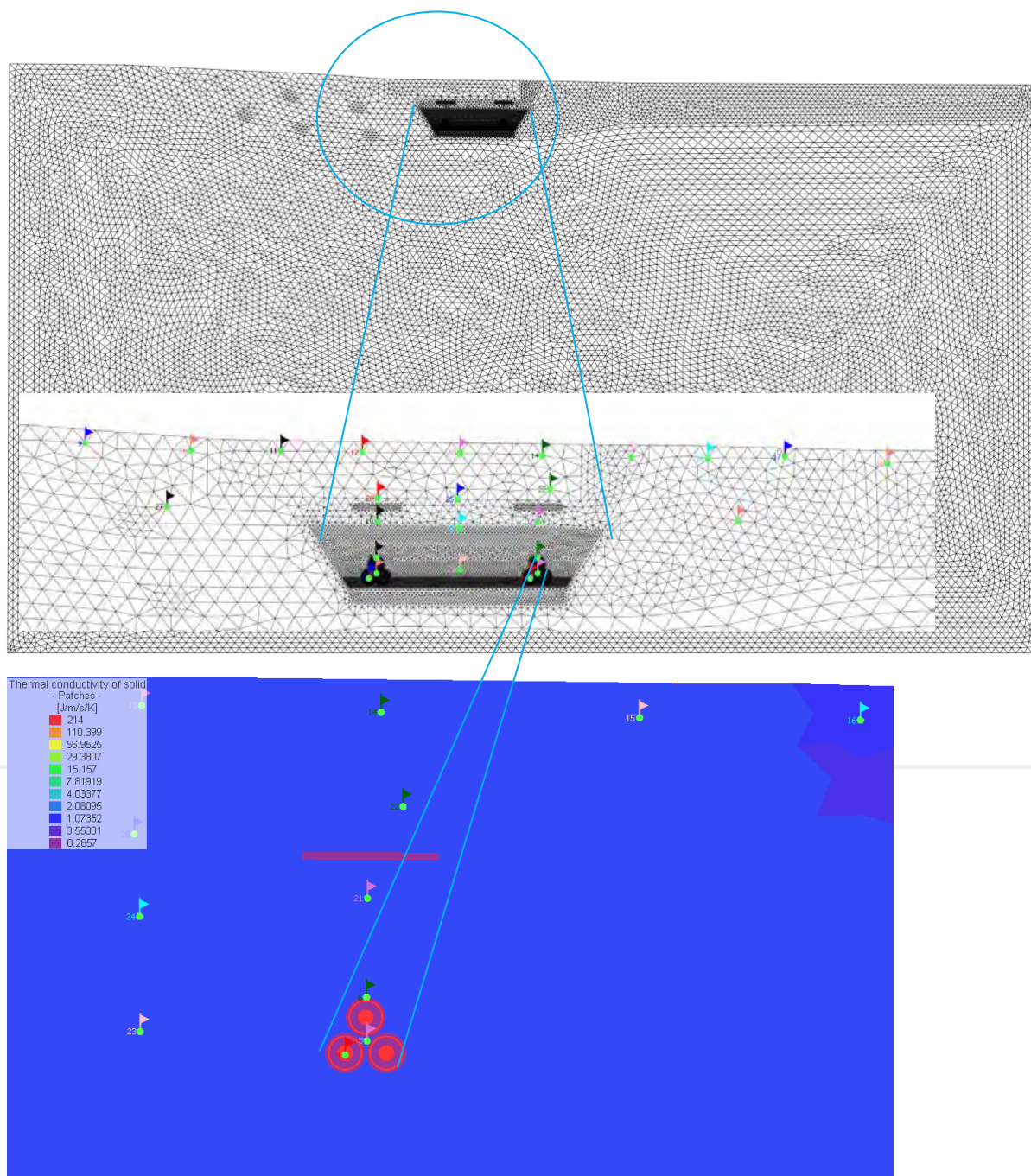
### 6.2.3. Modeldomein “West”

Modelgrid(grijs), observatiepunten en materiaalverdeling (kleur) van kabel en kabelsleufmateriaal zijn in onderstaande figuur weergegeven. Aan de linker- en rechterzijde zijn het talud en de snelweg herkenbaar, en de beschermplaten boven de kabels .



### 6.2.4. Modeldomein “Oost”

In de onderstaande figuren zijn het eindige elementen grid, observatiepunten en materiaalverdeling van kabel en kabelsleuf weergegeven in het brede zandlichaam. Merk op dat in sommige figuren knooppunten zijn gemarkeerd met observatievlaggen. Op die punten zijn gedurende de simulaties temperaturen opgeslagen, die belangrijk zijn voor de inschatting van de thermische effecten.



De kleurlegenda toont het factor 1000 contrast van de thermische geleidbaarheid tussen aluminium en kabelmantel met kleuren die gevoelsmatig dicht bij elkaar liggen. De logaritmische schaal is gebruikt om nog iets van het contrast in bodemeigenschappen te kunnen tonen.

## 6.2.5. Algemene randvoorwaarden

### Boven en onder randvoorwaarden

Beide modellen worden onderworpen aan een temperatuur van 15°C op de bovenrand (maaiveld) en 10°C in de diepe ondergrond. Deze thermische randvoorwaarden laten een warmtestroom toe. De in- en uitstromende energie wordt bijgehouden door het model. Deze zijn als eindresultaat bepalend voor de schatting van de kabelinvloed op de kwaliteit van de grasmatt.

De grondwaterstroming is stilgezet om een conservatief beeld te krijgen.

### Thermische geleidbaarheid

De thermische geleidingseigenschappen (Lambda) worden constant verondersteld in het model. Zoals te zien is aan de figuren in §6.2.4 is onderscheid gemaakt naar verschillende bodemmateriaal en wegcunet materialen. Naast de thermische geleidbaarheid lambda is in de tabel ook de thermische weerstand (reciproke waarde van Lambda) weergegeven, ook wel bekend als de G-waarde.

Tabel 6.2-1: Thermische geleidbaarheid

<b>thermische geleidbaarheid</b>	SI eenheden	g-waarde
materiaal	[W/mK]	[mK/W]
zand	1.30	0.77
klei (alleen profiel West)	1.50	0.67
geleider	214.00	0.00
PE plaat, XLPE laag en andere kabelisolatie	0.28	3.57
asfalt	1.00	1.00
wegcunetfundament	0.80	1.25

#### NB 1:

De thermische geleidbaarheid en de thermische capaciteit in mindere mate, zijn in de praktijk variabel met het vochtgehalte van de bodem. Omdat de thermische stabiliteit van de kabel niet aan de orde is, wordt deze op een conservatieve waarde constant verondersteld.

#### NB 2:

Door gebruik te maken van een tamelijk hoge thermische geleidbaarheid voor droog zand en klei (alsof het natter is dan in werkelijkheid) is een conservatieve – lees hoge – warmtestroom naar het maaiveld gesimuleerd. In de werkelijkheid kan dit alleen optreden als aan het belastingscenario een lange periode van neerslag vooraf is gegaan.

### Maatgevende belasting van de kabels: het thermisch vermogen

De vorm van het belastingscenario is in overleg met Ventolines vastgesteld aan de hand van de frequentieverdeling van opeenvolgende dagen harde wind in zomers. Omdat de kabelweerstand bekend is, volgt daaruit het thermisch vermogen van de kabels. Die wordt als een tijd-variabele ingevoerd in het model.

Tabel 6.2-2: Uitgangspunten thermisch kabelvermogen

**Uitgangspunten thermisch kabelvermogen (Ventolines i.o.m. Ensol) :**

- Weerstand 0,025 ohm/km (aangenomen is dat die constant is, onafhankelijk van de geleidertemperatuur).
  - Maximale stroomsterkte:  $385 \text{ MVA}/220\text{kV} \cdot \sqrt{3} = 1000\text{A}$ .
  - Capaciteitsfactor 45%.
  - Gewogen gemiddelde warmteproductie =  $8,9 \text{ W/m}$  kabel (per fase).
  - Maximale warmte productie windmolenpark =  $27,5 \text{ W/m}$  kabel.
- Basislast gedurende 1000 dagen (stap 2).
  - Pre-hittegolf condities: Maximaal belaste kabels 11 dagen (stap 3).
  - Hittegolfcondities direct na maximale belasting 1500 dagen (stap 4).

Zoals hiervoor reeds aangegeven is sprake van een extreem scenario. Bijvoorbeeld maximaal belaste kabels gedurende 11 dagen opgevolgd door een hittegolf, betekent in praktisch gezien 11 dagen vol continue een windbelasting van circa 17/18 m/s (windkracht 7/8), gevolgd door een hittegolf. Het hoogste windaanbod (afgezien van de aangenomen duur van het windaanbod) vindt plaats buiten de zomerperiode en het optreden van hittegolven in de zomerperiode.

**Stap 1** Hierin wordt de normale warmtestroom over de modelranden berekend gedurende 500 dagen.

**Stap 2** Simuleert de warmteopbouw onder basislastcondities. Daarbij wordt gebruik gemaakt van  $8,9 \text{ W/m}$ , passend bij de gewogen gemiddelde belasting, zoals berekend aan de hand van de opbrengstprognose van het windmolenpark (zie bijlage 3).

De basislast verwarmt gedurende 1000 dagen de bodem gestaag tot een evenwicht is ontstaan tussen warmteproductie en afgifte.

**Stap 3** Pre-hittegolfcondities. Omdat tijdens hittegolfcondities weinig wind en dus weinig kabelwarmteproductie aanwezig is, is deze gelijk aan de basislastcondities van  $8,9 \text{ W/m}$ . Echter, de meest ernstige bodemwarmtecondities zouden optreden als er een langdurige maximale kabelwarmteproductie vooraf gaat aan de hittegolf. Een 11 dagen aaneengesloten periode is aangehouden waarin de kabels een maximaal thermisch vermogen zouden leveren. De warmtevoorraad in de bodem wordt daardoor flink uitgebreid.

**Stap 4** Hittegolfperiode

Na 11 dagen maximaal wordt weer teruggevallen op normaal bedrijf tot in totaal 3000 dagen simulatietijd. Deze condities zijn zwaarder dan wat normaal is in een hittegolfperiode: een hoge drukgebied met weinig wind. Deze temperatuur in kabel en bodem toont de periodelengte, die nodig is voor dissipatie van de extra toegevoegde hoeveelheid warmte van de pre-hittegolfperiode.

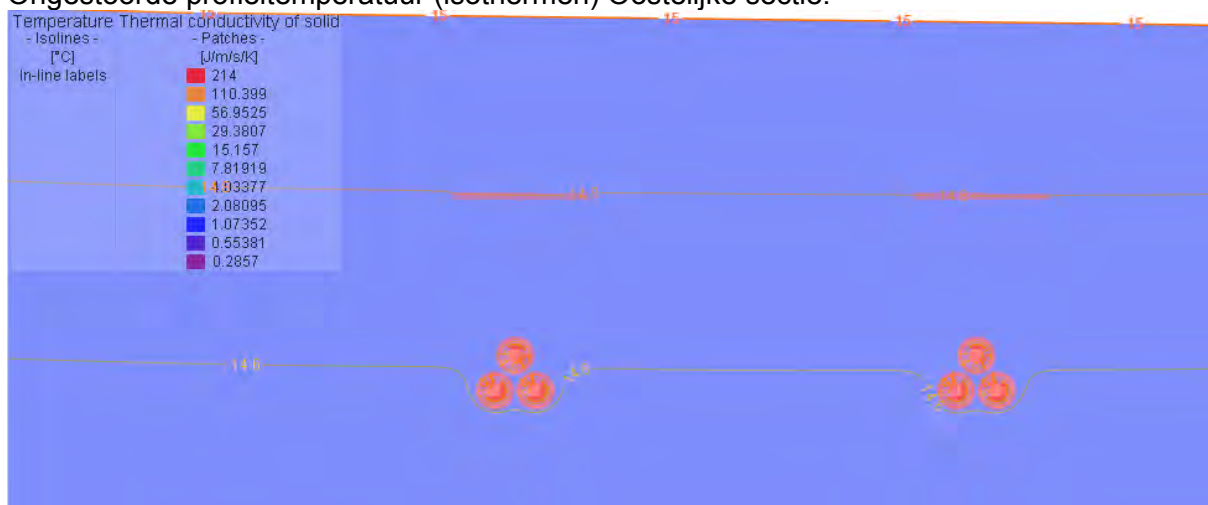
De bovengrondtemperatuur neemt toe tijdens de hittegolf waardoor de bodemwarmtegradiënt minder steil wordt. Daardoor neemt de warmtestroom direct af. De kabelkerntemperatuur en de bodemwarmtestroom naar de thermische onderrand neemt hierdoor toe. Omdat hier gezocht wordt naar de bodemwarmteflux aan het maaiveld zou een hogere bovenrand temperatuur een lagere bovenrandflux en dus een minder conservatief

beeld opleveren dan het geval is bij een gelijkblijvende bovenrand. Daarnaast is interactie tussen de dan gelijktijdige veranderingen van de bovenrandtemperatuur en het kabelvermogen ongewenst zijn. Let op: deze simulatie is dus alleen conservatief voor de berekening van de bodemwarmteflux over het maaiveld en niet voor de kabelkern-temperatuur.

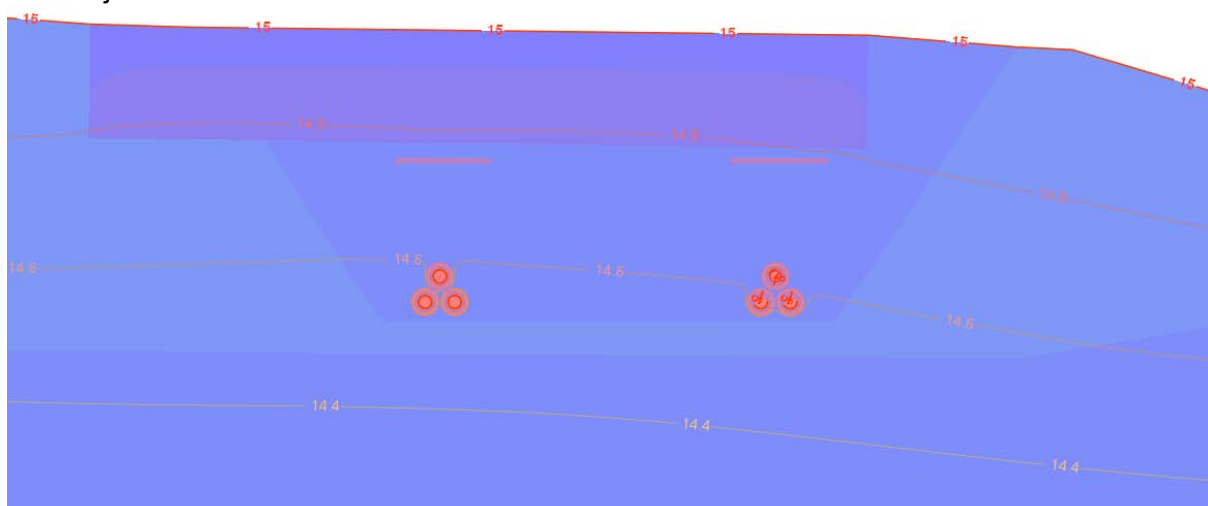
### 6.3. Resultaten stap 1

Voor beide modeldomeinen zijn hieronder temperatuurverdelingen weergegeven van de kabelsleuf tot aan maaiveld na 500 dagen fase 1 condities t.b.v. modelstabilisatie.

Ongestoorde profieltemperatuur (isothermen) Oostelijke sectie:



Westelijke sectie:

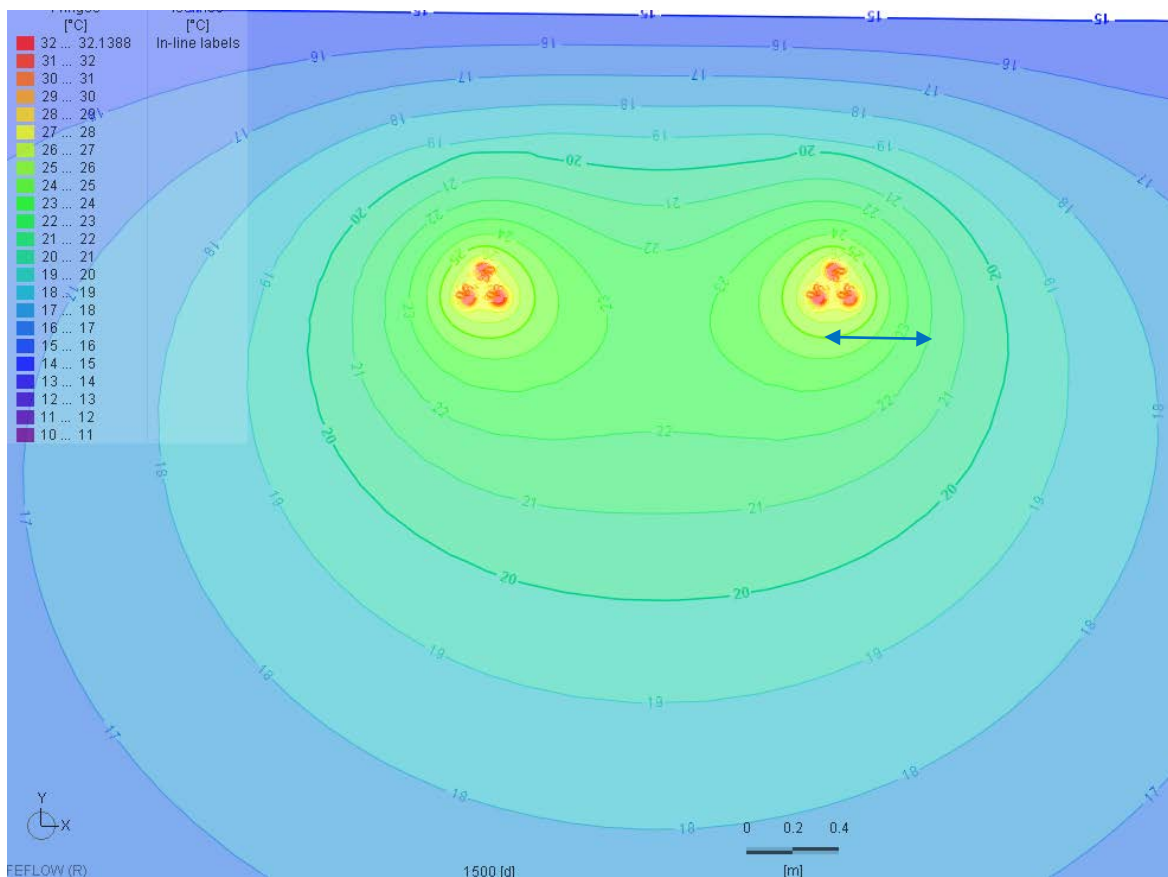


De kabels vertonen in deze figuur al een klein beetje verwarming als gevolg van een aantal tijdstappen warmtetoevoer. Dat is een modeleigenaardigheid en heeft geen invloed op de temperatuurverdeling. Het belangrijkste verschil in deze figuren is de buiging van de isothermen als gevolg van reliëf, klei en fietspadcunet.



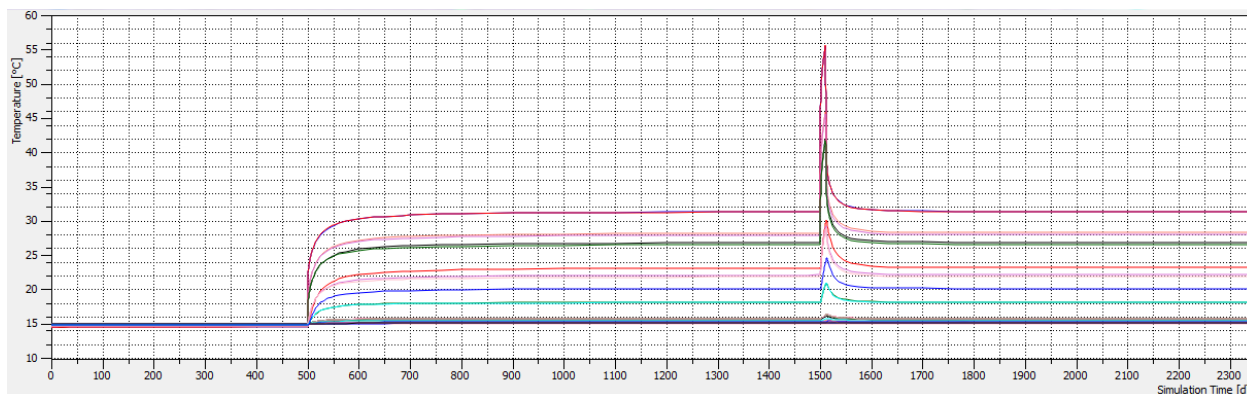
## 6.4. Resultaten stap 2

Toevoeging van 8,9W/m kabelwarmte is doorgerekend gedurende 1000 dagen, waarin vrijwel stationaire stromingscondities zijn bereikt.

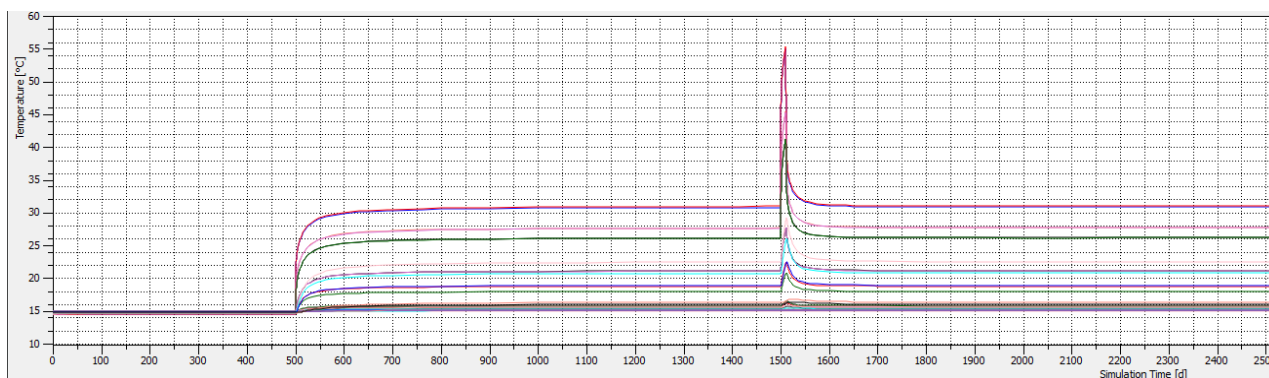


Figuur 6.4-1 Temperatuurverdeling in de oostelijke sectie, na 1000 dagen normaal bedrijf bij 8,9 W/strekkende meter kabel.

In de oostelijke sectie hierboven is de kerntemperatuur opgelopen tot 32°C. Deze temperatuurverdeling is nagenoeg stationair zoals te zien is aan de temperatuur tijdreeks in figuur 6.4-2.

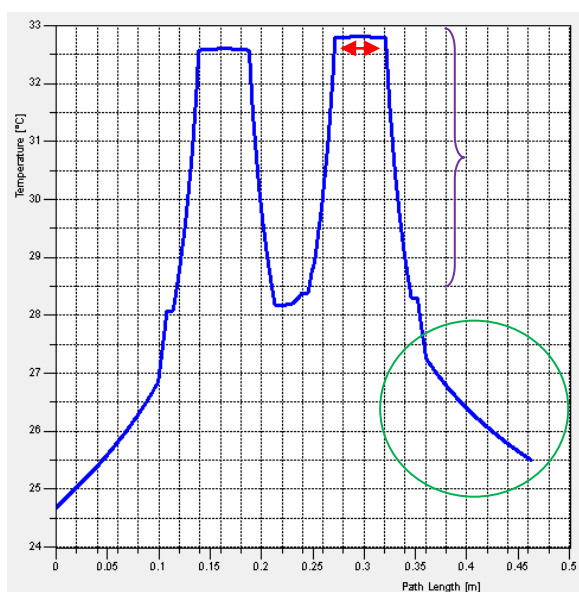


Figuur 6.4-2 Tijdreeks van temperatuur in de verschillende observatiepunten in het westelijke profiel, zoals weergegeven in de figuren van §6.2.



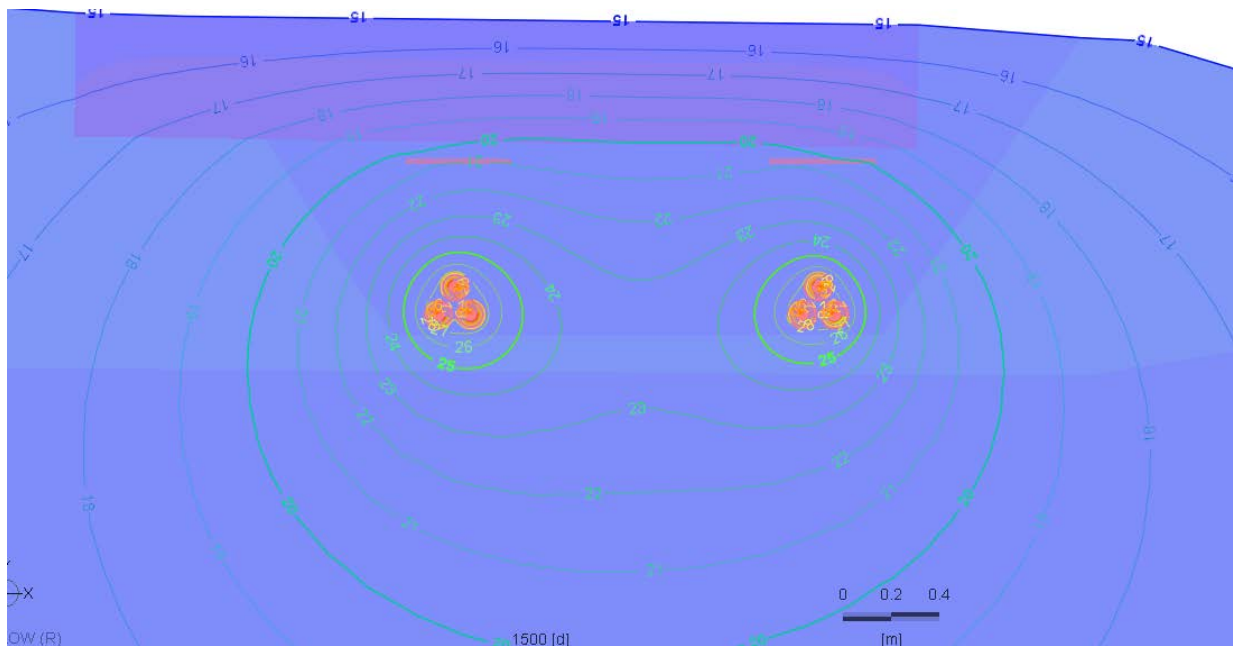
Figuur 6.4-3 Temperatuurtijdreeksen van alle observatiepunten in sectie Oost.

Figuren 6.4-2 en -3 bevatten tijdreeksen van vele observatiepunten. Van warm naar koud volgen de kabelkern, kabelmantel, “tussen de kabelbundels” en verder omhoog in het bodemprofiel. Het temperatuurverloop is voor beide profielen vrijwel gelijk. Vanaf dag 500 neemt de temperatuur over ongeveer 100 dagen toe. Het meest opvallende is de kabelkerntemperatuur die oploopt van 14,6°C tot 32°C. De belangrijkste observatiepunten zijn die in de wortelzone. Deze tonen een toename van enkele graden.



In de grafiek hiernaast is de temperatuur weergegeven in de kabelbundel zelf, in profiel Oost. De figuur toont de temperatuur langs de blauwe lijn in figuur 6.4-1, horizontaal, aan de onderzijde van de kabelstapel. De oorsprong van de energiestroom ligt op de twee tafelbergvormige plateaus. De breedte van de plateaus is gelijk aan de dikte van de aluminium kabelkern. De paarse accolade toont het temperatuurverloop in de XLPE kabelisolatie. De scherm laag is 28 graden en daarbuiten volgt weer een reeks kunststoflagen met buitenmantel. Op de kabel-grond grens is de temperatuur ongeveer 27°C. De bodemtemperatuur neemt gestaag af zoals gemarkeerd met de groene cirkel.

Figuur 6.4-4, Temperatuur horizontaal dwars over de onderste twee kabels, op dag 1499, vlak voor de zwaardere belasting optreedt.



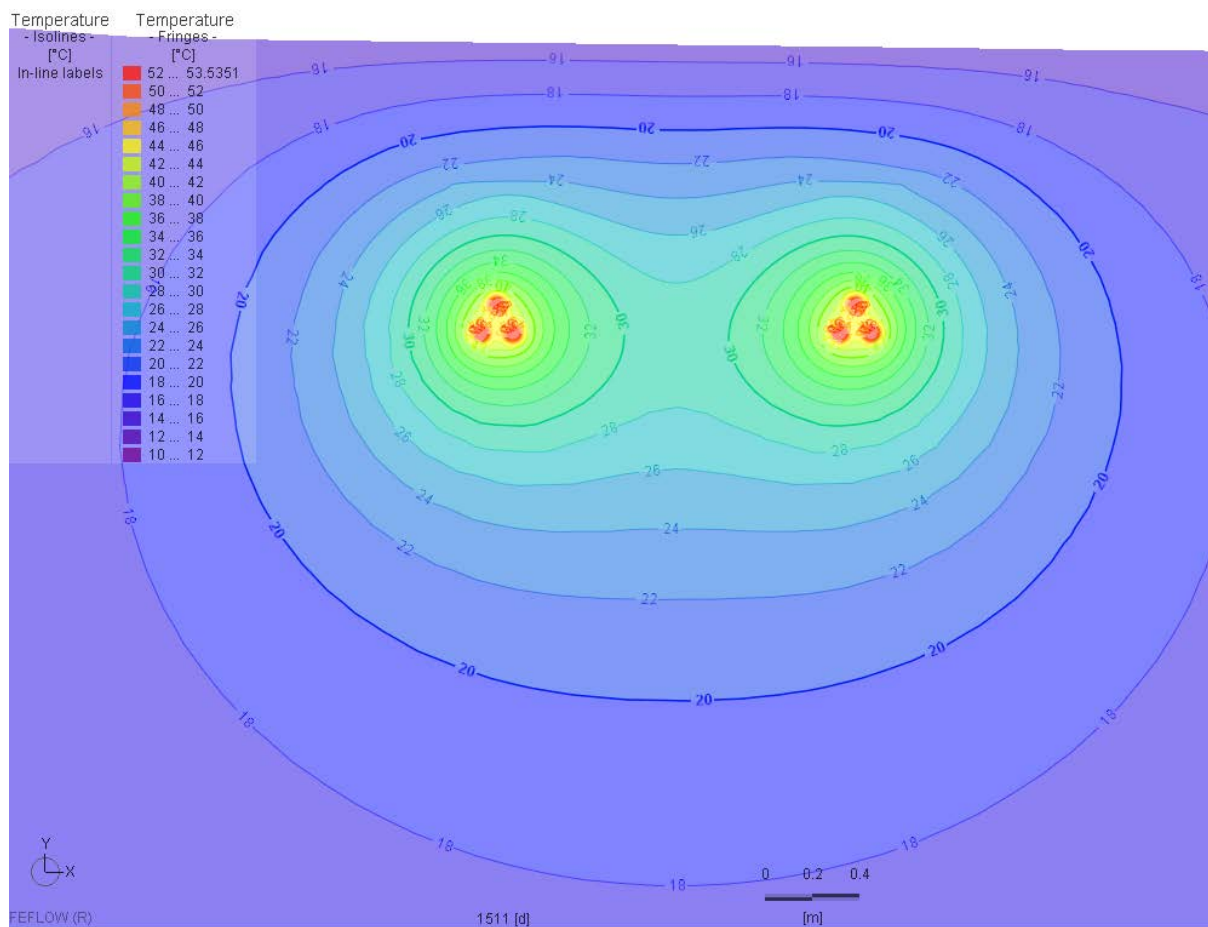
Figuur 6.4-5 Temperatuurverdeling in de westelijke sectie, na 1000 dagen normaal bedrijf bij 8,9 W/strekkende meter kabel.

## 6.5. Resultaten stap 3 en 4

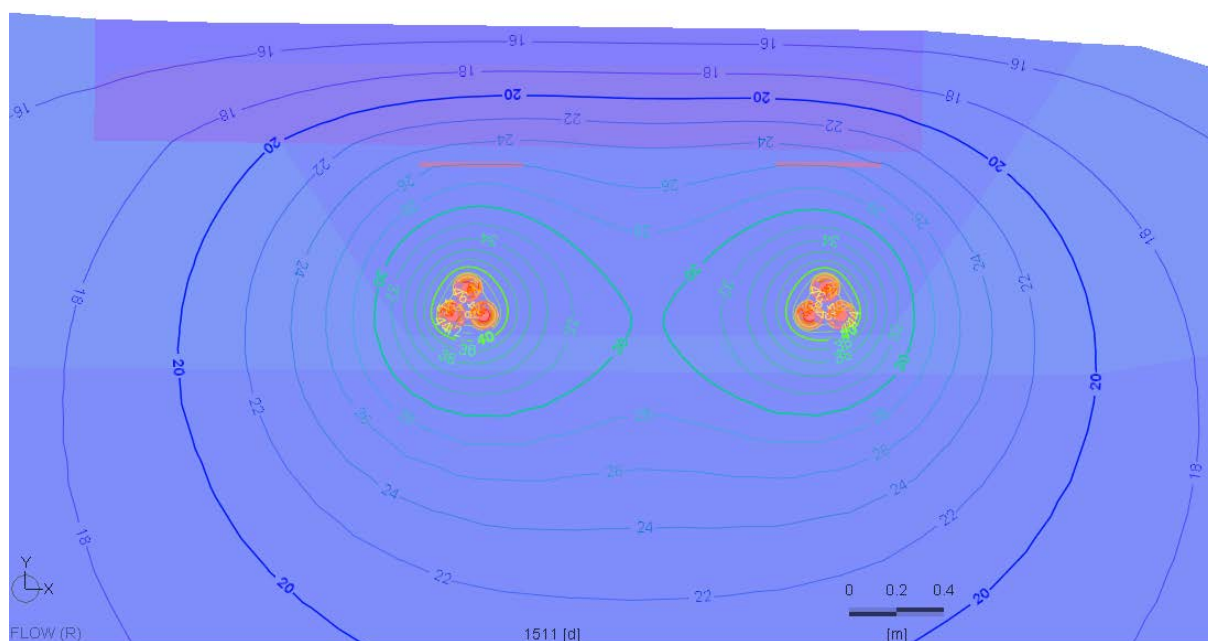
Na 1000 dagen normaal bedrijf wordt het windmolenpark 11 dagen maximaal belast. De bodemwarmtestroom is na "11 dagen maximaal bedrijf" nog lang niet stationair, zoals te zien is aan de eerder getoonde tijdreeksen.

NB, De temperaturen van kabelkern en kabelmantel roepen altijd veel vragen op. In deze situatie is gesimuleerd met het oog op warmteoverdracht aan maaiveld, en niet op het vaststellen van de maximaal haalbare kabeltemperatuur. De maximumtemperaturen die in deze simulaties zijn berekend in de kabel en direct daaromheen, zullen waarschijnlijk alleen in winterse omstandigheden worden overschreden. Dat heeft geen negatief effect op de gewasgroeiomstandigheden.

Op het oog zijn de warmtebeelden hieronder niet makkelijk te onderscheiden van die bij basislast. Let om het verschil te vinden op de temperatuur aan de onderzijde van het fietspadcunet in 6.5-2.



**Figuur 6.5-1** Temperatuurverdeling in de Oostelijke sectie, na 11 dagen intensief bedrijf bij 27,5 W/strekkende meter kabel.



**Figuur 6.5-2** Temperatuurverdeling in de Westelijke sectie, na 11 dagen intensief bedrijf bij 27,5 W/strekkende meter kabel.

De vergelijking van de figuren van de temperatuurverdeling is het makkelijkst door te kijken naar kabelkerntemperatuur (van 32 naar 55°C) en de diepteligging van bijvoorbeeld de 20°C isotherm onder het fietspad en de grasmat. In figuur 6.6-1 (oost) ligt deze isotherm direct onder de fietspad cunetvulling en in 6.5-2 (west) is die 30cm naar boven verschoven.

Om de energiebalansen van beide beschouwde profielen te kunnen vergelijken, wordt in de volgende paragraaf gekeken naar de veranderingen in het warmtevermogen dat via het maaiveld aan de atmosfeer wordt geleverd. Daarbij wordt gebruik gemaakt van dezelfde modelruns.

## 6.6. Potentiele verdampingstoename

### 6.6.1. Warmtestroom aan maaiveld

In de onderstaande tabel zijn de warmtestroomwaarden voor verschillende tijdstappen op een rij gezet. De belangrijkste bodemwarmtestroom is die als gevolg van normaal bedrijf. De maximaal bereikte warmtestroom treedt op aan het einde van de 11 dagen.

Tabel 6.6-1 – Warmtestroomwaarden voor verschillende tijdstappen

	Profiel West vermogen [W/m <sup>2</sup> ]	Profiel Oost vermogen [W/m <sup>2</sup> ]
<b>0 W @499d</b>		
bovenrand	0.4	0.4
grasberm asfalt	0.6	0.5
onderrand	-0.4	-0.4
<b>8.9 W @1499d</b>		
bovenrand	-1.4	-1.5
<b>verschil met 0W</b>	<b>-1.8</b>	<b>-1.9</b>
grasberm asfalt	-8.2	-8.7
<b>verschil met 0W</b>	<b>-8.8</b>	<b>-9.3</b>
onderrand	-0.5	-0.5
	<b>-0.1</b>	<b>-0.1</b>
<b>27.5 W @1511d</b>		
bovenrand	-2.5	-2.4
<b>verschil met 0W</b>	<b>-2.9</b>	<b>-2.8</b>
grasberm asfalt	-13.7	-14.6
<b>verschil met 0W</b>	<b>-14.3</b>	<b>-15.2</b>
onderrand	-0.5	-0.5
<b>verschil met 0W</b>	<b>-0.1</b>	<b>-0.1</b>

De belangrijkste cellen in de tabel zijn dikgedrukt weergegeven. Normale zomercondities leveren een stationaire neerwaartse warmtestroom op (groene cirkel) van 0,4 tot 0,6 W/m<sup>2</sup>.

### 6.6.2. Normale kabelwarmtestroom

Zonder verwarmde kabels is het maaiveld veelal warmer dan de kern van het damlichaam en stroomt de warmte naar beneden. Door warmte aan de ondergrond toe te dienen via de kabels verandert de gradiënt en klapt de stroomrichting van warmte om naar maaiveld. Bij normale bedrijfsomstandigheden neemt de bodemwarmtestroom toe tot waarden van  $2 \text{ W/m}^2$  ten opzichte van de situatie zonder kabel (paarse cirkel). Dat is gemiddeld over de gehele bovenrand van het modeldomein van 26 meter breedte. In de zone direct boven de kabels tot een afstand van 60 cm aan weerszijde van de kabelsleuf neemt die toe tot circa  $10 \text{ W/m}^2$  ten opzichte van de situatie zonder kabel (paarse cirkel). Dit vermogen wordt omgerekend naar een verdampingsbudget dat in mindering wordt gebracht op de bodemwatervoorraad.

De invloed van het fietspad op de warmtestroom van de kabel (afgezien van het effect van het fietspad zelf wat in de voorgaande rapportage is toegelicht) lijkt niet groot te zijn, zoals te zien is aan het verschil tussen de beide profielen in de tabel. De bodemwarmtestroom leidt in asfalt uiteraard niet tot een toename van de verdamping maar wel tot een toename van straling en geleidingsoverdracht.

De toename van de bodemwaterverdamping door de kabel is in de eerdere rapportage berekend, zoals weergegeven in het citaat in de onderstaande tekstbox.

Tabel 6.6-2: Citaat uit Fugro-rapport van 21 mei 2015 over de toename van de bodemwaterverdamping

#### Verdampingstoename

1 mm neerslag vertegenwoordigt een hoeveelheid verdampingsenergie van  $2250 \text{ kJoule per m}^2$ . Stel dat  $1/3$  deel van het totale vermogen van  $28 \text{ W}$  van 3 kabels de bovengrond opwarmt; dan duurt het  $2250.000 \text{ J} / 28 = 80.000$  seconden ofwel 22 uur voordat 1 mm water verdampt is. Per strekkende meter kabel kan in 22 uur dus 1 mm neerslag verdampen tot op een afstand van 0,5 m, of minder naar mate die warmtestroom over een grotere afstand verdeeld wordt.

Uitgaande van een effectieve "werkende breedte" van het warmtefluxveld van 2 m aan weerszijden zal de verdamping op jaarbasis ten koste gaan van een verdampingstoename met 335 mm, te verdelen over  $4 \text{ m}^2$  is dat  $>10\%$  van de totale neerslag.

Conclusie 1: als kabelwarmte doordringt tot het oppervlak zal deze leiden tot een toename van het aantal dagen met droogtestress voor de grasmat, zelfs als die warmte over een grote afstand wordt verdeeld.

Conclusie 2: de verdeling van de warmteflux rondom de kabel (meer of minder dan  $1/3$  deel van het totaal) is dus een dominante factor voor de bijdrage van de warmte aan de waterbalans.

De 6 kabels leveren  $6 \times 8,9 = 53 \text{ Watt}$  per meter tracé. Daarvan wordt  $26 \times 1,9 = 49 \text{ W/m}$  via het maaiveld aan de omgeving afgestaan, verspreid over een strook van vele meters breedte, met een maximum van ruwweg  $10 \text{ W/m}^2$  boven de kabels.

De warmtelevering van de kabels verdwijnt voor het overgrote deel via het maaiveld. Dat verandert de energiebalans van het maaiveld dus sterker dan de in de eerdere rapportage genoemde aanname van  $1/3$  deel van de warmtestroom. De warmtelevering onder basislast van de kabels is echter aanzienlijk lager dan hetgeen in de eerdere rapportage is gebruikt, ook ongeveer  $1/3$  deel daarvan. De conclusie ten aanzien van de verdampingstoename onder normale bedrijfscondities uit de eerdere rapportage blijft dus overeind.

Op basis van de bovenstaande uitgangspunten is een warmtestroom berekend die per dag  $0,36 \text{ mm}$  bodemwater kan verdampen. Ondanks dat er ook andere warmteoverdracht

processen optreden (geleiding en uitstraling) moet er vanuit worden gegaan dat het overgrote deel van de warmte zal worden afgegeven via gewastranspiratie, waardoor de extra warmte ten koste gaat van de bodemwatervoorraad. Omdat de hittegolfcondities leiden tot hoge etmaalgemiddelde temperaturen neemt de warmtestroom door geleiding namelijk sterk af.

De potentiële structurele verdampingstoename met 0,36mm/dag leidt in een maand tijd tot een verlies van 10mm. Of dit verdampingsbudget een probleem wordt is dus afhankelijk van de lengte van voorafgaande periodes zonder neerslag.

In de eerdere rapportage is aangegeven welke bodemwatervoorraad ongeveer beschikbaar is voor verdamping (zie onderstaande tekstbox).

Tabel 6.6-3: Citaat uit Fugro-rapport van 21 mei 2015 over bodemwatervoorraad

Ongeveer 25% v/v van het bodemvolume is als bodemvocht beschikbaar voor transpiratie van het gras. Uitgaande van een kleilaagdikte van 0,5 m is daarmee 150 mm water beschikbaar om droogteperiodes te overleven.
---

De grasmat boven de kabels begint bij een hittegolf met een achterstand van bijna 10% van de bodemwatervoorraad *per maand zonder neerslag* voorafgaand aan de hittegolf.

Evapotranspiratie kan *zonder kabelwarmte* op een zomerdag, tijdens een hittegolf, oplopen tot 7 mm per dag waardoor de bodemwatervoorraad na enkele weken is uitgeput.

**Conclusie 1:** Onder normaal bedrijf neemt de overlevingstijd van gras boven de kabels in een hittegolf af met 1 dag per twee weken zonder neerslag voorafgaand aan de hittegolf. Daarbij dient in acht te worden genomen dat dit is bepaald, rekening houdend met diverse conservatieve aannames.

Om deze verdampingstoename in verhouding te plaatsen van andere waterbalansposten: ledere heldere nacht treedt op gras condensatie op. In Nederlandse condities wordt rekening gehouden met een oogst van **0,2mm/nacht als gevolg van dauw**. Een deel van dit water wordt door het gras in de wortelzone opgeslagen en zal na verdamping dus leiden tot uitdroging.

De situatie van de Afsluitdijk wijkt los van de eerder genoemde ligging tussen open waterpartijen opvallend af van normale weidepercelen, omdat

- in profiel Oost geen kleilaag aanwezig is en daar is de bodemwatervoorraad mogelijk aanzienlijk lager. Vermoedelijk is er ten behoeve van het gras wel een geschikte teelaardelaag toegepast.
- de grondwaterstand waarschijnlijk ruim 4 meter onder maaiveld ligt, waardoor geen capillaire nalevering plaatsvindt uit grondwater.

### 6.6.3. Kortdurende warmtepuls

Omdat de warmtestroom pas op gang komt op het moment dat de temperatuur is opgelopen, is de warmtecapaciteit en de thermische geleidbaarheid van de bodem zeer bepalend voor de uiteindelijke verdeling van de warmtestroom in de tijd. De tijdreeksen tonen aan dat de warmtevoorraad tot 150 dagen nodig heeft om te verdwijnen.

Hoe droger de grond hoe steiler de temperatuurgradiënt in de bodem moet worden om de warmtestroom naar maaiveld te ondersteunen en dus hoe langer het duurt voordat een warmtepuls leidt tot een verandering van de maaiveldenergiebalans.

De warmtepuls die het gevolg is van de maximale belasting gedurende 11 dagen piekt op  $15\text{W/m}^2$ , wat gelijk staat aan een verdampingsbudget van 0,6 mm per dag. Dat is 60% meer dan de verdamping van 0,36 mm per dag, het budget tijdens normaal bedrijf. Als een dergelijke situatie twee weken voortduurt, wordt een hoeveelheid water verdampt dat onder ongestoorde omstandigheden (zonder kabel) gedurende 1 dag hittegolf wordt getranspireerd.

**Conclusie 2:** Bij de kortdurende warmtepuls (van een harde windperiode) neemt de warmtestroom toe met 60% gedurende een beperkt aantal dagen. Intensieve wind, voorafgaand aan een hittegolfperiode, kan boven een kabel dus leiden tot een verkorting van de overlevingsduur van gras met 1 dag.

**Conservatieve aannamen:**

Bij deze conclusies is het van belang de conservatieve uitgangspunten voor ogen te houden:

- De luchttemperatuur in een zomerse periode met harde wind zal hoger liggen dan  $15^\circ\text{C}$ . De temperatuurgradiënt boven de warme kabel wordt daardoor kleiner, waardoor de warmtestroom naar maaiveld in werkelijkheid kleiner zal zijn.
- De thermische geleidbaarheid van de grond is in werkelijkheid aanzienlijk lager dan hetgeen in dit model is aangenomen. De totale warmtestroom wordt niet minder maar veranderingen in de warmtestroom worden trager doorgegeven aan de omgeving. De gesimuleerde warmtepuls zal bijvoorbeeld over een veel langere periode worden uitgesmeerd. Hoe langer het duurt hoe groter de kans dat een bui de ondergrondtemperatuur weer normaliseert.

**6.7. Conclusie temperatuureffect op kwaliteit grasmat**

De invloed van de temperatuur van kabels op de grasmat is beschouwd door middel van modelberekeningen waarin precies de situatie bij de Afsluitdijk bij twee doorsnedes is nagebootst voor gemiddelde temperaturomstandigheden. Uit deze modelberekeningen volgt dat de temperatuur in de wortelzone, bij diverse conservatieve uitgangspunten, tijdens normaal bedrijf van de windturbines met enkele graden stijgt en voor een extreem scenario na 11 dagen intensief bedrijf gevolgd door een hittegolf met 6 graden toeneemt. De bijbehorende warmtestroom kan de verdamping van bodemwater versterken met respectievelijk circa 0,36 mm/dagen en 0,60 mm/dag.

Na een lange, droge en warme periode kunnen de kabels een gering negatief effect hebben op de bodemwaterreserve bij de grasmat. Voorafgaand aan een hittegolf begint het gras boven de kabels door de versterkte verdamping met ongeveer 1 dagbudget lagere bodemwaterreserve per twee weken droogte voorafgaand aan de hittegolf. Op basis van het kleiprofiel heeft gras op de Afsluitdijk een bodemwaterreserve van ongeveer 14 dagen. Indien een intensieve windperiode voorafgaat aan een hittegolf, gaat een dagbudget extra verloren. Dit extra negatieve effect kan worden vermeden door, indien nodig kunstmatig te beregenen.

Gezien het feit dat in de praktijk tijdens hittegolven geen grootschalige aantastingen van gras op dijken wordt waargenomen, ook voor de Afsluitdijk is dit niet bekend, wordt verwacht



dat de veel geringere temperatuurstijging door de warmte van de kabels geen significante invloed zal hebben. Een gunstige bijkomstigheid van de Afsluitdijk is de ligging tussen open waterpartijen met bijbehorende hoge luchtvochtigheid en lage luchttemperaturen.

## 7. CONCLUSIES

Hieronder zijn de antwoorden op de vragen uit de inleiding samengevat.

### Afspraak 2 - Ligging kabel doorsteek vismigratierivier

*Hoe kan de hoogspanningskabel worden ingepast, zodat de effecten op de waterkerende veiligheid van de voorziene coupure bij de doorsteek van de voorziene vismigratierivier in de Afsluitdijk aanvaardbaar klein zijn?*

Er is een fietsbrug nodig bij de doorsteek. Onder deze fietsbrug kan de kabel in een koker worden weggewerkt. Op basis van een kwalitatieve beschouwing wordt geconcludeerd dat een hoogspanningskabel bij de doorsteek van de vismigratierivier goed inpasbaar is zonder negatieve effecten op de waterkering of het toekomstige kunstwerk. Aanbevolen wordt om bij het ontwerp van de fietsbrug over de vismigratierivier en de meet- en regeltechniek voor de afsluitmiddelen al te anticiperen op de aanwezigheid van kabels.

### Afspraak 6 – Verwachting holle ruimtes

*In hoeverre is er een risico voor het ontstaan van holle ruimtes rondom de kabels in de dam?*

Bij de veldstrekkingen zullen de holle ruimtes verwaarloosbaar zijn, omdat zakkingen er geleidelijk zullen optreden en de kabel daarbij meebeweegt. Bij de aansluiting van de kabels bij kruisingen kunnen spleten langs de leiding ontstaan van 1 à 2 m lengte door zakkingsverschillen, tenzij men in de detaillering een flexibele aansluiting (bijvoorbeeld een mantelbuis) realiseert.

*Tot welke verschilzettingen kunnen de holle ruimtes leiden aan het maaiveld?*

De maximale verschilzettingen aan het maaiveld door conservatief aangenomen holle ruimtes van ca. 0,05 m breed onder de kabels bedragen 0,01 à 0,02 m. In dit geval zullen dit soort holle ruimtes echter niet optreden en zullen de maaiveldzettingen derhalve verwaarloosbaar zijn.

*Wat zijn de risico's van holle ruimtes voor de waterkerende veiligheid van de dam?*

Deze vraag is eigenlijk niet meer relevant, omdat er op basis van de berekeningen van Tebodin nauwelijks holle ruimtes zullen ontstaan. Te grote holle ruimtes kunnen leiden tot scheuren in het asfalt van het fietspad, maar dat is hier niet het geval. Bij grote golfoverslag zal gescheurd asfalt, indien niet tijdig waargenomen en hersteld, gevoeliger zijn voor uitspoeling dan ongescheurd asfalt. De veronderstelling dat holle ruimtes in de lengterichting van de dam schadelijk zijn voor de dam, doordat deze kunnen uitspoelen door geconcentreerde grondwaterstromingen wordt niet realistisch geacht.

### Afspraken 8, 9 en 10 - HDD-boringen en zettingsvloeiingen

*In hoeverre is er bij de Lorentzsluizen bij Kornwerderzand sprake van funderingen of damwanden langs het boortracé?*

De sluis te Kornwerderzand is gebouwd op een paalfundering. In totaal zijn er 7836 palen bovenlandse dennen heipalen van ongeveer 12 m lengte met betonnen oplangers geheid, waarvan 644 schoorpalen onder de vleugelwanden. Tegen achter- en onderloopsheid zijn dubbele stalen damwandplanken/ schermen aangebracht. Om achterloopsheid te voorkomen zijn ter plaatse van de deuren en nabij het buitenfront achter de landhoofden drie schermen van gewapend beton aangebracht. In de lengterichting van de sluisas zijn stalen damwandschermen aangebracht langs de buitenwanden van de funderingsplaat. Verder is

er sprake van meerpalen in de sluiskolk en funderingselementen van het Kapitein Boers Viaduct.

*Wat zijn de zettingen boven de HDD-boring volgens de Methode Peck?*

Zonder toepassing van grout zijn de berekende maximale zakkingen bij steenbekledingen, asfaltwegen en paalvoeten ten gevolge van de HDD-boringen zijn 4 tot 12 centimeter en derhalve niet 'nihil', met uitzondering van de aanlanding bij Breezanddijk. Alle berekende zettingen kunnen worden gereduceerd tot 'nihil' door correcte toepassing van een speciale uithardende boorvloeistof (drillgrout of een vergelijkbaar product) tijdens de intrekfase. Er is dan geen sprake van volumeverlies rond de leiding en daardoor zijn er geen maaiveldzakkingen t.g.v. de HDD-boring.

*Kan worden aangetoond dat de stabiliteit van de waterkering bij het in- en uittredepunt van de HDD-boring niet in het geding is?*

Ja, er worden tijdelijke putten van maximaal 2 m<sup>3</sup> ontgraven bij de intredepunten van de HDD-boringen. Deze putten liggen op een dermate grote afstand van de damtaluds dat de stabiliteit niet wordt aangetast.

*Kan de kwelweg van de HDD-boringen worden berekend volgens bijlage D van NEN3651:2012?*

De kwelwegen zijn beschouwd volgens bijlage D van NEN3651:2012. Er zijn twee redenen waarom dit voor deze situatie geen risico vormt. Ten eerste wordt er niet van buitendijks gebied naar binnendijks gebied geboord. Bij de kruisingen van de rijksweg wordt weliswaar een deel van dijklichaam gekruist, maar dit zal niet leiden tot een verkorting van een bestaande kwelweg door de aanwezigheid van een zandlichaam rondom het uittredepunt van de HDD-boring. Ten tweede is er geen sprake van een waterstandsverschil tussen het in- en uittredepunt.

*Kan met een geometrische beschouwing worden aangetoond dat het risico van zettingsvloeiing bij de HDD-boringen nihil is?*

Ja, want het IJsselmeer heeft op de meeste locaties een geringe diepte. Bij de spuisluisen bij Kornwerderzand is het IJsselmeer lokaal dieper. De onderwatertaluds hebben daar echter dermate flauwe hellingen dat zettingsvloeiing niet waarschijnlijk wordt geacht.

Voor de tracé engineering van de HDD-boringen wordt verwezen naar de voorontwerpen in de rapportages van KL Infra Engineering.

#### Afspraak 11 – Kwaliteit grasmat

*Waar gaat de warmte van elektriciteitskabel naar toe?*

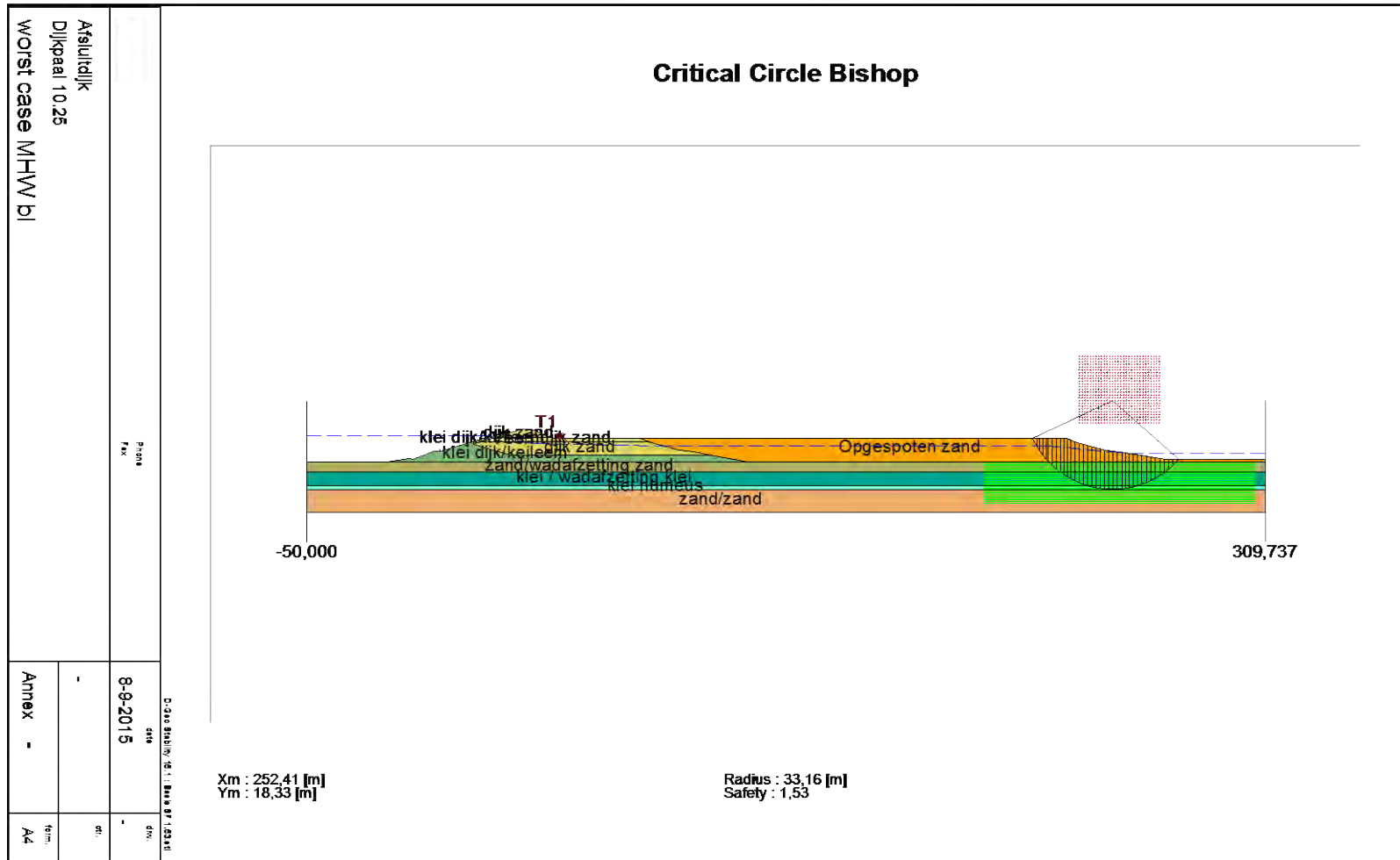
De warmte van de kabelmantel verspreid zich naar de omliggende grond. Het temperatuurverschil tussen kabelkern en mantel is niet in onderhavige rapportage behandeld.

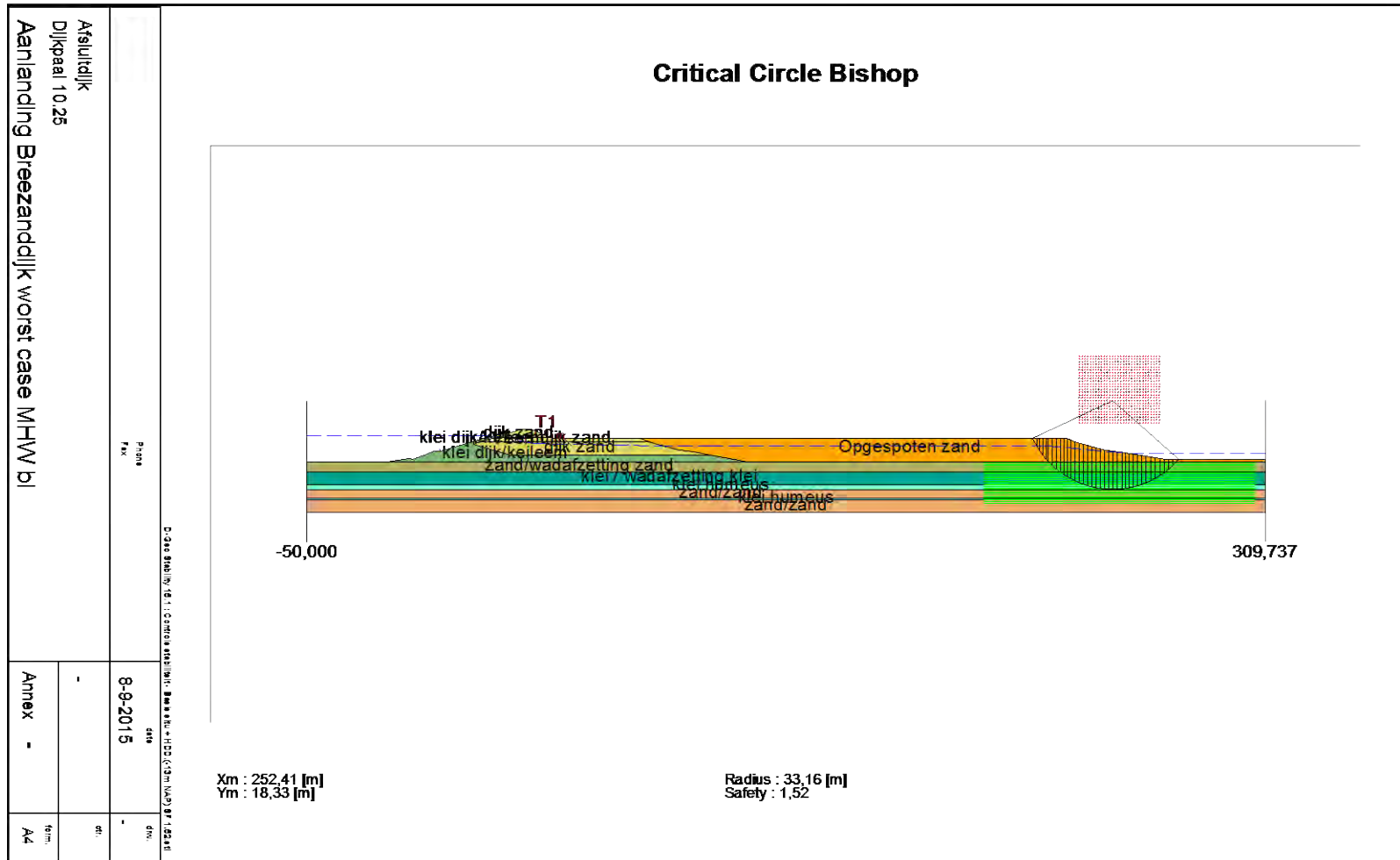
De invloed van de temperatuur van kabels op de grasmat is beschouwd door middel van modelberekeningen waarin precies de situatie bij de Afsluitdijk bij twee doorsnedes is nagebootst voor gemiddelde temperaturomstandigheden. Uit deze modelberekeningen volgt dat onder toepassing van diverse conservatieve scenario's de temperatuur in de wortelzone tijdens normaal bedrijf van de windturbines maximaal met enkele graden stijgt en voor een extreem scenario na 11 dagen intensief bedrijf gevolgd door een hittegolf maximaal

met 6 graden. De bijbehorende warmtestroom kan de verdamping van bodemwater versterken met respectievelijk circa 0,36 mm/dagen en 0,60 mm/dag.

Na een lange, droge en warme periode kunnen de kabels een gering negatief effect hebben op de bodemwaterreserve bij de grasmatten. Voorafgaand aan een hittegolf begint het gras boven de kabels door de versterkte verdamping met ongeveer 1 dagbudget lagere bodemwaterreserve per twee weken droogte voorafgaand aan de hittegolf. Op basis van het kleiprofiel heeft gras op de Afsluitdijk een bodemwaterreserve van ongeveer 14 dagen. Indien een intensieve windperiode voorafgaat aan een hittegolf, gaat een dagbudget extra verloren. Dit extra negatieve effect kan worden vermeden door indien nodig kunstmatig te beregenen.

Gezien het feit dat in de praktijk tijdens hittegolven geen grootschalige aantastingen van gras op dijken wordt waargenomen, wordt verwacht dat de veel geringere temperatuurstijging door de warmte van de kabels geen significante invloed zal hebben op de kwaliteit van de grasmatten. Een gunstige bijkomstigheid van de Afsluitdijk is de ligging tussen open waterpartijen met bijbehorende hoge luchtvochtigheid en lage luchttemperaturen.





spanning      110kV  
kabeltype      2x3x1600AL

**Berekening voor 1-fase kabel**

weerstand      0.025      [Ohm/km]

Windsnelheid [m/s]	Productie [MW]	Stroom [A]	Warmte/verlies [W/m]	Kans [%]	Verlies x Kans	Productie x Kans
0.5	0	0	0.0	0.3	0.0	0.0
1.5	0	0	0.0	1.6	0.0	0.0
2.5	3	7	0.0	3.5	0.0	9.1
3.5	9	25	0.0	5.6	0.1	49.4
4.5	21	60	0.1	7.7	0.8	163.0
5.5	40	115	0.4	9.4	3.4	377.9
6.5	67	192	1.0	10.4	10.6	701.0
7.5	104	296	2.4	10.7	25.8	1109.0
8.5	151	432	5.1	10.2	52.3	1540.5
9.5	207	592	9.6	9.1	88.0	1892.8
10.5	264	755	15.7	7.8	121.8	2054.3
11.5	309	884	21.5	6.4	136.5	1965.1
12.5	335	957	25.2	5.0	126.2	1678.4
13.5	345	985	26.7	3.8	102.2	1320.8
14.5	348	994	27.2	2.8	77.1	986.4
15.5	350	999	27.4	2.0	55.4	705.9
16.5	350	1000	27.5	1.4	37.9	482.2
17.5	350	1000	27.5	0.9	24.6	313.7
18.5	350	1000	27.5	0.6	15.2	193.7
19.5	346	989	26.9	0.3	8.7	112.1
20.5	301	859	20.3	0.2	3.6	53.8
21.5	229	655	11.8	0.1	1.1	21.5
22.5	155	443	5.4	0.0	0.3	7.2
23.5	82	234	1.5	0.0	0.0	1.8
24.5	19	55	0.1	0.0	0.0	0.2
25.5	1	3	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Som waarschijnlijkeden</b>				<b>100.0</b>		
<b>Gewogen gemiddeld warmteverlies [W/m]</b>					<b>8.9</b>	
<b>Capaciteitsfactor windpark [%]</b>						<b>45.0</b>



# Product Data Blad

# Cebo Drill-Grout

## Toepassing

## HDD boringen / verticale boringen

## Omschrijving

**Cebo Drill-Grout** is een zelfuithardende suspensie welke gebruikt kan worden in zowel HDD boringen als in verticale boringen om de annulaire ruimte volledig op te vullen. De uithard tijd en sterkte ontwikkeling kunnen aangepast worden aan de condities op de site door de juiste aanpassingen te doen.

**Cebo Drill-Grout** is tevens geschikt voor een variatie van toepassingen zoals vulling van getrokken heipaalgangen of damwandensleuven. **Cebo Drill-Grout** ontwikkeld zich tot een harde, echter nog, plastische formatie met een lage water doorlaatbaarheid, om zo vermenging van de ondergrondse waterlagen te voorkomen. Door het gebruik van **Cebo Drill-Grout** kunnen verzakkingen voorkomen worden en worden stalen pijpen beschermd tegen corrosie.

## Eigenschappen

Cebo Drill-Grout heeft de volgende eigenschappen:

### Makkelijk te mixen en goed verpompbaar

In tegenstelling tot veel verschillende grout producten waarbij speciale grout-pompen nodig zijn om deze te mixen en te verpompen, is dit bij Cebo Drill-Grout niet nodig. Cebo Drill-Grout kan gemixt worden met een standaard centrifugaalpomp.

### Volledige afsluiting van grondlagen

Cebo Drill-Grout wordt gebruikt om volledig de annulaire ruimte op te vullen, hierdoor worden alle grondkleilagen hersteld en doorboorde formatie gestabiliseerd.

### Bruikbaar in drinkwatergebieden

Cebo Drill-Grout is getest voor het gebruik in drinkwatergebieden door het "Hygiene-Instituut des Ruhrgebiets".

Cebogel Drill-Grout heeft de volgende typische waarden:

Typische waarden Cebo Drill-Grout			
Parameter	Test methode	Eis	Typische waarde
Korrelgrootte	-	Min. 95% door 125 micron ( $\mu\text{m}$ ) zeef	$\pm 95,0\%$
Vochtgehalte	DIN 18121-1	$\leq 13\%$ (m/m)	4 - 8%
Soortelijk gewicht	-	-	2600 kg / m <sup>3</sup> +/- 10%
Stort gewicht	-	-	900 kg / m <sup>3</sup>

Cebogel Drill-Grout heeft de volgende chemische en fysische eigenschappen:

Chemische en fysische eigenschappen Cebo Drill-Grout	
Samenstelling	Cement/bentoniet
Kleur	Grijs/geel
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

# Cebo Drill-Grout

## Aanbevolen gebruik

De eigenschappen van Cebo Drill-Grout 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

Voeg 160 kg Cebo Drill-Grout toe aan 1 m<sup>3</sup> water. Kleine aanpassingen aan de dichtheid kunnen gedaan worden door de mengverhouding te variëren, aanbevolen Marsh tijd ongeveer 45 seconden.

## Gebruik in HDD

Het toevoegen van Cebo Drill-Grout gaat tegelijkertijd met het trekken van de productpijp(en). Op deze manier wordt de huidige spoeling uit het gat verdreven. Het advies is om het soortelijk gewicht te testen van de spoeling in het boorgat vóór het trekken van de productiepijp(en). Het soortelijk gewicht van de Cebo Drill-Grout dient aanzienlijk hoger te zijn dan de spoeling in het boorgat. Dit om een goede verdrijving van de boorspoeling te waarborgen.

Gebruik voor het injecteren van de Cebo Drill-Grout een barrel ruimer (welke iets kleiner is dan de laatst geruimde diameter) tijdens het intrekken van de productiepijp(en). Houdt 1 à 2 nozzles open aan de kant van de machine en het maximaal aantal nozzles aan de kant van de productiepijp(en). Deze set-up zal helpen om de oude spoeling mechanisch te verdringen aan de voorzijde van de barrel.

## Gebruik bij verticale boringen

Het toevoegen van Cebo Drill-Grout gaat van onderaf via een tremie pijp om zo de huidige boorspoeling uit het gat te drijven en volledig te vervangen door de Cebo Drill-Grout.

Let op! Bij een waterbron kan het nodig zijn om op het filtergrind een kleistop aan te brengen, op deze manier kan de Cebo Drill-Grout niet indringen in het filtergrind en/of filterbuizen. Het advies is om het soortelijk gewicht te testen van de spoeling in het boorgat vóór het injecteren van de Cebo Drill-Grout. Het soortelijk gewicht van de spoeling in het boorgat is bij voorkeur zo laag als mogelijk.

Het volume van de Cebo Drill-Grout zou 15% meer moeten zijn dan de berekende op te vullen ruimte, dit om er zeker van te zijn dat de oude boorspoeling volledig wordt vervangen.



## 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

# Cebo Drill-Grout

Cebo Drill-Grout suspensie heeft de volgende typische waarden

Typische waarden Cebo Drill-Grout		
Parameter	Test methode volgens	16% suspensie
<b>Marsh funnel (direct)</b>	ANSI/API RP 13B-1	<b>40 – 50 s/l</b>
<b>Plastische viscositeit</b>		<b>9 cP</b>
<b>Yield Point</b>		<b>23 lb/100 ft<sup>2</sup></b>
<b>Gels</b>	10 seconden	<b>25 lb/100 ft<sup>2</sup></b>
	10 minuten	<b>29 lb/100 ft<sup>2</sup></b>
<b>Soortelijk gewicht</b>	ANSI/API RP 13B-1	<b>1,11</b>
<b>Suspensie gewicht</b>		<b>1.110 t/m<sup>3</sup></b>
<b>Filtraat verlies</b>		<b>20 ml</b>
<b>Ph</b>	ANSI/API RP 13B-1	<b>12,1</b>
<b>Afschuifspanning na 7 dagen (20°C)</b>	Vane shear tester	<b>3.5 kPa</b>
<b>Afschuifspanning na 21 dagen (20°C)</b>	Vane shear tester	<b>11.0 kPa</b>
<b>Afschuifspanning na 28 dagen (20°C)</b>	Vane shear tester	<b>22.0 kPa</b>
<b>Max. drukspanning na 28 dagen</b>	CUR 189	<b>± 0,15 N/mm<sup>2</sup></b>
<b>K-waarde</b>	CUR 189	<b>1 x 10<sup>-9</sup> (m/s)</b>
<b>Verwerkbaarheid</b>		<b>&lt; 48 uur</b>

## Verpakking

Cebo Drill-Grout is verkrijgbaar in de volgende verpakkingen:

- 1050 kg verpakt in 25 kg zakken op een pallet met krimpfolie
- 1000 kg big bag

Revisie datum : 8.10.2013  
Document nummer : 100802NL

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

## BIJLAGE 5 TEBODIN RAPPORTAGE







**BILFINGER**

Opdrachtgever: **Fugro GeoServices B.V.**  
Project: **Windpark Fryslan**

## **Hoogspanningskabels in de Afsluitdijk Liggerberekeningen**


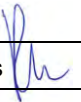
### **Tebodin**

#### **Tebodin Netherlands B.V.**

Laan van Nieuw Oost-Indië 25  
2593 BJ Den Haag  
Postbus 16029  
2500 BA Den Haag

Autheur: W. Huinen  
- Telefoon: +31 70 34 80 447  
- E-mail: w.huinen@tebodin.com

14 september 2015  
Ordernummer: 48728.00  
Documentnummer: 48728-00-1931001  
Revisie: A2

Rev.	Datum	Omschrijving	Opsteller	Gecontroleerd
A2	14-09-2015	Definitief – commentaar opdrachtgever verwerkt	W. Huinen 	H. Kuijpers 
0	07-09-2015	Eerste uitgave	W. Huinen	H. Kuijpers

© Copyright Tebodin

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie of op welke andere wijze ook zonder uitdrukkelijke toestemming van de uitgever.

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Uitgangspunten</b>	<b>4</b>
2.1	Situatiebeschrijving en tracé	4
2.2	Tekeningen	4
2.3	Kabelgegevens	4
2.4	Bedrijfsgegevens	5
2.5	Equivalente leidinggegevens	5
2.6	Grondmechanische gegevens	6
2.7	Beschikbare ruimte in mantelbuizen HDD's (slack)	7
2.8	Belastingen	7
2.8.1	Eigengewicht	7
2.8.2	Zetting	7
2.8.3	Uitvoeringszakking	8
2.8.4	Temperatuur	8
<b>3</b>	<b>Liggerberekeningen</b>	<b>9</b>
3.1	Randvoorwaarden	9
3.1.1	Aansluiting Transformatorhuis en veldstrekking	9
3.1.2	Aansluitingen HDD's	9
3.2	Belastingcombinaties	9
3.2.1	Algemene omschrijving berekeningen	9
3.2.2	Belastingfactoren	9
3.3	Beschouwing liggerberekeningen	10
<b>4</b>	<b>Resultaten liggerberekeningen</b>	<b>11</b>
4.1	Resultaten aansluiting transformatorhuis en veldstrekking	11
4.2	Resultaten aansluitingen HDD's	11
<b>5</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>13</b>
	<b>Referenties</b>	<b>14</b>
	<b>Bijlagen</b>	<b>15</b>

<b>Bijlagen</b>	<b>Revisie</b>	<b>Datum</b>
1. Tekeningen	-	-
2. Kabel specificaties Prysmian	-	-
3. Grondmechanische parameters	-	-
4. Zettingsberekeningen Fugro	-	-
5. Resultaten liggerberekeningen	-	-

## **1 Inleiding**

Voor het Frysland project worden er hoogspanningskabelbundels in de Afsluitdijk gelegd, ten behoeve van een windmolenpark in het IJsselmeer. Vanwege mogelijke toekomstige ophogingen van de Afsluitdijk kunnen zettingen optreden. Fugro GeoServices B.V. heeft Tebodin gevraagd om berekeningen uit te voeren, om na te gaan of de kabelbundels deze zettings- en zakkingsverlopen kunnen volgen, aan de hand van een door Rijkswaterstaat voorgeschreven berekeningsmethode.

De door Tebodin toegepaste methode is bedoeld voor het uitvoeren van sterkte- en liggerberekeningen op pijpleidingen. Daarom is er gerekend met een equivalente leiding in een Eindige Elementen pakket, om zo de deformatie-effecten van de kabelbundels nauwkeurig te benaderen. In de praktijk worden voor kabels geen (sterkte)berekeningen uitgevoerd, omdat deze doorgaans vele malen flexibeler zijn dan pijpleidingen, waarvoor dit wel de regel is. De flexibiliteit van kabels blijkt onder andere uit het feit dat deze opgerold op haspels naar de locatie van de werkzaamheden worden vervoerd.

Dit rapport beschrijft de resultaten van de liggerberekeningen voor verschillende kabelgeometrieën, te weten ter plaatse van de aansluiting met een transformatorhuis, in een rechte veldstrekking en in de aansluiting met twee verschillende HDD's.



## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Situatiebeschrijving en tracé

Conform de tekeningen in bijlage 1 worden er twee hoogspanningskabelbundels van ieder drie kabels aangelegd in de Afsluitdijk, van Breezanddijk naar Kornwerderzand. Dit betreft een tracé van ca. 11 km. Ter plaatse van de Breezanddijk worden de kabels aangesloten op een transformatorhuis. Verder zijn er in dit tracé een aantal boringen gepland. De boringen nabij de Breezanddijk (kruising met rijksweg A7) en nabij Kornwerderzand (kruising met de Spuihaven en de sluis) zijn als maatgevend bestempeld.

Voor de in deze rapportage beschreven studie zijn twee (fictieve) geometrieën bekeken:

- Aansluiting op het transformatorhuis + rechte veldstrekking;
- Veldstrekking met aan weerszijde de aansluiting op de twee bovengenoemde HDD's.

### 2.2 Tekeningen

Voor de in deze rapportage beschreven studie zijn de volgende tekeningen gebruikt:

#### Windpark Fryslan project

- Dwarsprofiel dijkvlak 10: kabels onder fietspad, doc. nr. C4-03;
- Rijksweg A7 km 97.390 – km 97.715, te maken gestuurde boring, doc. nr. 482.15.2.039-105;
- Rijksweg A7 / Sluisweg km 96.148 – 97.378, te maken gestuurde boring B, doc. nr. 482.15.2.039-101.

#### Typical Trafo-aansluiting (Windmolenpark Noordoostpolder)

- Overzichtstekening sleuven t.b.v. leggen kabels, doc. nr. TM10132-K-X-53.

Deze tekeningen zijn opgenomen in bijlage 1.

### 2.3 Kabelgegevens

Ten tijde van dit schrijven was er nog geen definitieve kabelkeuze gemaakt. Het uitgangspunt van deze studie is een bundel van 220 kV kabels. Het betreffen "Single core, XLPE insulated, high voltage power cables" met een aluminium kern met een doorsnede oppervlak van 1600 mm<sup>2</sup>. De gegevens van deze hoogspanningskabels zijn te vinden in bijlage 2. De keuze om te rekenen aan een kabel met een groot kernoppervlak is conservatief, vanwege de hoge stijfheid.

Voor deze studie zijn de materiaaleigenschappen van de geleiderkern in combinatie met de mechanische eigenschappen van de gehele hoogspanningskabels van interesse. Deze materiaaleigenschappen zijn samengevat in Tabel 1.

Tabel 1: Materiaaleigenschappen kern hoogspanningskabel

Materiaal kabelkern	E-modulus [N/mm <sup>2</sup> ]	Uitzettingscoëfficiënt [mm/mm·°C]	Poisson's ratio [-]
Aluminium	65000	23,8 · 10 <sup>-6</sup>	0,35

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de eigenschappen van een totale hoogspanningskabel, conform de opgave in [1].

Tabel 2: Eigenschappen hoogspanningskabel

Kabel	Uitw. diameter [mm]	Eigengewicht [kg/m]	E-I [kgm <sup>2</sup> ]	E·A [kg]
Enkele kabel	150	25,7	1200	3,84 · 10 <sup>6</sup>

## 2.4 Bedrijfsgegevens

In Tabel 3 zijn de bedrijfsgegevens van de voor de berekeningen van toepassing zijnde bedrijfsgegevens weergegeven.

Tabel 3: Bedrijfsgegevens hoogspanningskabels

Bedrijfsgegevensgegevens	Waarde	Eenheid
Maximum kerntemperatuur	+55	°C
Aanlegtemperatuur	+10	°C

## 2.5 Equivalente leidinggegevens

De voor deze studie benodigde liggerberekeningen worden uitgevoerd in een programma welke bedoeld is voor het doorrekenen van leidingen, namelijk PLE4Win. Aangezien voor dit programma gebruik gemaakt dient te worden van een "holle buis model", dient de massieve hoogspanningskabel omgerekend te worden naar een equivalente leiding.

Voor de liggerberekeningen is gebruik gemaakt van drie situaties, namelijk het gedrag van een enkele kabel, van een niet-gekoppelde kabelbundel en van een volledig gekoppelde kabelbundel. De kabelbundels bestaan conform opgave van de opdrachtgever uit drie kabels. De drie situaties zijn omgerekend naar equivalente leidingen, middels de gegevens uit Tabel 2. Hierbij zijn de diameters van de equivalente leidingen gelijk gekozen aan die van de kabel en kabelbundel, om zo de grondparameters gelijkwaardig te kunnen bepalen. De enkele kabel is daarom als een DN150 leiding gemodelleerd en de bundel is benaderd als een DN300 leiding.

Als uitgangspunt voor de omrekening is een realistisch flexibel leidingmateriaal gebruikt, namelijk polyethyleen (PE). PLE4Win kan enkel met realistische diameter/wanddikte ratio's ( $D/t$ ) overweg en een leiding van een stijver materiaal, zoals staal, zou een extreem hoge  $D/t$  ratio opleveren.

Om de wanddiktes van de equivalente leidingen te bepalen is de volgende relatie gebruikt:

$$(E \cdot I)_{kabel} = (E \cdot I)_{leiding} = E \cdot \frac{\pi}{64} (D_u^4 - D_i^4) \quad (1)$$

met:

$E$	=	Elasticiteitsmodulus leidingmateriaal, [N/mm <sup>2</sup> ]
$D_u$	=	Buitendiameter leiding, [mm]
$D_i$	=	Binnendiameter leiding ( $D_u - 2 \cdot t$ ), [mm]
$t$	=	Wanddikte leiding, [mm]

Aangezien de verhouding tussen de buig- ( $E \cdot I$ ) en trekrichting ( $E \cdot A$ ) van de kabel wijst op anisotroop materiaal, is er voor het bepalen van de elasticiteitsmodulus in de trekrichting gebruik gemaakt van de volgende relatie:

$$(E \cdot A)_{kabel} = (E \cdot A)_{leiding} = E \cdot \frac{\pi}{4} (D_u^2 - D_i^2) \quad (2)$$

Voor de niet-gekoppelde kabelbundel is simpelweg gerekend met drie maal de  $E \cdot I$  en  $E \cdot A$  van een enkele kabel. Voor de gekoppelde kabelbundel is de stelling van Steiner gebruikt, zie ook Figuur 1.

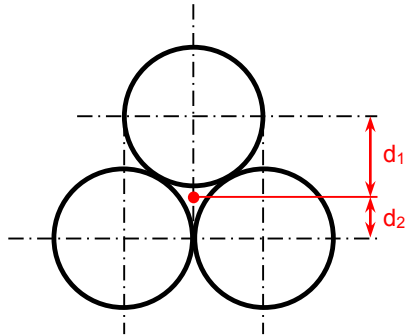
$$I_{z',i} = I + d_i^2 \cdot A \quad (3)$$

met:

$I_{z',i}$	=	Traagheidsmoment kabel $i$ in bundel, mm <sup>4</sup>
$I$	=	Traagheidsmoment enkele kabel, mm <sup>4</sup>
$d_i$	=	Hartafstand kabel $i$ – kabelbundel, mm
$A$	=	Oppervlakte enkele kabel, mm <sup>2</sup>

Hiermee wordt (1) herschreven tot:

$$(E \cdot I)_{kabelbundel} = (E \cdot I)_{leidingbundel} = \{E \cdot (I_{z',1} + 2 \cdot I_{z',2})\}_{leidingbundel} \quad (4)$$



Figuur 1: Stapelgeometrie kabelbundel en bepaling hartafstanden  $d_1$  en  $d_2$

Door de middels (1) en (4) bepaalde wanddikte in te vullen in (2), volgen de elasticiteitsmoduli in de trekrichting voor de equivalente leidingen. De resulterende gegevens van de equivalente leidingen zijn samengevat in Tabel 4.

Tabel 4: Gegevens van de equivalente leidingen

Equivalente leiding	Uitw. diameter [mm]	E·I [kgm <sup>2</sup> ]	E·A [kg]	Wanddikte [mm]	Elasticiteitsmodulus	
					Trek [N/mm <sup>2</sup> ]	Buigend [N/mm <sup>2</sup> ]
O.b.v. enkele kabel	150	1200	$3,84 \cdot 10^6$	15,063869	5899,0975	800
O.b.v. kabelbundel (niet-gekoppeld)	300	3600	$11,52 \cdot 10^6$	4,3490022	27977,096	800
O.b.v. kabelbundel (gekoppeld)	300	8970	$11,52 \cdot 10^6$	11,666208	10694,152	800

## 2.6 Grondmechanische gegevens

Er is grondonderzoek uitgevoerd ter plaatse van de Afsluitdijk door Wiertsema & Partners, doc. nr. R26265, d.d. 05-11-2013. Op basis van het grondonderzoek zijn de grondeigenschappen langs het tracé bepaald. De grond bestaat op kabelniveau voornamelijk uit vast zand. Voor de grondwaterstand is 7,0 meter -MV aangehouden, conform de in doc. R26265 beschikbare boringen.

De voor de sterkteberekening relevante bodemgegevens zijn na te lezen in [2]. In de sterkteberekening zijn de grondmechanische eigenschappen van 'vast zand' toegepast volgens NEN 3650-1:2012, tabel B.1. De grondmechanische parameters zijn berekend op basis van NEN 3650-1, paragraaf C.4. Deze berekening is opgenomen in bijlage 3.

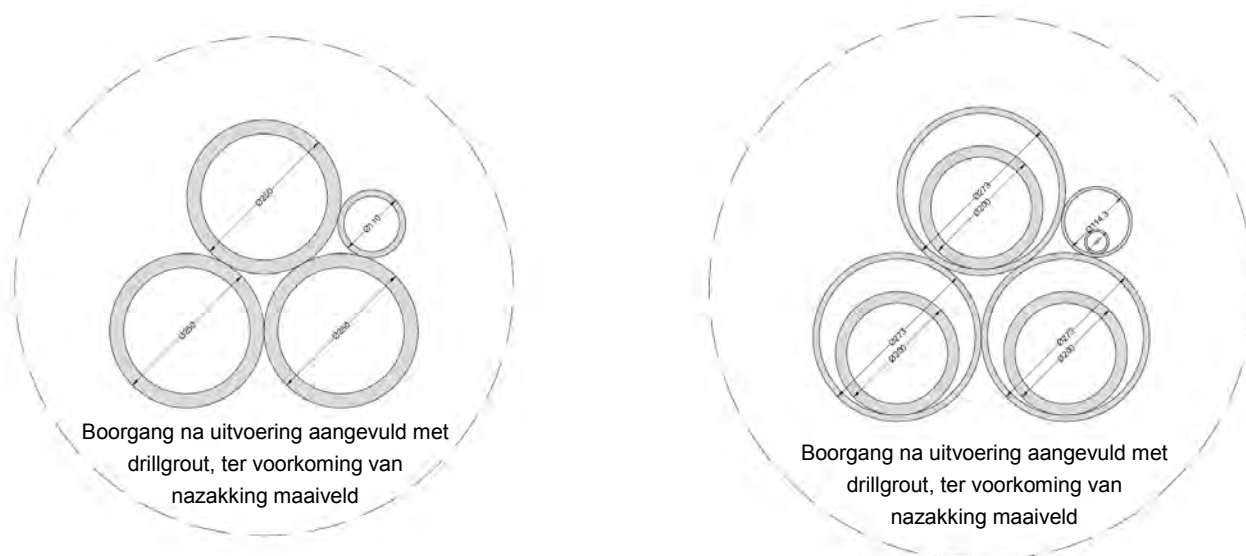
Tabel 5: Belastingfactoren grondparameters conform NEN 3650-1

Omschrijving	Symbool	Zand
Horizontale beddingconstante	<i>KLH</i>	1,7
Verticale beddingconstante, omlaag	<i>KLS</i>	2,0
Verticale beddingconstante, omhoog	<i>KLТ</i>	1,4
Wrijving	<i>F</i>	1 / 1,136
Axiale verplaatsing	<i>UF</i>	1,6
Verticaal evenwichtsdraagvermogen, buis-as	<i>RVS</i>	2,0
Passieve grondlast, top	<i>RVT</i>	1,5
Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	<i>RH</i>	1,6
Neutrale grondlast, top	<i>SOILNB</i>	1,1

Alle parameters zijn berekend exclusief de onzekerheidsfactoren. Deze factoren, weergegeven in Tabel 5, zijn opgenomen in de sterkteberekening.

## 2.7 Beschikbare ruimte in mantelbuizen HDD's (slack)

De kabels zijn in de HDD's gelegen in mantelbuizen. De beschikbare ruimte (slack) in de mantelbuizen is bepaald op basis van de 482.15.2.039-105 (Breezanddijk) en 482.15.2.039-101 (Kornwerderzand), zie Figuur 2.



Figuur 2: Gebruikte mantelbuizen in HDD Breezanddijk (links) en Kornwerderzand (rechts)

De hieruit volgende maximaal beschikbare ruimtes tussen kabel en binnenkant mantelbuis zijn samengevat in Tabel 6.

Tabel 6: Beschikbare ruimte in mantelbuizen HDD's

Mantelbuis	Diameter kabel [mm]	Diameter mantelbuis		Wanddikte mantelbuis		Binnendiameter		Beschikbare totale ruimte [mm]
		PE [mm]	Staal [mm]	PE [mm]	Staal [mm]	PE [mm]	Staal [mm]	
HDD Breezanddijk	150	250	-	22,7	-	204,5	-	54,5
HDD Kornwerderzand	150	200	273	11,4	12,5	177,3	248	75,3

## 2.8 Belastingen

### 2.8.1 Eigengewicht

Het eigengewicht is beschreven in de kabelspecificaties van Prysmian, zie bijlage 2, en bedraagt 0,252 N/mm (25,7 kg/m) per kabel. Daarmee komt het totale gewicht van de bundel op 0,759 N/mm (77,1 kg/m).

### 2.8.2 Zetting

Fugro heeft de zettingen op kabelniveau ten gevolge van de ophoging van de parallel aan de kabelbundels gelegen tuimeldijk bepaald. Conform deze berekeningen bedraagt de maximale zetting -30 mm met 30% onzekerheid, i.e. een onzekerheidsfactor van 1,3. De zettingsanalyse is bijgevoegd in bijlage 4.

### 2.8.3 Uitvoeringszakking

In de veldstrekking en in de aansluiting op het transformatorhuis is gerekend met een uitvoeringszakking van -5 mm, op basis van 'hard zand, goed verdichte sleuf', conform NEN 3650-1:2012, bijlage C.4.7, tabel C.4. In de aansluiting op de HDD's is gerekend met een uitvoeringszakking van -15 mm, op basis van 'hard zand, goed verdichte bouwkuip', conform NEN 3650-1:2012, bijlage C.4.7, tabel C.5. Voor deze waarden is een onzekerheidsfactor toegepast van 1,5, conform NEN 3650-1:2012, bijlage B.4.3, tabel B.3.

De totale combinatie van zettingen en zakkingen komt hiermee op:

- Aansluiting transformatorhuis en rechte veldstrekking:

$$-30 \times 1,3 + -5 \times 1,5 = -46,5 \text{ mm}$$

- Aansluitingen HDD's:

$$-30 \times 1,3 + -15 \times 1,5 = -61,5 \text{ mm}$$

De combinatie van zettingen en zakkingen worden ter plaatse van de aansluitingen sprongvormig toegepast en verlopen geleidelijk naar 0 de veldstrekking in. Ter plaatse van de rechte veldstrekking wordt de combinatie van zetting en zakking in eerste instantie blokvormig (sprongvormig aan weerszijden) toegepast. Voor de maatgevende situatie wordt ook bekeken welk meer geleidelijk zettings- en zakkingsverloop resulteert in een minimale vrije overspanning van de kabelbundel, i.e. een minimale holte onder de bundel.

### 2.8.4 Temperatuur

De in paragraaf 2.4 beschreven bedrijfstemperatuur is enkel toegepast in combinatie met de zettingen en uitvoeringszakkingen, om na te gaan wat het gecombineerde effect van deze belastingen is.

Het effect van axiale en horizontaal laterale verplaatsingen op haakse bochten is voor deze studie buiten beschouwing gelaten, aangezien er uit de berekeningen niet volgt in welke mate er een holte ontstaat door horizontale verplaatsingen. Verder betreft de in paragraaf 2.3 beschreven waarde voor E·A de waarde voor trek, niet voor druk. De E·A-waarde voor drukbelasting is voor dit rapport niet bekend, maar wordt lager verondersteld dan voor trek. Het gedrag van de kabel onder invloed van thermische expansie in de haakse bochten is door deze onzekerheid niet goed te beschrijven. Echter, vanwege de laag ingeschatte E·A-waarde, worden verplaatsingen van de bochten in het horizontale vlak minimaal verondersteld.

Tot slot is PLE4Win niet in staat thermische expansie in radiale richting toe te passen, echter wordt het effect hiervan ook verwaarloosbaar geacht.

### 3 Liggerberekeningen

De liggerberekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2012.

#### 3.1 Randvoorwaarden

##### 3.1.1 Aansluiting Transformatorhuis en veldstrekking

De aansluiting op het transformatorhuis is beschouwd als een vast punt, i.e. volledig gefixeerd in alle richtingen. Aan de veldstrekkingzijde is gerekend met een (fictieve) oneindig lange kabel. De wrijving tussen grond en kabel resulteert hier in volledige verankering.

##### 3.1.2 Aansluitingen HDD's

De HDD's zijn niet volledig gemodelleerd. Voor beide HDD's is 10 m kabel meegenomen in de HDD mantelbuizen, om zo de kabel genoeg ruimte te geven om onder invloed van het eigengewicht aan te gaan liggen onderin de mantelbuizen. De rest van de in de mantelbuis gelegen kabeldelen zijn gemodelleerd als enkel een axiale stop, om zo in verticale richting bewegingsvrijheid te behouden.

#### 3.2 Belastingcombinaties

De liggerberekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het programma PLE4Win versie 4.2.3.

##### 3.2.1 Algemene omschrijving berekeningen

Voor de in paragraaf 2.1 genoemde beschouwde geometrieën zijn verschillende belastingcombinaties berekend:

1. Aansluiting transformatorhuis + rechte veldstrekking:
  - a. Enkele kabel;
  - b. Enkele kabel + temperatuur aluminium kern (+10 → +55°C);
  - c. Niet gekoppelde kabelbundel (3 x enkele kabel);
  - d. Niet gekoppelde kabelbundel (3 x enkele kabel) + temperatuur aluminium kern (+10 → +55°C)
  - e. Gekoppelde kabelbundel (met Steiner-effect);
  - f. Gekoppelde kabelbundel (met Steiner-effect)+ temperatuur aluminium kern (+10 → +55°C);
2. Aansluiting HDD Breezanddijk + aansluiting HDD Kornwerderzand:
  - a. Enkele kabel zonder slack;
  - b. Enkele kabel met slack;
  - c. Niet gekoppelde kabelbundel (3 x enkele kabel) zonder slack;
  - d. Niet gekoppelde kabelbundel (3 x enkele kabel) met slack;
  - e. Gekoppelde kabelbundel (met Steiner-effect) zonder slack;
  - f. Gekoppelde kabelbundel (met Steiner-effect) met slack.

##### 3.2.2 Belastingfactoren

De belastingfactoren die voor de belastingcombinaties in rekening gebracht worden, zijn weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7: Belastingfactoren

Belasting	Factor
Inwendige druk	-
Temperatuurverschillen	1,0
Opedrongen vervormingen	1,0
Verkeersbelastingen	-
Eigengewicht	1,0

### **3.3 Beschouwing liggerberekeningen**

Het doel van de liggerberekeningen is om na te gaan of en in welke mate er een holte onder de kabelbundel zal ontstaan, wanneer deze wordt belast door een combinatie van zettingen en uitvoeringszakkingen. Hierbij wordt gekeken naar de combinatie van de lengte en de diepte van de ontstane holte.

## 4 Resultaten liggerberekeningen

### 4.1 Resultaten aansluiting transformatorhuis en veldstrekking

De resultaten van de liggerberekeningen voor de aansluiting op het transformatorhuis en in de rechte veldstrekking zijn weergegeven in Tabel 8. Een grafische weergave van de resultaten is te vinden in bijlage 5.

Tabel 8: Resultaten liggerberekeningen aansluiting transformatorhuis en veldstrekking

Belastingcombinatie (zie paragraaf 3.2)	Maximale vrije overspanning		Maximale diepte holte	
	Transformatorhuis	Rechte veldstrekking	Transformatorhuis	Rechte veldstrekking
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1a	2000	900	46,5	42
1b	2500	850	43	42
1c	2250	1100	46,5	42
1d	2500	1050	43	42
1e	2500	1300	46,5	42
1f	2500	1250	43	42

Ter plaatse van de aansluiting op het transformatorhuis worden significante holtes onder de kabel(bundel) berekend. Onder "significant" wordt hier verstaan: holtes met een diepte van enkele tientallen millimeters diepte over een lengte van meer dan een meter. Het is echter de vraag of hier zettingen zullen optreden en in welke mate, aangezien hier waarschijnlijk geen toekomstige ophogingen plaats zullen vinden. Wanneer er enkel uitvoeringszakkingen verwacht worden, zijn de holtes minimaal. Ook is de aansluiting in de berekeningen als volledig star gemodelleerd. In werkelijkheid is de aansluiting waarschijnlijk beter ingericht, om zakkingsverschillen op te kunnen vangen.

Ook de rechte veldstrekkingen laten significante holtes zien. De vraag is echter of de harde overgang van de zetting en uitvoeringszakking reëel is. Een meer geleidijk verloop is mogelijk realistischer. Daarom is er aanvullend voor de maatgevende belastingcombinatie 1e bekeken welke zettings-/zakkingsovergang resulteert in een acceptabele vrije overspanning. De resultaten van deze berekeningen zijn samengevat in Tabel 9. Een grafische weergave van de resultaten is te vinden in bijlage 5.

Tabel 9: Aanvullende liggerberekeningen maatgevende belastingcombinatie

Zettings-/zakkingsoverloop Belastingcombinatie 1e [mm]	Maximale vrije overspanning [mm]	Maximale diepte holte [mm]
100	1300	42
2000	600	3
4000	500	1,5
5000	400	1

### 4.2 Resultaten aansluitingen HDD's

De resultaten van de liggerberekeningen voor de aansluiting op de HDD's zijn weergegeven in Tabel 10. Een grafische weergave van de resultaten is te vinden in bijlage 5.

Wanneer de kabels onderin de mantelbuizen komen te liggen, dus wanneer er zich geen slack onder de kabel(bundel) bevindt, zal de zetting en zakking niet goed gevolgd kunnen worden. Wanneer de kabels maximaal bovenin de mantelbuizen gelegd worden, zal het zettings-/zakkingsoverloop wel goed gevolgd kunnen worden, met als resultaat geen holtes onder de kabelbundels. In het geval van de HDD bij Kornwerderzand betekent dit dat de kabels aan de uiteinden bovenin de PE mantelbuizen gelegd dient te worden en de PE mantelbuizen vervolgens aan de uiteinden bovenin de stalen mantelbuizen.



Een andere optie is de toepassing van getrompte uiteinden van de mantelbuizen, om zo een vergelijkbaar positief effect te bewerkstelligen.

Tabel 10: Resultaten liggerberekeningen aansluitingen HDD's

Belastingcombinatie (zie paragraaf 3.2)	HDD Breezanddijk		HDD Kornwerderzand	
	Maximale vrije overspanning	Maximale diepte holte	Maximale vrije overspanning	Maximale diepte holte
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
2a	1000	61,5	1000	61,5
2b	0	0	0	0
2c	1500	61,5	1500	61,5
2d	0	0	0	0
2e	2000	61,5	2000	61,5
2f	0	0	0	0

## **5 Aanbevelingen**

Bij de aanleg van de kabel kan rekening worden gehouden met de potentiële zetting door ophoging van de afsluitdijk. Hiervoor zijn in de praktijk diverse mogelijkheden die worden toegepast, zoals het aanleggen met een overhoogte (in dit geval minimaal, enkele centimeters) of het toepassen van getrompte uiteinden van de mantelbuizen in de boringen. Dit laatste heeft de voorkeur boven het bovenin de mantelbuizen aanleggen van de kabels, aangezien dit uitvoeringstechnische issues met zich meebrengt, vanwege het hoge eigengewicht van de kabels.

## Referenties

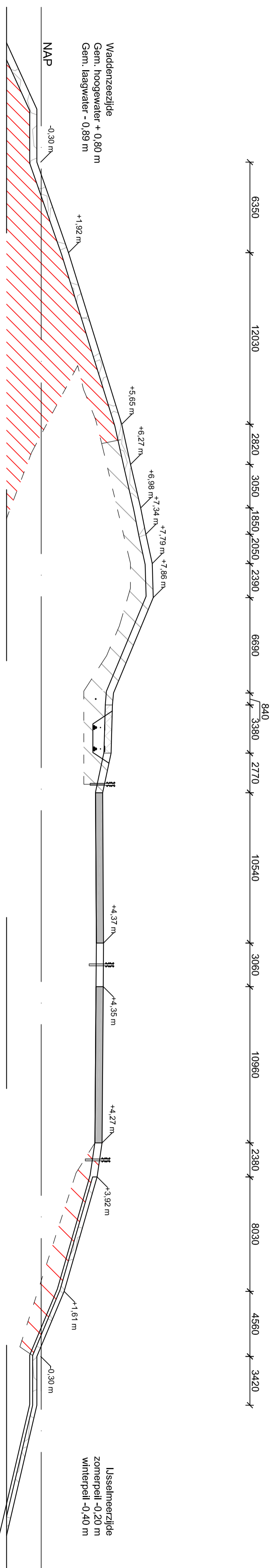
- [1] Koning, R., *Export kabel verbinding, Toelichting op technische vragen Pondera Consult*, doc. nr. ENSOL-RPT-2015.073, Revisie 1.0, 20-08-2015
- [2] Dijkstra, J., *Geotechnisch onderzoek, Planstudie versterking Afsluitdijk te Den Oever*, doc. nr. R26265, Wiertsema & Partners, Definitief, 05-11-2013

## **Bijlagen**

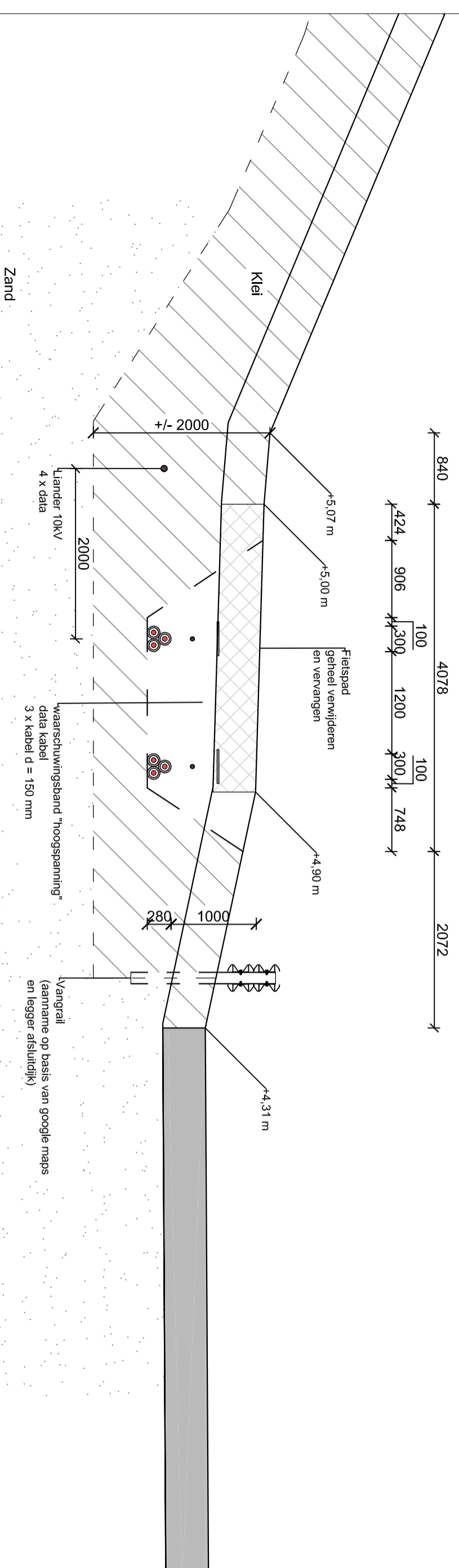
1. Tekeningen
2. Kabel specificaties Prysmian
3. Grondmechanische parameters
4. Zettingsberekeningen Fugro
5. Resultaten liggerberekeningen

## Bijlage 1: Tekeningen

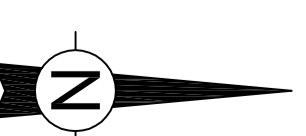
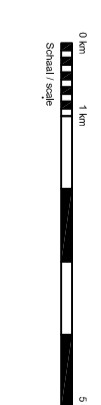
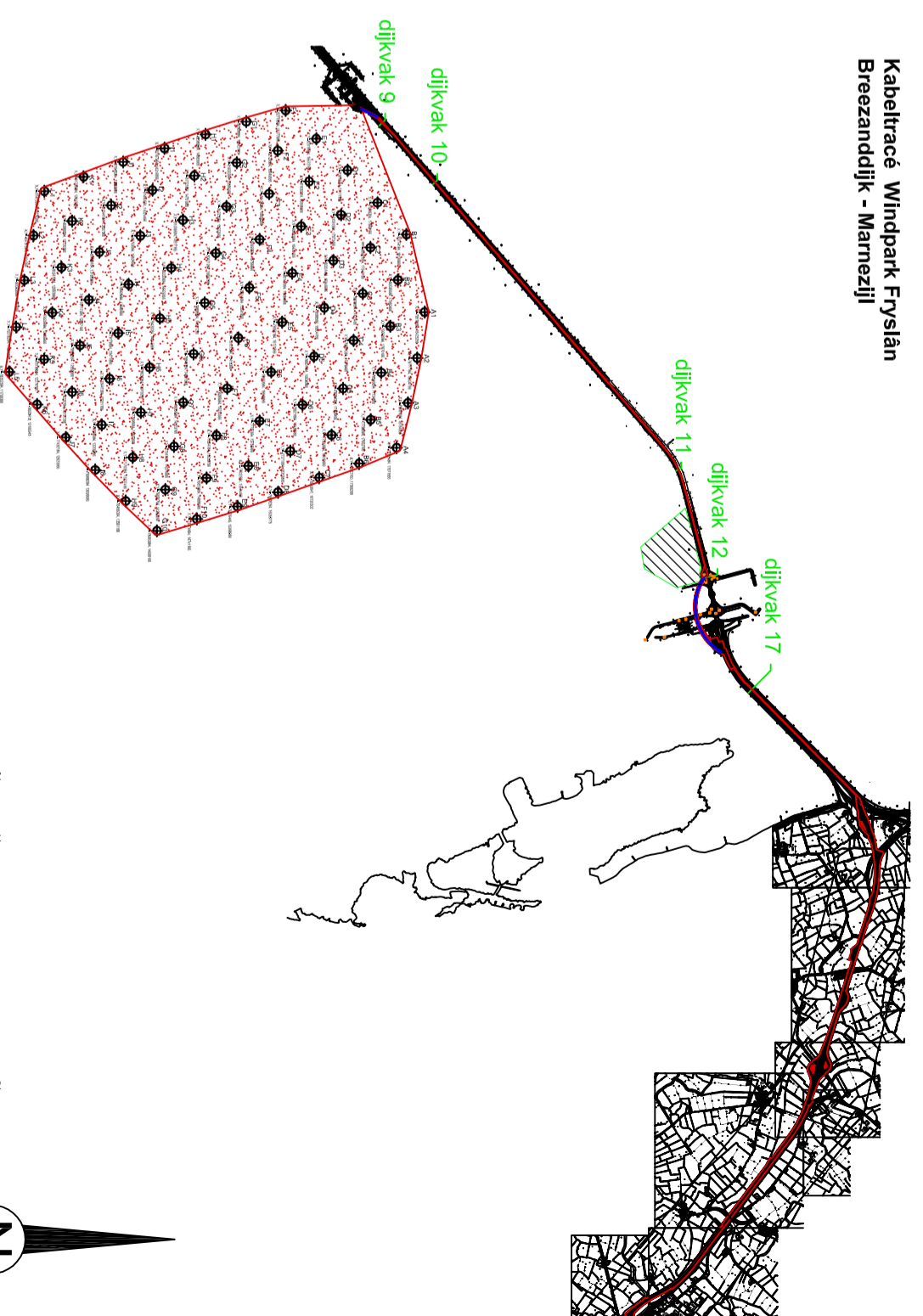
<b>Tekeningnummer</b>	<b>Omschrijving</b>	<b>Revisie</b>	<b>Datum</b>
C4-03	Dwarsprofiel dijkvlak 10: kabels onder fietspad	00	10-07-2015
482.15.2.039-105	Rijksweg A7 km 97.390 – km 97.715, te maken gestuurde boring	0	26-08-2015
482.15.2.039-101	Rijksweg A7 / Sluisweg km 96.148 – 97.378, te maken gestuurde boring B	0	21-08-2015
TM10132-K-X-53	Overzichtstekening sleuven t.b.v. leggen kabels	B	20-10-2014



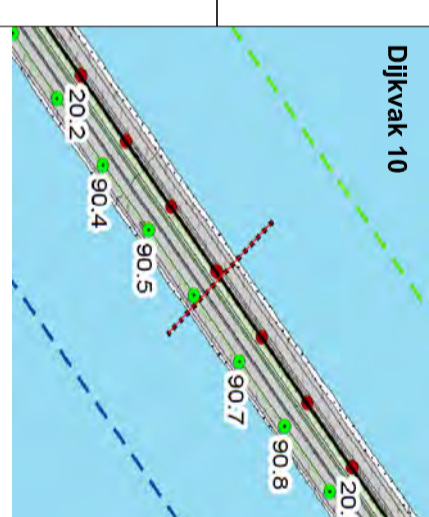
Detail dwarsdoorsnede dijkwak 10  
 Schaal 1:50



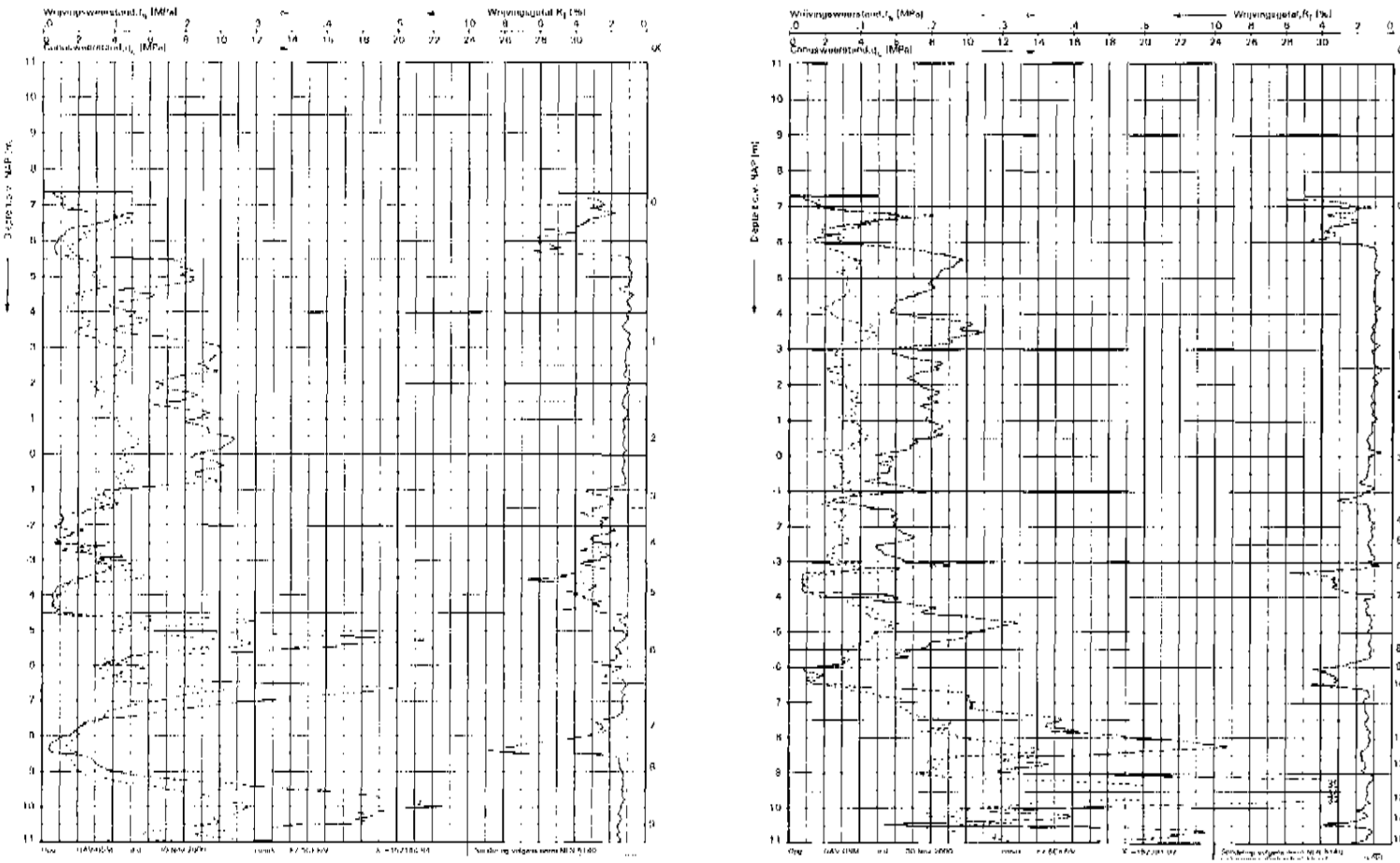
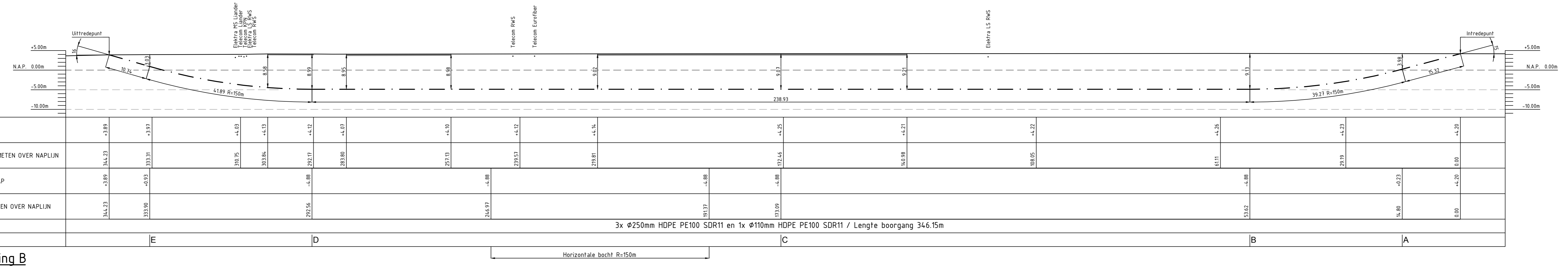
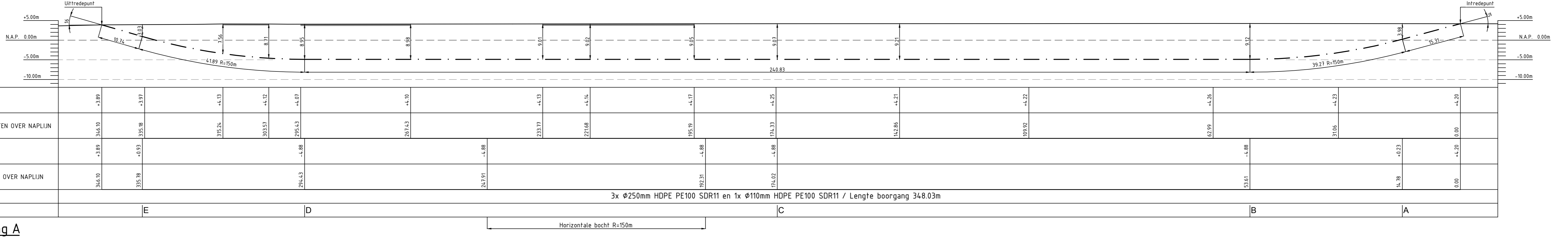
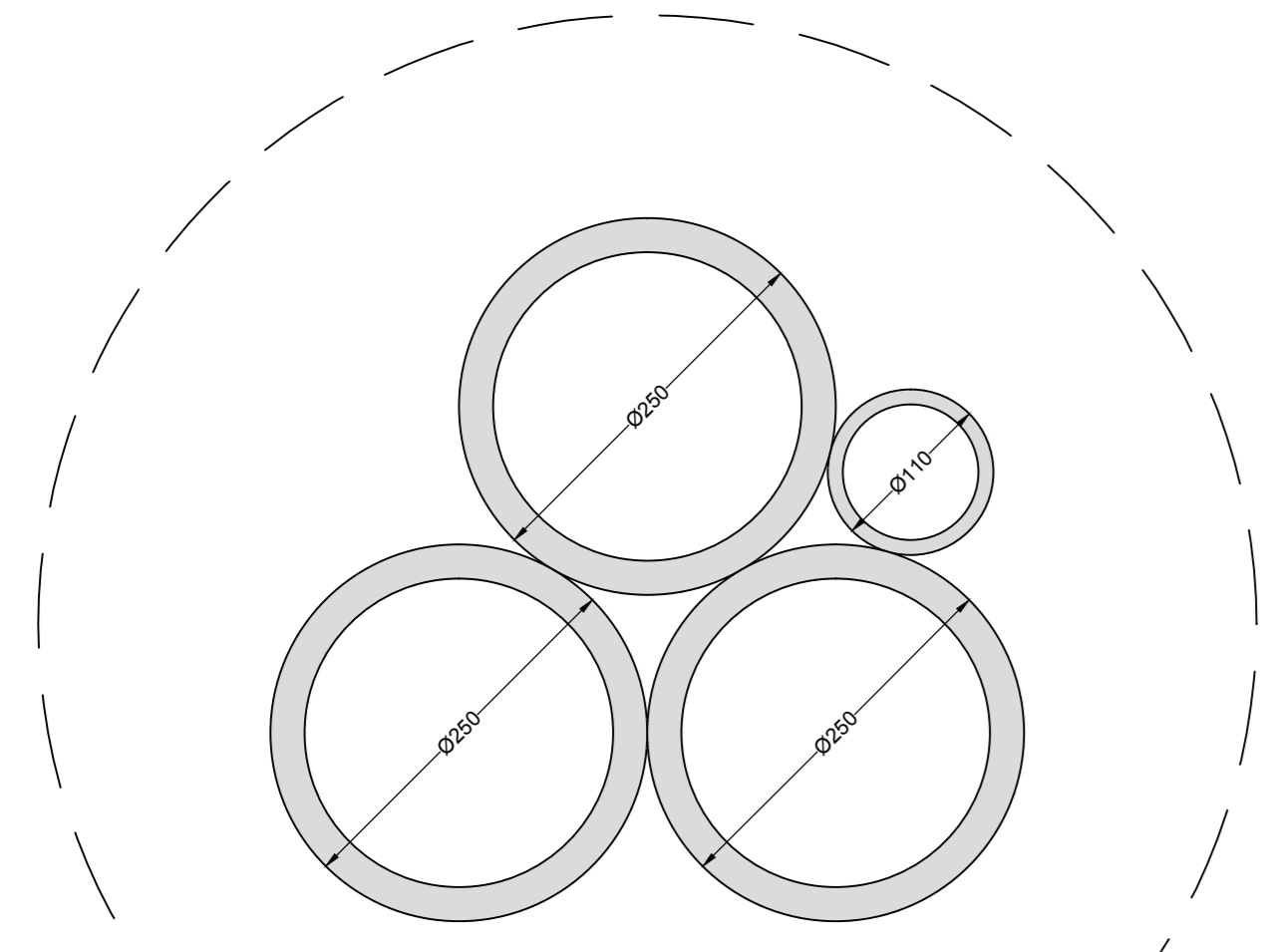
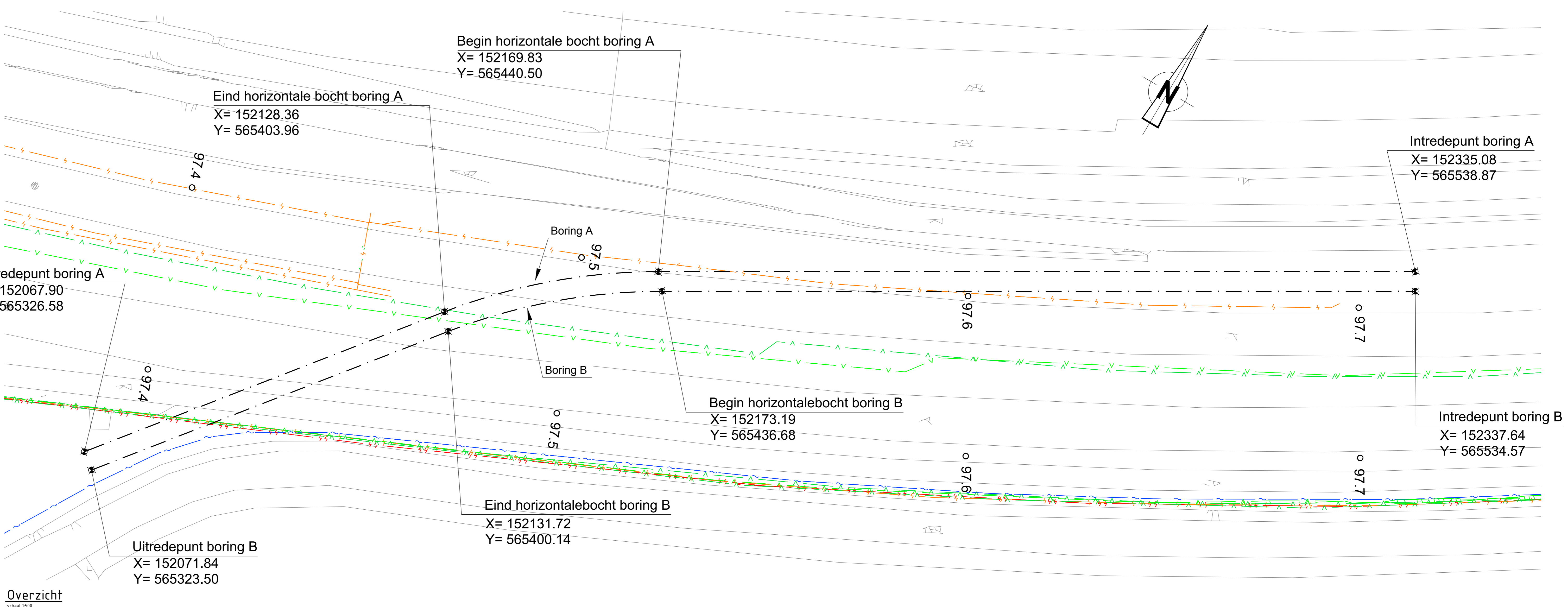
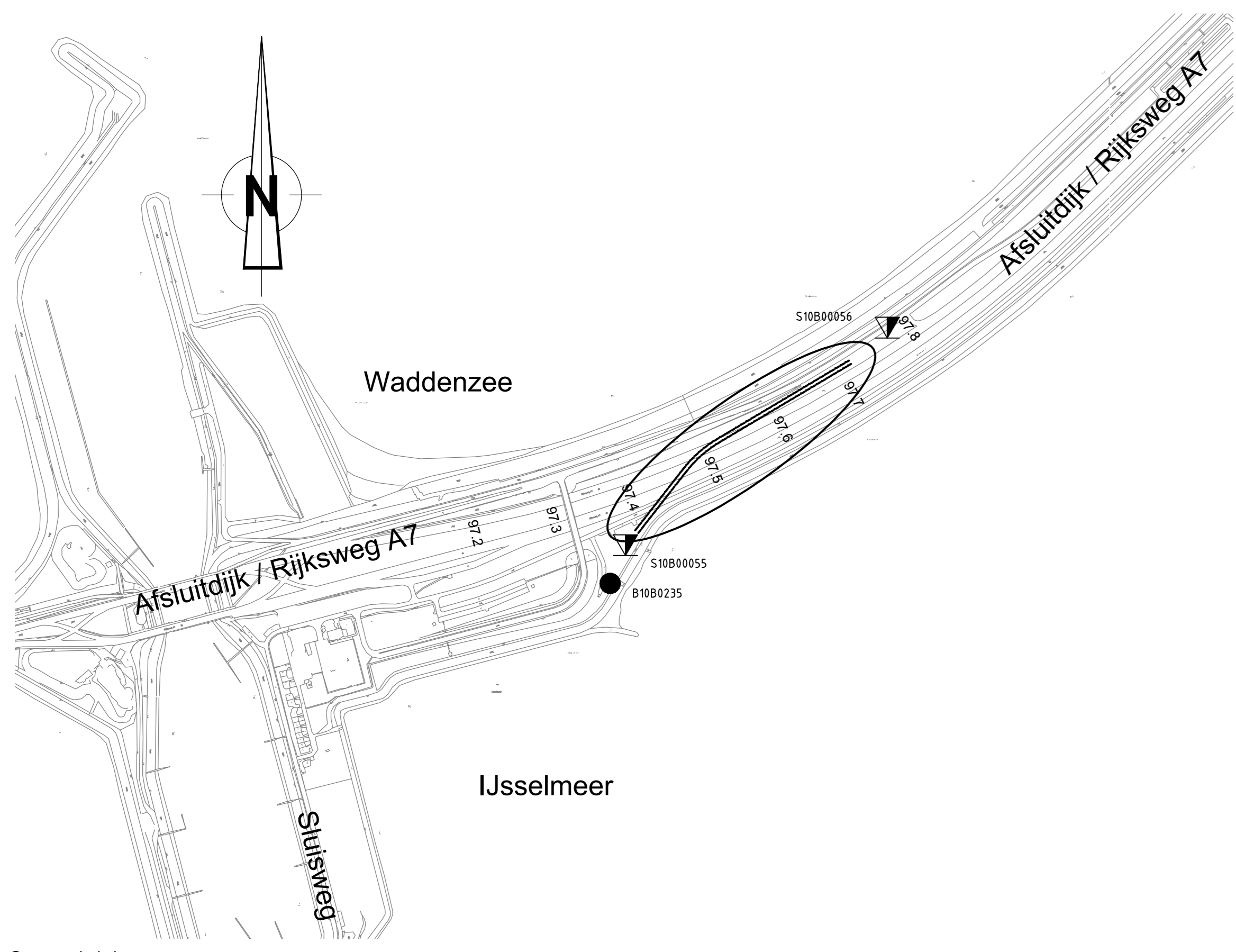
Kabeltracé Windpark Fyslan  
 Breezanddijk - Marnezijl



Dijkwak 10



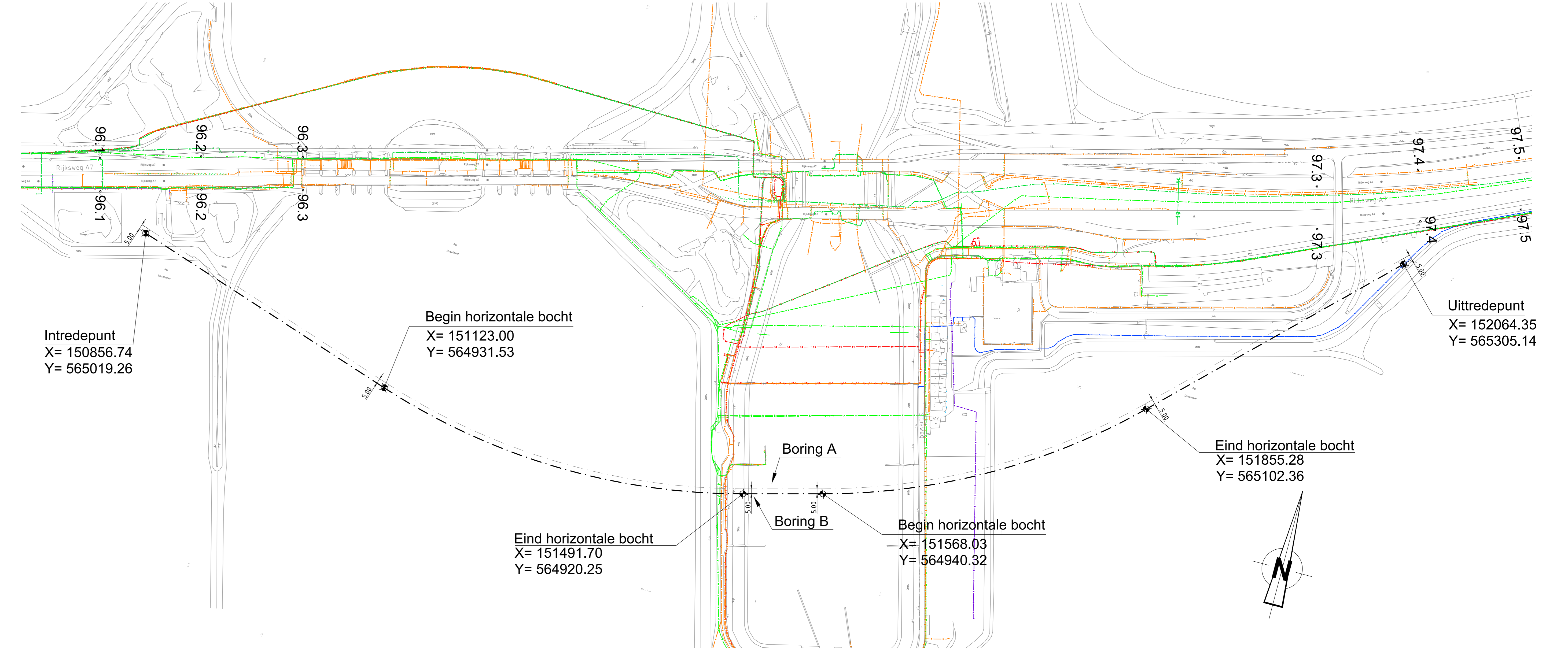
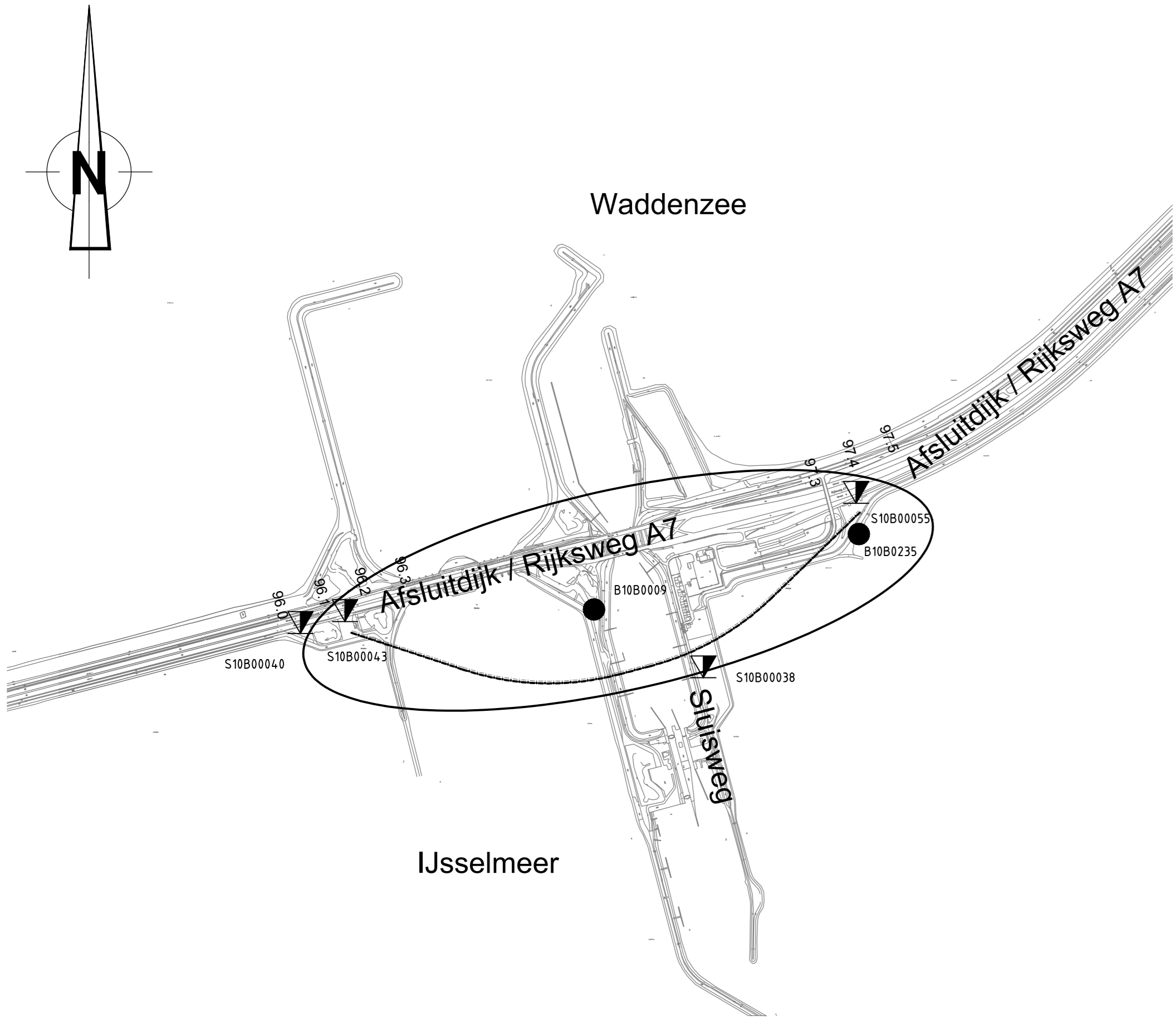
00	10-07-2015	FOR PERMITS	AVV	Bau
REV.	DATE/DATUM	STATUS/STATUS	GETEKEND/DRAWN	GOEDGEKEURD/APPR
<b>Windpark Fyslan</b>				
PROJECT BUREAU / PROJECT OFFICE:			Ventolines	
PROJECT			Ventolines bv	
SCHAAL/SCALE			Dijk 15, 8300 BB Emmeloord	
FORMAT/SIZE			T: +31 527 61 61 67	
PROJECT			WPF	
SCHAAL/SCALE			1:50 / 1:200 / 1:100000	
FORMAT/SIZE			A2	
PROJECT			Fyslan	
SCHAAL/SCALE			1:50 / 1:200 / 1:100000	
FORMAT/SIZE			A2	
Deze tekening is eigendom van Windpark Fyslan en mag niet worden gebruikt, gereproduceerd of beschikbaar gesteld aan derden zonder schriftelijke toestemming. / This drawing is the property of Windpark Fyslan and may not be used, reproduced or made available to third parties without written consent.				



Legenda bestaande K&L

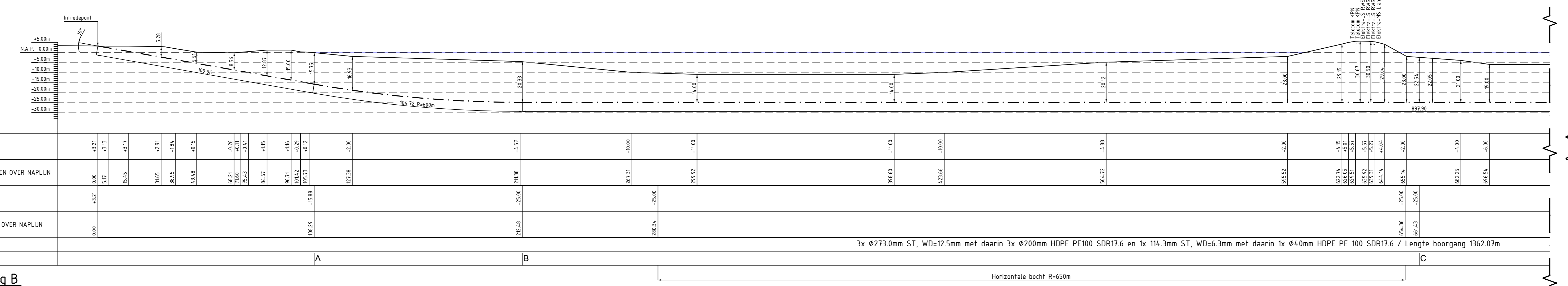
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...

0	26-08-2015	AL	R8	Voor vergoedingaanvraag
1	01-09-2015	Gez	WUZJONG	
ONTWERP : B. Berger		GETEKEND : A. Lammers	DATUM : 26-08-2015	
PROJECT : 482.5.2.039		SCHAAL : 1:500 / 1:250 / 1:5	FORMAAT : A1	
PROJEKT : Windpark Fryslan				
Afsluitdijk Rijksweg A7 km 97.390 - km 97.715				
ONDERWERP : Te maken gestuurde boring				
a.hak Engineering B.V.				TEKENING NR. : 482.5.2.039-105

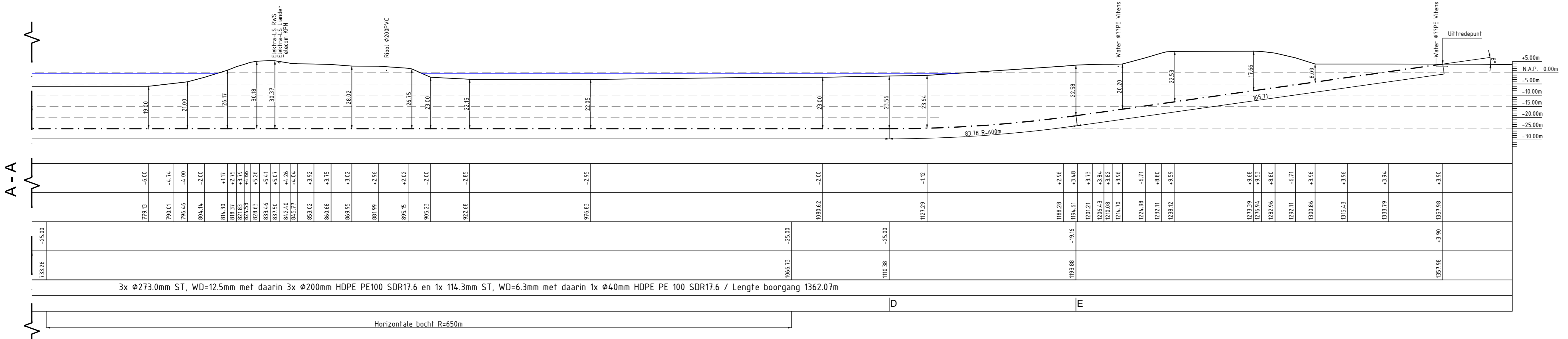


Overzicht  
schaal 1:500

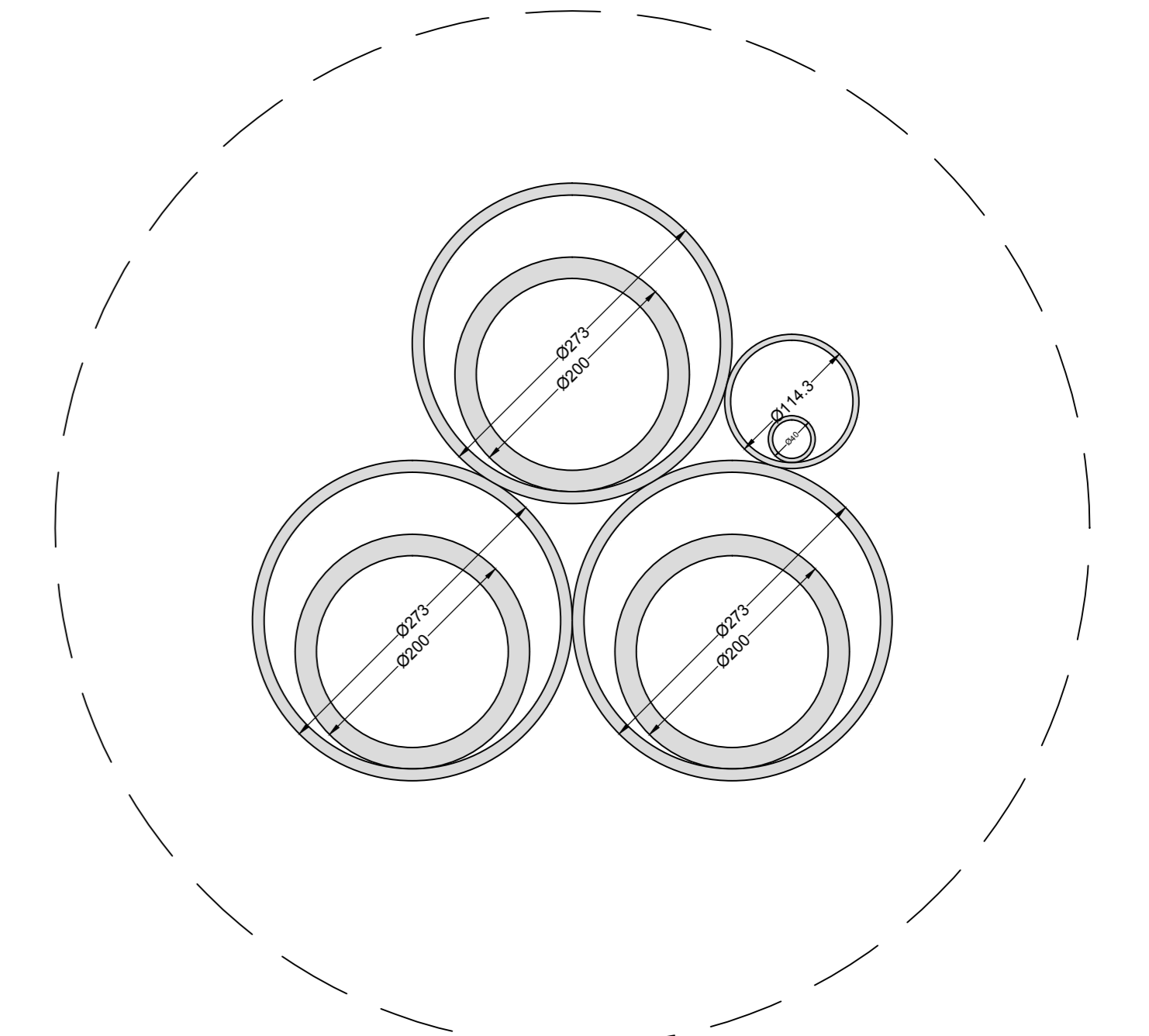
Overzicht  
schaal 1:500



Lengteprofiel Boring B  
schaal 1:500

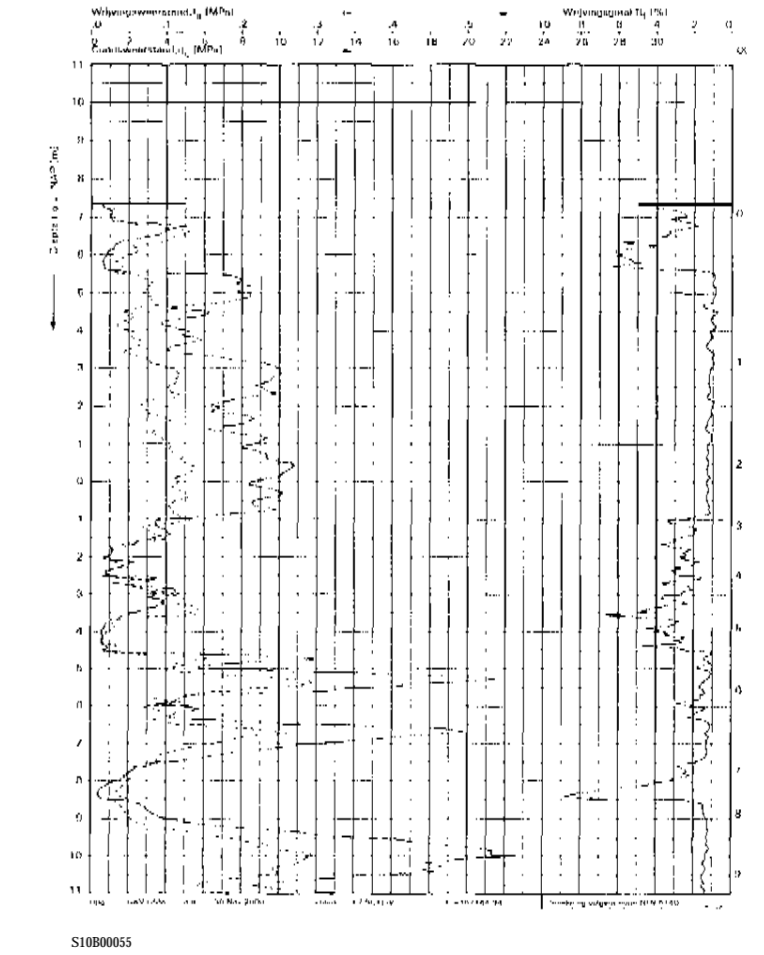
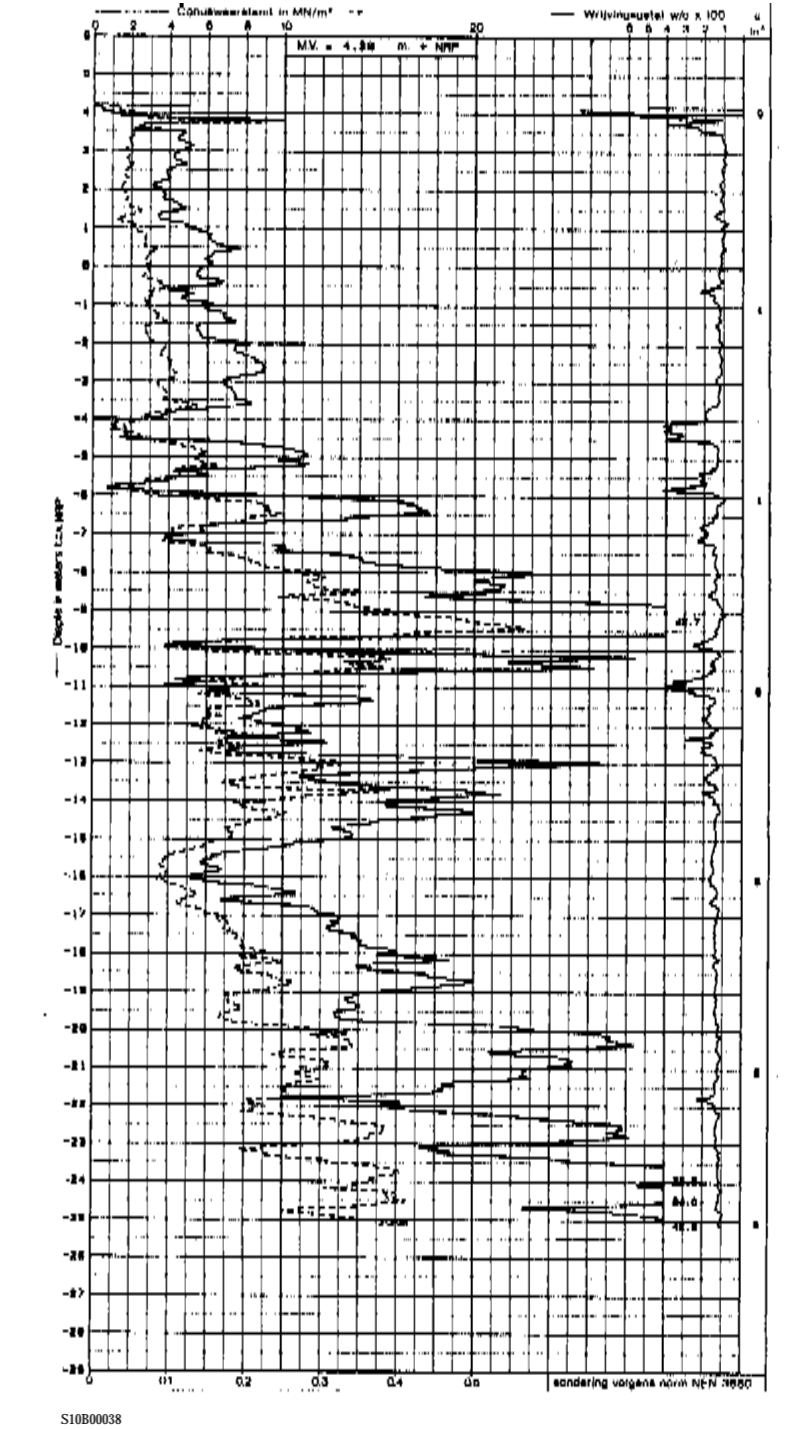
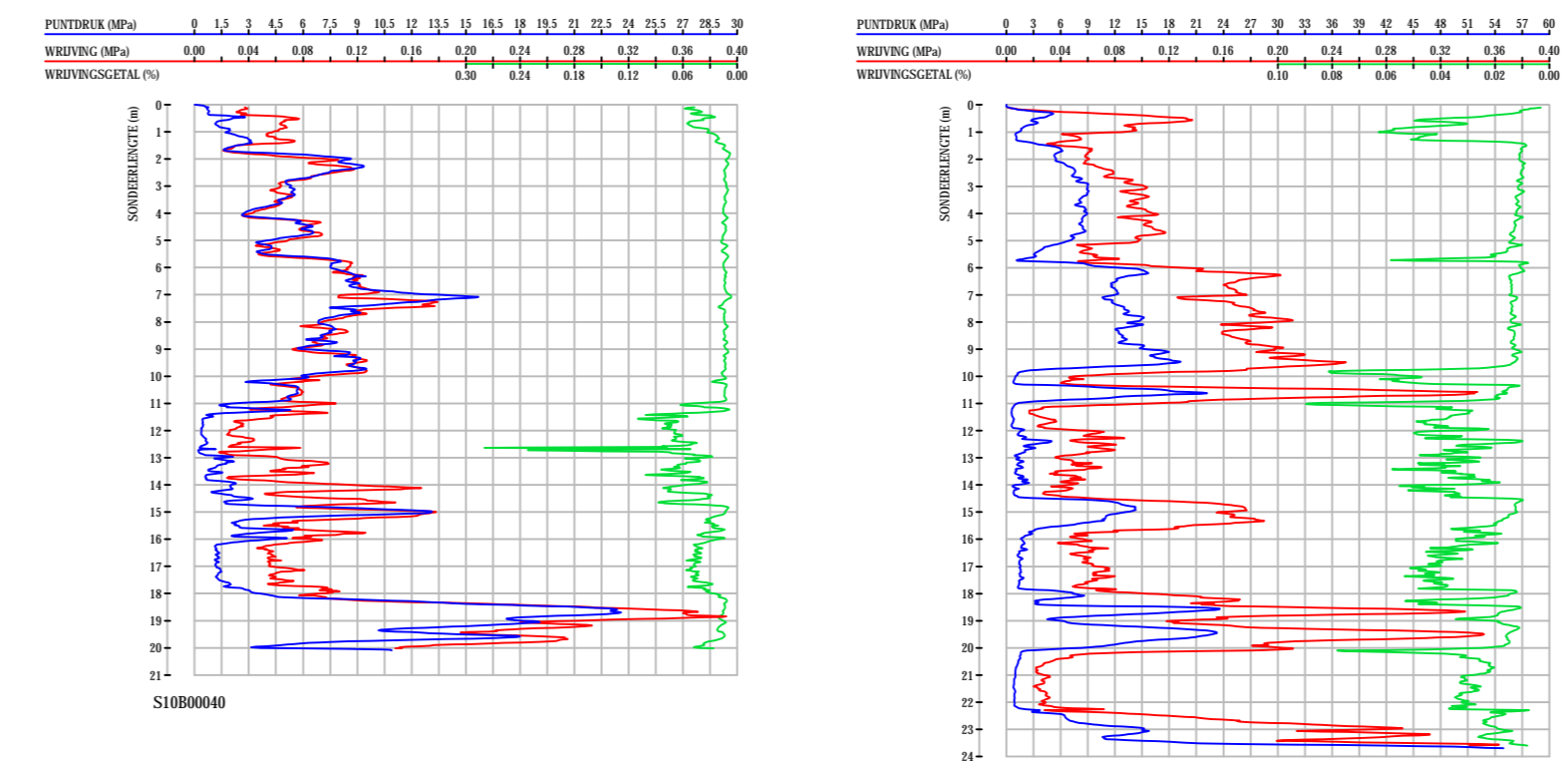


Lengteprofiel Boring B  
schaal 1:500



3x Ø273.0mm ST, WD=12.5mm  
Met daarin:  
3x Ø200mm HDPE PE100 SDR17.6 en  
1x 114.3mm ST, WD=6.3mm  
Met daarin:  
1x Ø40mm HDPE PE100 SDR17.6

Doorsnede bundel  
schaal 1:5



Legenda bestaande K&L

—	Gas
—	CO2 leiding
—	Electra LS
—	Electra MS
—	Electra HS
—	LD gasleiding
—	HD gasleiding
—	Gevoel leiding
—	Drainage
—	Rand
—	Drainage
—	KPI
—	Diverse Telecon (BPE, Eurobar, Tele2, enz)
—	Warmteleiding
—	Transport waterleiding
—	Wastele 5V
—	Sondering
—	Grondbooring

№	21-08-2015	AL	RB	Voor vergoedingaanvraag
Rev.	Datum	Get.	Gez.	WJZ/GMG

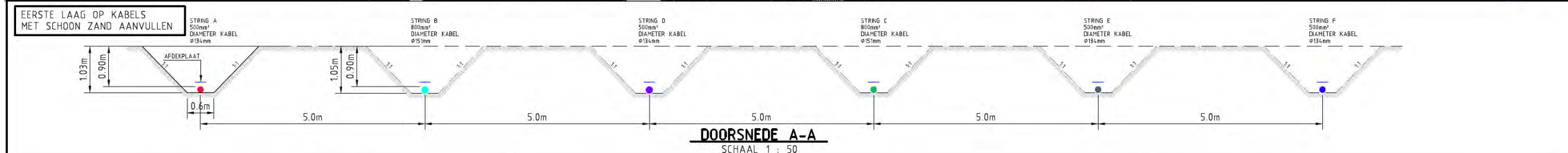
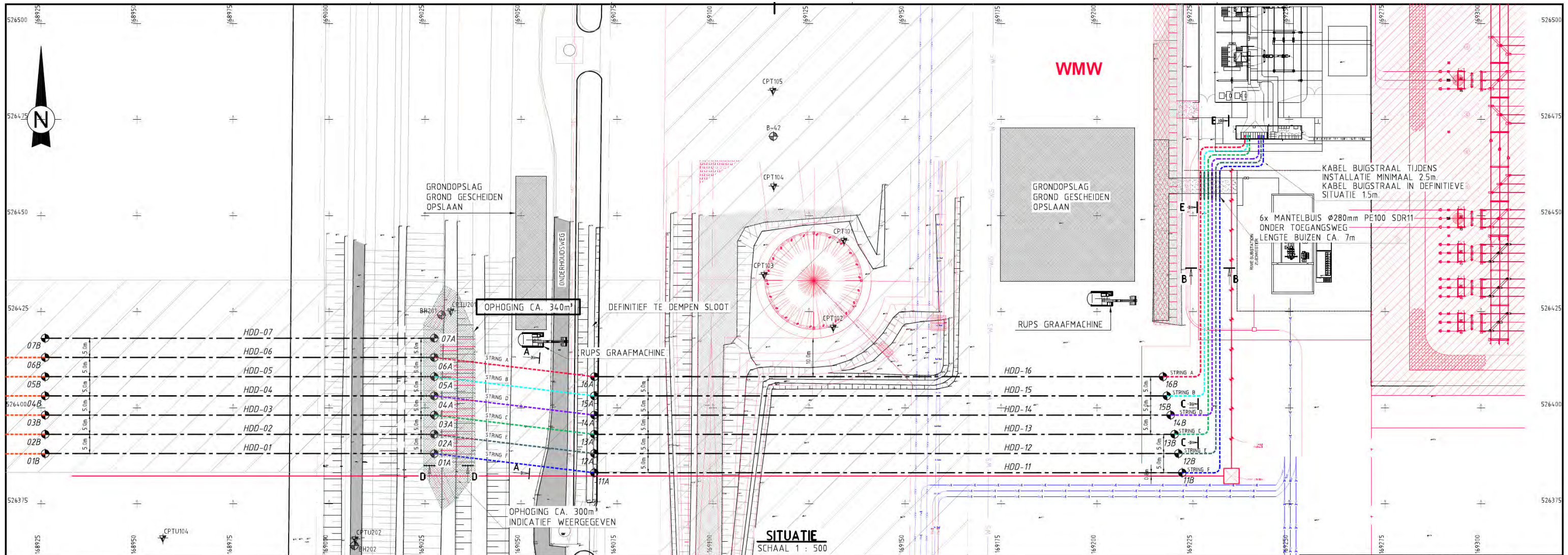
**Ventolines**

ONTWERP : R. Berger      GETEKEND : A. Lamerssen      DATUM : 21-08-2015  
 PROJECT : 482.15.2.039      SCHAAL : 1:10000 / 1:2000 / 1:1000 / 1:5      FORMAAT : A0  
 PROJECT : Windpark Fryslan  
 Afsluitdijk  
 Rijksweg A7 / Sluisweg km 96.148 - 97.378  
 ONDERWERP : Te maken gestuurde boring B

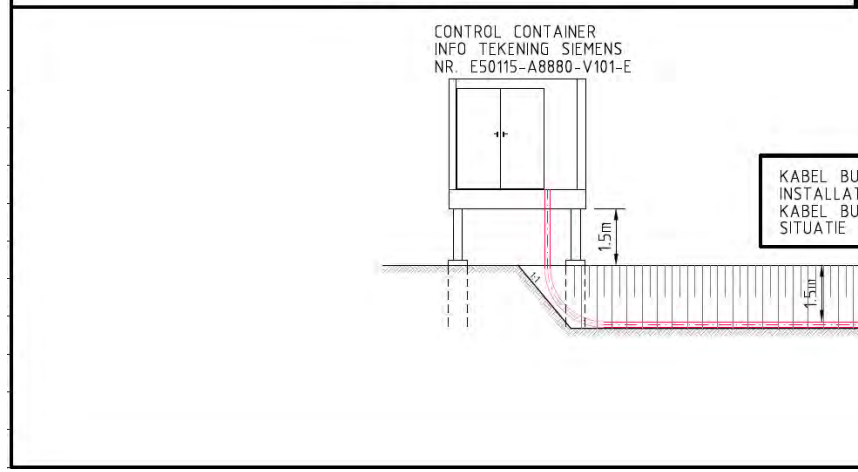
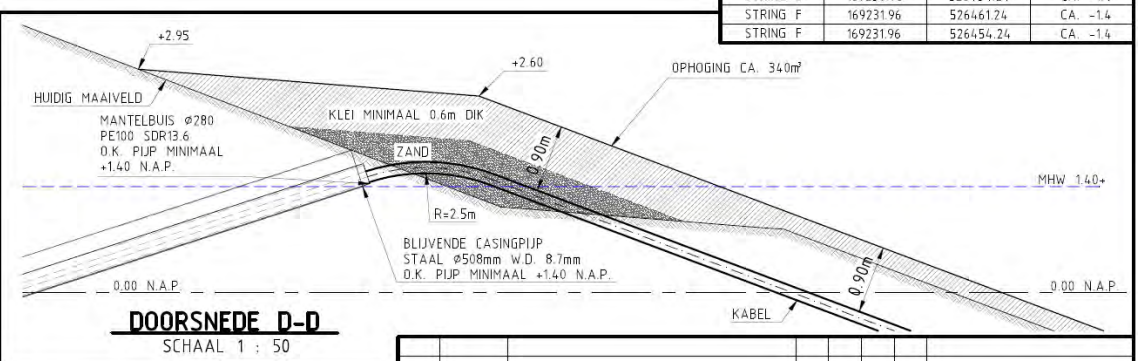
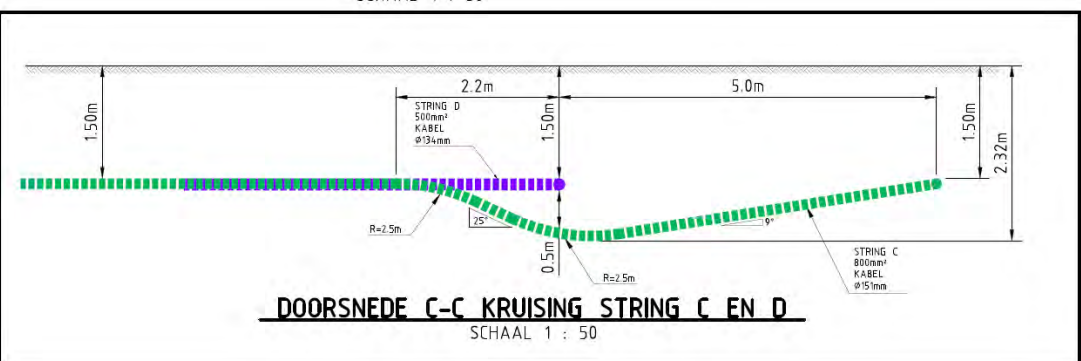
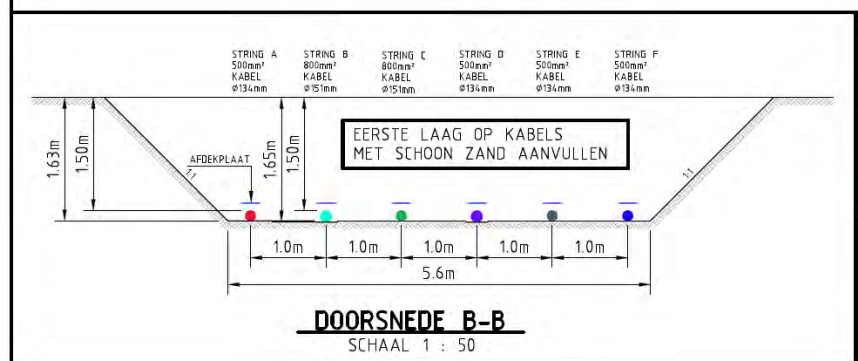
**a.hak**  
a.hak Engineering B.V.

TEKENING NR.: 482.15.2.039-101





COORDINATEN MANTELBUIZEN ONDER TOEGANGSWEG HOOGTE T.O.V. N.A.P.			
PUNTNUMMER	X	Y	Z [m -MAAIVELD]
STRING A	169276.96	526461.24	CA. -1.4
STRING A	169276.96	526454.24	CA. -1.4
STRING B	169227.96	526461.24	CA. -1.4
STRING B	169227.96	526454.24	CA. -1.4
STRING C	169228.96	526461.24	CA. -1.4
STRING C	169228.96	526454.24	CA. -1.4
STRING D	169229.96	526461.24	CA. -1.4
STRING D	169229.96	526454.24	CA. -1.4
STRING E	169230.96	526461.24	CA. -1.4
STRING E	169230.96	526454.24	CA. -1.4
STRING F	169231.96	526461.24	CA. -1.4
STRING F	169231.96	526454.24	CA. -1.4



LENGTE KABEL VANAF KOP MANTELBUIS TOT MAAIVELD	
STRING A	CA. 21.5m
STRING B	CA. 21.9m
STRING D	CA. 22.9m
STRING C	CA. 20.7m
STRING E	CA. 21.7m
STRING F	CA. 21.3m

REV.	DATE	REVISION	DWN	OKD	STATUS
B	20-10-14	COMMENTAAR OPDRACHTGEVER VERWERKT	SPE	JRH	TER GOEDKEURING
A	09-10-14	STRENG C EN D OMGEWISSELD	SPE	JRH	TER GOEDKEURING
0	04-07-14	EERSTE UITGAVE	SPE	JRH	TER GOEDKEURING

CLIENT	PROJECT	WINDMOLENPARK NOORDOOSTPOLDER URK	SUBJECT	OVERZICHTSTEKENING SLEUVEN T.B.V. LEGGEN KABELS
SCALE	FORM	PROJECT NO.	DRAWING NO.	SHEET
1 : 500	A1	CM101015	TM10132-K-X-53	1
OF	REV.			
1	B			

**OPMERKINGEN:**  
• SITUATIE VOLGENS ONTVANGEN GBKN

Tebodin Netherlands B.V.  
Hoogspanningskabels in de Afsluitdijk  
Liggerberekeningen  
Ordernummer: 48728.00  
Documentnummer: 48728-00-1931001  
Revisie: A2  
14 september 2015

## **Bijlage 2: Kabelspecificaties Prysmian**



# High Voltage Cables



## The history of cables

Since its establishment in 1913, Prysmian Cables and Systems B.V. has developed into a leading global manufacturer of cable systems. Prysmian Cables and Systems B.V. has pioneered and patented the development of extruded cable systems, such as the prefabricated stress cone (1964), the prefabricated joint body (1965), the in-line cross-linking of extruded cables (1970) and the click-fit range of accessories (1990).

## Today

Prysmian Cables and Systems B.V. is part of the Prysmian Group, a leading player in the industry of high-technology cables and systems for energy and telecommunications, with more than 50 production plants in 21 countries worldwide. In addition, the Group has a worldwide network of sales and representative offices.

Prysmian Cables and Systems B.V. is based in Delft, the Netherlands. We produce energy cables ranging from low voltage (1kV) to high voltage (500kV) for land and submarine application, along with compatible Click-Fit® accessories. All our products are tailored to meet the customer's requirements.

Our company has been at the cutting edge of high voltage cable technology for several decades. We have experience in supplying all types of high voltage cable systems throughout the world, based on a full turnkey engineering service and installation capability. Our extended after sales services is second to none, with 24/7 Emergency and Condition-Based Maintenance, on-site Fault Location, Diagnostics and Assessments, Material Qualification and Testing in our HV Laboratory.



## Environmental and reliability aspects

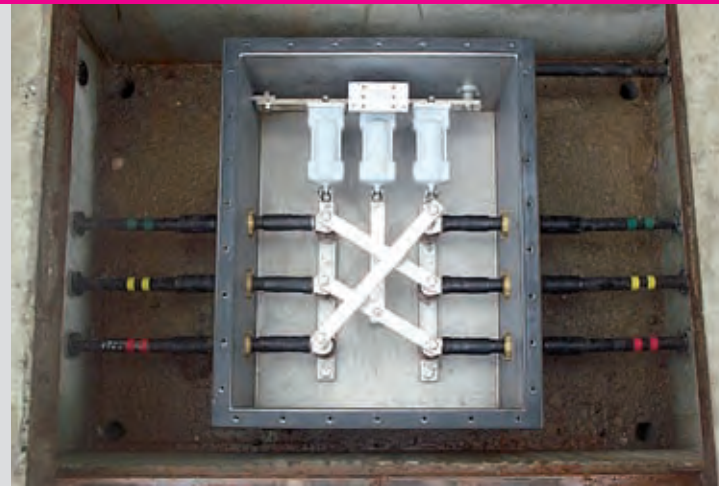
When planning a new supply route, environmental factors have to be taken into account due to mandatory regulations and public opinion.

The XLPE cables are environmentally-friendly and safe due to XLPE's insolubility in water and its inert, halogen-free chemical structure.

The cable system is out of sight and the cable route limited compared with overhead lines. Once installed, the site generally can revert to its originally intended purpose, thus resulting in considerable savings.

Reducing the electrical and magnetic fields is also becoming more important. The cable system can be designed based on a range of magnetic field requirements, with zero external electrical fields. Cable systems offer better safety for personnel and public alike, with fewer danger situations owing to accidental contact or flashovers.

Network reliability is all important because loss of power has high cost consequences. Cable systems are less vulnerable to failure compared with overhead lines.



## Prysmian sets high standards

Our high standards are certified according to the ISO 9001:2000 Quality Management and ISO 14001 Environmental Management System Standard.

The production, testing and installation of cable systems is subject to standards agreed between the customer and Prysmian Cables and Systems B.V.. These range from the generally accepted standards, such as IEC and AEIC, to the customer's specific requirements or standards that apply locally.



## High Voltage XLPE cable production

Since the introduction of polymeric insulation, we have made an important contribution to the development of extruded dielectric cables.

Intensive research on materials, together with the processing and investment in advanced extrusion machinery, led to the commercial use of the long land die dry-curing process for the manufacture of high voltage and extra high voltage cables, which meet the highest quality standards. In a triple extrusion process, the semi-conductive conductor screen, the insulation and the insulation screen are applied simultaneously. The temperature of the materials leaving the extrusion head is relatively low so as to prevent premature cross-linking. Cross-linking proper takes place at a high temperature and high pressure in the electrically heated long die, where the materials are heated to the temperature required to activate the chemical reaction effectuating the cross-linking. Gradual cooling at high pressure after cross-linking prevents the formation of voids and the creation of internal mechanical stresses.



## Cable finishing

Prysmian Cables and Systems B.V. offer a variety of cable finishing:

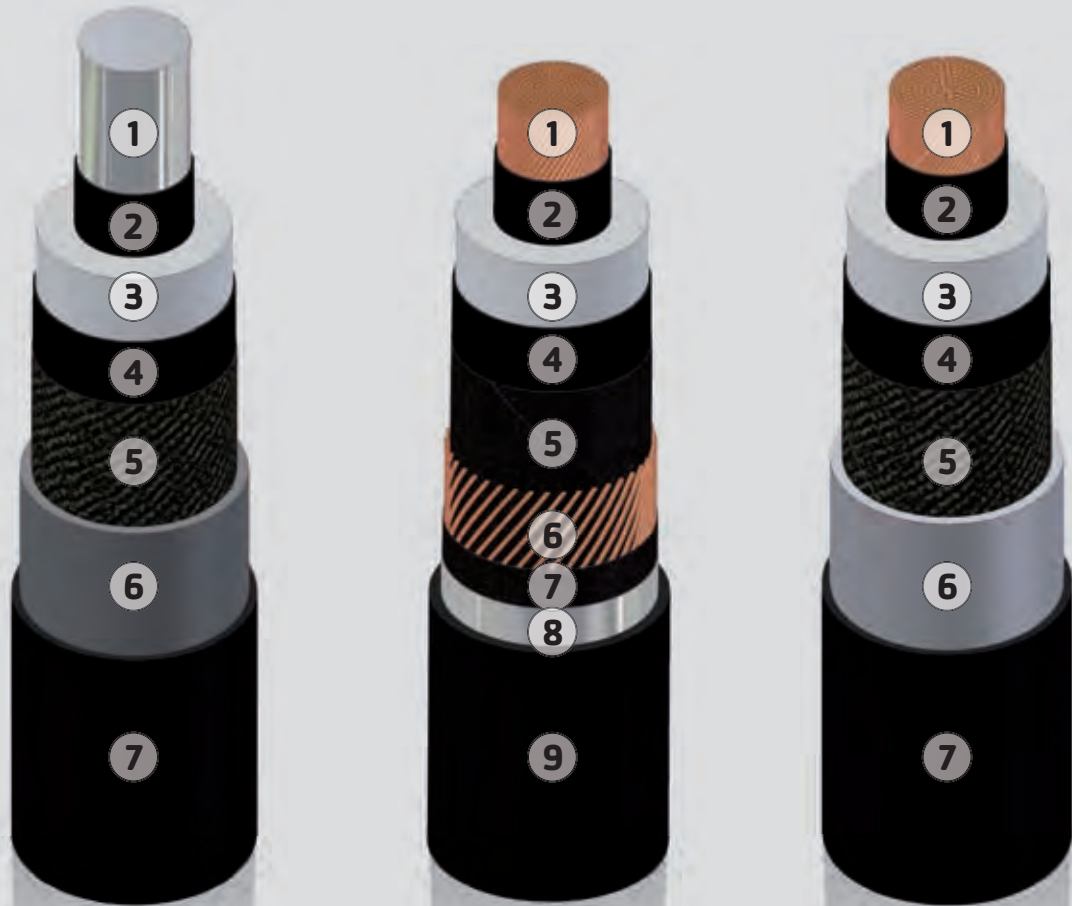
- lead alloy sheath;
- welded aluminium sheath;
- copper wire screen.

In addition, Prysmian Cables and Systems B.V. can produce the following optional finishing:

- lead alloy sheath with copper wire screen;
- welded aluminium sheath with copper wire screen;
- copper wire screen with aluminium laminated foil or copper foil;
- integrated optical fibres for distributed temperature measurements;
- aluminium wires or steel armouring;
- LSOH outer sheath;
- extruded semi-conductive layer on outer sheath.

Prysmian Cables and Systems B.V. have the capability of handling 80 tons maximum gross weight of delivery drums. This allows for the production of very long (E)HV cable lengths of up to 3.2 km. Specific cable constructions and test regimes can be offered on request.





Item	Sample A	Sample B	Sample C
Cable type	EYlKrvlwd	YMeKrvasdldw	EYAKrvlwd
1	<b>Conductor</b> Longitudinal watertight solid aluminium rod	<b>Conductor</b> Longitudinal watertight stranded and compacted copper, including binder tape	<b>Conductor</b> Longitudinal watertight segmental stranded and compacted copper, including binder tape
2	<b>Conductor screen</b> Extruded semiconducting copolymer compound	<b>Conductor screen</b> Extruded semiconducting copolymer compound	<b>Conductor screen</b> Extruded semiconducting copolymer compound
3	<b>Insulation</b> Extruded XLPE	<b>Insulation</b> Extruded XLPE	<b>Insulation</b> Extruded XLPE
4	<b>Insulation screen</b> Extruded semiconducting copolymer compound	<b>Insulation screen</b> Extruded semiconducting copolymer compound	<b>Insulation screen</b> Extruded semiconducting copolymer compound
5	<b>Bedding</b> Semiconducting water blocking tapes	<b>Bedding</b> Semiconducting water blocking tapes	<b>Bedding</b> Semiconducting water blocking tapes
6	<b>Metallic sheath</b> Extruded lead alloy	<b>Metallic screen</b> A layer of copper wire helix and a copper contact tape counter helix	<b>Metallic sheath</b> Aluminium welded sheath
7	<b>Outer sheath</b> Extruded PE	<b>Separation tape</b> Semiconducting water blocking and binder tapes	<b>Outer sheath</b> Extruded PE
8		<b>Radial water barrier</b> Aluminium foil laminate	
9		<b>Outer sheath</b> Extruded PE	

## Sample constructions

Rated voltages:  
 $U_0/U = 36/66$  kV  
 $U_m = 72.5$  kV  
 $U_p = 350$  kV

## 72kV cables 36/66kV Single core, XLPE insulated high voltage power cables

Nominal cross-sectional area of conductor	mm <sup>2</sup>	240	400	630	800	1000	1200	1600	2000
---	-----------------	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------

### Constructional data

Outer diameter	With aluminium conductor	mm	63	66	72	73	77	77	96	103
	With copper conductor	mm	64	71	76	78	88	91	96	103
Net weight with Pb sheath	With aluminium conductor	kg/m	9.9	10.5	11.5	11.9	12.7	13.0	15.5	16.5
	With copper conductor	kg/m	11.5	13.2	15.9	17.3	21.1	22.1	26.4	29.6
Minimum bending radius during cable laying		m	1.6	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6

### Electrical properties at 66kV and 50 Hz

Aluminium conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.1250	0.0778	0.0469	0.0367	0.0291	0.0247	0.0186	0.0149
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.161	0.101	0.062	0.050	0.041	0.036	0.025	0.198
Copper conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0754	0.0470	0.0283	0.0221	0.0176	0.0151	0.0113	0.0090
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.097	0.062	0.040	0.033	0.024	0.021	0.017	0.014
DC-resistance of metallic sheath at 20°C approx.				Ω/km	0.345	0.345	0.345	0.345	0.345	0.345	0.345	0.345
Reactance (approx.)	Metallic sheath closed	Trefoil	touching	Ω/km	0.140	0.127	0.118	0.113	0.109	0.106	0.104	0.097
			Flat	0.15m	Ω/km	0.207	0.192	0.176	0.168	0.160	0.155	0.135
		Flat	0.30m	Ω/km	0.247	0.232	0.214	0.206	0.197	0.191	0.165	0.162
	Metallic sheath open	Flat	0.15m	Ω/km	0.210	0.195	0.179	0.172	0.164	0.159	0.141	0.136
			0.30m	Ω/km	0.254	0.239	0.223	0.215	0.208	0.203	0.185	0.179
		Flat	0.45m	Ω/km	0.279	0.264	0.248	0.241	0.233	0.228	0.210	0.205
Operating capacitance				μF/km	0.18	0.20	0.24	0.29	0.31	0.35	0.37	0.41
Charging current				A/km	2.6	2.3	2.7	3.3	3.5	4.0	4.2	4.6

### Continuous current-carrying capacities

Conductor	Cables laid	Sheath circuit	Laying formation	Spacing											
Aluminium	In ground	Closed	Trefoil	touching	A	380	488	630	708	783	835	1013	1104		
			Flat	0.15m	A	388	490	609	672	728	764	893	959		
			Open	Flat	0.15m	A	405	525	684	775	867	934	1139	1255	
		Open	Flat	0.45m	A	444	578	760	865	974	1055	1300	1453		
			In buried ducts	Closed	Flat	0.30m	A	374	465	562	611	650	673	776	827
				Open	Flat	0.30m	A	403	522	685	778	875	947	1149	1301
	In air	Closed	Trefoil	touching	A	486	644	863	988	1116	1208	1550	1717		
			Flat	0.15m	A	534	706	931	1060	1188	1278	1263	1384		
			Open	Flat	0.15m	A	548	737	1005	1164	1335	1463	1657	1869	
		Open	In buried ducts	Closed	Flat	0.30m	A	465	559	654	691	751	790	806	892
				Open	Flat	0.30m	A	523	675	874	984	1163	1251	1402	1563
			In air	Open	Flat	0.15m	A	719	963	1295	1591	1842	1976	2433	2674

### Maximum permissible short-circuit currents for short circuit duration of one second

Aluminium conductor	kA	23.1	38.4	60.3	76.5	95.5	114.5	152.5	190.4
Copper conductor	kA	34.9	57.9	91.0	115.5	144.2	172.9	230.3	287.7
Metallic sheath	kA	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3



## Sample constructions

Rated voltages:  
 $U_0/U = 64/110$  kV  
 $U_m = 123$  kV  
 $U_p = 550$  kV

# 123kV cables 64/110kV Single core, XLPE insulated high voltage power cables

Nominal cross-sectional area of conductor mm<sup>2</sup> 400 630 800 1000 1200 1600 2000 2500

### Constructional data

Outer diameter	With aluminium conductor	mm	66	72	74	78	81	101	111	111
	With copper conductor	mm	73	76	83	87	92	99	112	112
Net weight with Pb sheath	With aluminium conductor	kg/m	10.5	11.5	11.9	12.7	13.5	19.1	19.6	21.7
	With copper conductor	kg/m	13.6	15.9	18.5	21.5	23.0	27.8	32.5	42.5
Minimum bending radius during cable laying		m	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.5	2.8	2.8

### Electrical properties at 110kV and 50 Hz

Aluminium conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0778	0.0469	0.0367	0.0291	0.0247	0.0186	0.0149	0.0127
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.101	0.062	0.050	0.041	0.036	0.024	0.020	0.017
Copper conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0754	0.0470	0.0283	0.0221	0.0176	0.0151	0.0113	0.0090
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.062	0.040	0.033	0.024	0.021	0.017	0.014	0.012
DC-resistance of metallic sheath at 20°C approx.				Ω/km	0.327	0.327	0.327	0.327	0.327	0.327	0.327	0.327
Reactance (approx.)	Metallic sheath closed	Trefoil touching	Ω/km	0.138	0.124	0.120	0.115	0.112	0.104	0.102	0.096	
			Ω/km	0.191	0.175	0.167	0.159	0.154	0.135	0.131	0.125	
		Flat 0.15m	Ω/km	0.228	0.212	0.203	0.194	0.189	0.165	0.164	0.158	
	Metallic sheath open	Flat 0.15m	Ω/km	0.195	0.179	0.172	0.164	0.159	0.141	0.135	0.130	
			Ω/km	0.239	0.223	0.215	0.208	0.203	0.185	0.179	0.173	
		Flat 0.45m	Ω/km	0.264	0.248	0.241	0.233	0.228	0.210	0.204	0.199	
Operating capacitance				μF/km	0.17	0.23	0.23	0.27	0.28	0.30	0.29	0.36
Charging current				A/km	3.4	4.6	4.6	5.4	5.6	6.0	5.8	7.2

### Continuous current-carrying capacities

Conductor	Cables laid	Sheath circuit	Laying formation	Spacing									
Aluminium	In ground	Closed	Trefoil touching	A	486	628	728	778	831	1013	1096	1169	
			Flat 0.15m	A	480	602	661	717	757	893	942	988	
		Open	Flat 0.15m	A	515	675	763	853	919	1114	1223	1323	
			Flat 0.45m	A	567	749	852	960	1040	1277	1433	1575	
	In buried ducts	Closed	Flat 0.30m	A	454	555	599	637	665	784	807	835	
		Open	Flat 0.30m	A	516	679	771	866	937	1146	1283	1403	
	In air	Closed	Trefoil touching	A	638	856	979	1105	1197	1530	1696	1860	
			Flat 0.15m	A	688	917	1042	1168	1262	1440	1530	1641	
		Open	Flat 0.15m	A	716	982	1137	1301	1424	1884	2095	2366	
	Copper	In ground	Closed	Trefoil touching	A	619	779	861	955	998	1066	1210	1277
				Flat 0.15m	A	593	718	779	831	856	892	1001	1037
Open			Flat 0.15m	A	663	857	958	1097	1166	1288	1460	1579	
			Flat 0.45m	A	733	957	1080	1246	1341	1523	1754	1941	
In buried ducts		Closed	Flat 0.30m	A	548	640	682	712	723	737	860	885	
		Open	Flat 0.30m	A	666	866	974	1129	1212	1369	1564	1719	
In air		Closed	Trefoil touching	A	823	1080	1220	1402	1499	1663	1917	2078	
			Flat 0.15m	A	877	1136	1276	1438	1528	1605	1700	1777	
		Open	Flat 0.15m	A	934	1265	1452	1709	1860	2146	2543	2877	

### Maximum permissible short-circuit currents for short circuit duration of one second

Aluminium conductor	kA	38.4	60.3	76.5	95.5	114.5	152.5	190.4	256.1
Copper conductor	kA	57.9	91.0	115.5	144.2	172.9	230.3	287.7	359.5
Metallic sheath	kA	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1

## Sample constructions

Rated voltages:  
 $U_0/U = 76/132$  kV  
 $U_m = 145$  kV  
 $U_p = 650$  kV

## 145kV cables 76/132kV Single core, XLPE insulated high voltage power cables

Nominal cross-sectional area of conductor	mm <sup>2</sup>	400	630	800	1000	1200	1600	2000	2500
---	-----------------	-----	-----	-----	------	------	------	------	------

### Constructional data

Outer diameter	With aluminium conductor	mm	77	81	81	84	89	105	112	117
	With copper conductor	mm	77	84	89	99	100	105	112	117
Net weight	With aluminium conductor	kg/m	11.4	12.6	13.5	15.9	16.0	17.1	17.9	20.9
	with Pb sheath	kg/m	14.0	16.8	18.8	22.5	23.2	27.7	31.1	37.4
Minimum bending radius during cable laying		m	1.9	2.0	2.2	2.3	2.5	2.6	2.8	2.9

### Electrical properties at 132kV and 50 Hz

Aluminium conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0778	0.0469	0.0367	0.0291	0.0247	0.0186	0.0149	0.0127
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.101	0.062	0.050	0.041	0.036	0.024	0.020	0.017
Copper conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0470	0.0283	0.0221	0.0176	0.0151	0.0113	0.0090	0.0072
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.062	0.039	0.032	0.024	0.021	0.017	0.014	0.012
DC-resistance of metallic sheath at 20°C approx.				Ω/km	0.340	0.343	0.337	0.348	0.347	0.343	0.335	0.319
Reactance (approx.)	Metallic sheath closed	Trefoil	touching	Ω/km	0.142	0.128	0.123	0.118	0.115	0.106	0.102	0.099
			Flat	0.15m	Ω/km	0.190	0.175	0.167	0.159	0.154	0.135	0.133
		Flat	0.30m	Ω/km	0.226	0.211	0.202	0.194	0.188	0.164	0.169	0.163
	Metallic sheath open	Flat	0.15m	Ω/km	0.195	0.179	0.172	0.164	0.159	0.141	0.136	0.130
			0.30m	Ω/km	0.239	0.223	0.215	0.208	0.203	0.185	0.179	0.173
		Flat	0.45m	Ω/km	0.264	0.248	0.241	0.233	0.228	0.210	0.205	0.199
Operating capacitance				μF/km	0.16	0.19	0.21	0.22	0.24	0.27	0.29	0.32
Charging current				A/km	3.8	4.5	5.0	5.3	5.7	6.4	6.9	7.6

### Continuous current-carrying capacities

Conductor	Cables laid	Sheath circuit	Laying formation	Spacing										
Aluminium	In ground	Closed	Trefoil	touching	A	485	626	702	777	828	1051	1162	1237	
			Flat	0.15m	A	477	598	657	716	752	933	1017	1072	
		Open	Flat	0.15m	A	512	670	758	848	912	1148	1275	1365	
			Flat	0.45m	A	564	744	847	954	1034	1317	1486	1615	
	In buried ducts	Closed	Flat	0.30m	A	451	538	594	636	659	820	880	915	
		Open	Flat	0.30m	A	514	649	767	862	932	1183	1330	1442	
	In air	Closed	Trefoil	touching	A	636	852	974	1100	1190	1521	1722	1870	
			Flat	0.15m	A	683	910	1033	1163	1253	1432	1595	1688	
		Open	Flat	0.15m	A	710	972	1124	1286	1407	1835	2095	2342	
	Copper	In ground	Closed	Trefoil	touching	A	617	778	858	947	990	1061	1299	1375
				Flat	0.15m	A	590	717	774	824	850	892	1095	1140
			Open	Flat	0.15m	A	659	851	951	1087	1154	1275	1528	1644
Flat				0.45m	A	728	951	1073	1239	1332	1513	1819	2005	
In buried ducts		Closed	Flat	0.30m	A	543	639	676	706	718	738	946	980	
		Open	Flat	0.30m	A	663	861	969	1122	1204	1358	1623	1781	
In air		Closed	Trefoil	touching	A	820	1076	1214	1390	1485	1657	1966	2130	
			Flat	0.15m	A	871	1131	1268	1429	1520	1686	1763	1857	
		Open	Flat	0.15m	A	927	1251	1435	1688	1835	2115	2546	2850	

### Maximum permissible short-circuit currents for short circuit duration of one second

Aluminium conductor	kA	38.4	60.3	76.5	95.5	114.5	152.5	190.4	256.1
Copper conductor	kA	57.9	91.0	115.5	144.2	172.9	230.3	287.7	359.5
Metallic sheath	kA	17.3	17.4	17.7	17.5	17.5	17.8	18.3	19.2

## Sample constructions

Rated voltages:  
 $U_0/U = 87/150$  kV  
 $U_m = 170$  kV  
 $U_p = 750$  kV

# 170kV cables 87/150kV Single core, XLPE insulated high voltage power cables

Nominal cross-sectional area of conductor	mm <sup>2</sup>	400	630	800	1000	1200	1600	2000	2500
---	-----------------	-----	-----	-----	------	------	------	------	------

### Constructional data

Outer diameter	With aluminium conductor	mm	80	90	91	91	95	113	114	120
	With copper conductor	mm	86	89	93	103	103	109	116	120
Net weight with Pb sheath	With aluminium conductor	kg/m	12.7	13.8	14.1	14.3	15.3	20.2	25.3	31.4
	With copper conductor	kg/m	17.3	19.4	21.5	25.2	25.9	30.5	33.8	39.8
Minimum bending radius during cable laying		m	2.1	2.2	2.3	2.6	2.6	2.8	2.9	3.0

### Electrical properties at 150kV and 50 Hz

Aluminium conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0778	0.0469	0.0367	0.0291	0.0247	0.0186	0.0149	0.0127
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.101	0.062	0.050	0.041	0.035	0.024	0.020	0.017
Copper conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0470	0.0283	0.0221	0.0176	0.0151	0.0113	0.0090	0.0072
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.062	0.039	0.032	0.024	0.021	0.017	0.014	0.012
DC-resistance of metallic sheath at 20°C approx.				Ω/km	0.263	0.262	0.255	0.262	0.261	0.255	0.256	0.254
Reactance (approx.)	Metallic sheath closed	Trefoil	touching	Ω/km	0.143	0.132	0.126	0.121	0.118	0.109	0.104	0.100
			Flat	0.15m	Ω/km	0.185	0.174	0.166	0.159	0.154	0.135	0.131
		Flat	0.30m	Ω/km	0.219	0.209	0.200	0.192	0.186	0.163	0.160	0.158
	Metallic sheath open	Flat	0.15m	Ω/km	0.190	0.179	0.172	0.164	0.159	0.141	0.136	0.130
			0.30m	Ω/km	0.234	0.223	0.215	0.208	0.203	0.185	0.179	0.173
		Flat	0.45m	Ω/km	0.259	0.248	0.241	0.233	0.228	0.210	0.205	0.199
Operating capacitance				μF/km	0.15	0.19	0.21	0.22	0.24	0.27	0.29	0.32
Charging current				A/km	4.1	5.2	5.7	6.0	6.6	7.4	7.9	8.7

### Continuous current-carrying capacities

Conductor	Cables laid	Sheath circuit	Laying formation	Spacing										
Aluminium	In ground	Closed	Trefoil	touching	A	482	625	700	775	826	978	1077	1152	
			Flat	0.15m	A	477	594	653	712	748	858	931	987	
		Open	Flat	0.15m	A	512	665	753	842	905	1084	1211	1300	
			Flat	0.45m	A	564	738	842	948	1028	1256	1424	1557	
	In buried ducts	Closed	Flat	0.30m	A	451	545	589	631	654	744	795	883	
		Open	Flat	0.30m	A	515	671	763	857	927	1129	1274	1387	
	In air	Closed	Trefoil	touching	A	643	846	969	1094	1184	1477	1673	1829	
			Flat	0.15m	A	689	901	1026	1155	1245	1358	1430	103	
		Open	Flat	0.15m	A	714	957	1112	1271	1390	1784	2084	2313	
	Copper	In ground	Closed	Trefoil	touching	A	608	774	855	940	981	1051	1187	1258
				Flat	0.15m	A	586	709	769	819	844	887	985	1029
			Open	Flat	0.15m	A	654	842	944	1077	1142	1259	1445	1548
Flat				0.45m	A	722	943	1067	1231	1324	1503	1742	1917	
In buried ducts		Closed	Flat	0.30m	A	539	629	670	700	713	733	847	882	
		Open	Flat	0.30m	A	659	855	964	1116	1196	1349	1552	1698	
In air		Closed	Trefoil	touching	A	815	1068	1207	1379	1475	1641	1888	2049	
			Flat	0.15m	A	863	1119	1260	1421	1512	1679	1710	1738	
		Open	Flat	0.15m	A	913	1231	1418	1667	1811	2085	2520	2819	

### Maximum permissible short-circuit currents for short circuit duration of one second

Aluminium conductor	kA	38.4	60.3	76.5	95.5	114.5	152.5	190.4	256.1
Copper conductor	kA	57.9	91.0	115.5	144.2	172.9	230.3	287.7	359.5
Metallic sheath	kA	24.9	24.5	24.9	24.1	24.2	24.7	24.6	24.7

## Sample constructions

Rated voltages:  
 $U_0/U = 127/220$  kV  
 $U_m = 245$  kV  
 $U_p = 1050$  kV

## 245kV cables 127/220kV Single core, XLPE insulated high voltage power cables

Nominal cross-sectional area of conductor	mm <sup>2</sup>	630	800	1000	1200	1600	2000	2500
---	-----------------	-----	-----	------	------	------	------	------

### Constructional data

Outer diameter	With aluminium conductor	mm	107	107	108	111	123	126	130
	With copper conductor	mm	103	103	110	111	118	127	134
Net weight with Pb sheath	With aluminium conductor	kg/m	18.9	19.8	21.3	22.8	25.7	27.9	31.5
	With copper conductor	kg/m	23.1	25.1	27.9	30.7	36.6	41.1	48.0
Minimum bending radius during cable laying		m	2.7	2.7	2.7	2.8	3.1	3.2	3.4

### Electrical properties at 220kV and 50 Hz

Aluminium conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0469	0.0367	0.0291	0.0247	0.0186	0.0149	0.0127
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.062	0.049	0.040	0.035	0.0242	0.0197	0.0169
Copper conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0283	0.0221	0.0176	0.0151	0.0113	0.0090	0.0072
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.039	0.032	0.024	0.021	0.017	0.0134	0.0115
DC-resistance of metallic sheath at 20°C approx.				Ω/km	0.274	0.273	0.277	0.276	0.275	0.270	0.270
Reactance (approx.)	Metallic sheath closed	Trefoil touching		Ω/km	0.136	0.136	0.130	0.125	0.113	0.106	0.103
			Flat 0.15m	Ω/km	0.166	0.165	0.158	0.152	0.134	0.131	0.125
		Flat 0.30m	Ω/km	0.195	0.194	0.187	0.181	0.160	0.158	0.156	
	Metallic sheath open	Flat	0.15m	Ω/km	0.173	0.172	0.165	0.159	0.141	0.136	0.130
			0.30m	Ω/km	0.216	0.215	0.208	0.203	0.185	0.179	0.173
		Flat 0.45m	Ω/km	0.242	0.241	0.234	0.228	0.210	0.205	0.199	
Operating capacitance				μF/km	0.14	0.16	0.18	0.19	0.22	0.23	0.27
Charging current				A/km	5.6	6.4	7.2	7.6	8.8	9.2	10.8

### Continuous current-carrying capacities

Conductor	Cables laid	Sheath circuit	Laying formation	Spacing									
Aluminium	In ground	Closed	Trefoil touching		A	622	691	764	813	973	1074	1146	
			Flat 0.15m		A	587	642	699	735	855	929	985	
		Open	Flat 0.15m		A	655	732	818	880	1068	1186	1266	
			Flat 0.45m		A	732	823	928	1008	1245	1407	1532	
	In buried ducts	Closed	Flat 0.30m		A	537	578	618	642	742	793	820	
		Open	Flat 0.30m		A	669	751	845	915	117	1256	1362	
	In air	Closed	Trefoil touching		A	850	948	1072	1162	1472	1671	1815	
			Flat 0.15m		A	903	1001	1129	1221	1351	1507	1587	
		Open	Flat 0.15m		A	952	1068	1223	1341	1707	2048	2263	
	Copper	In ground	Closed	Trefoil touching		A	765	843	921	960	1025	1181	1248
				Flat 0.15m		A	699	757	807	831	871	976	1017
Open			Flat 0.15m		A	822	918	1050	1109	1216	1410	1501	
			Flat 0.45m		A	927	1048	1212	1301	1478	1720	1886	
In buried ducts		Closed	Flat 0.30m		A	617	657	690	703	723	845	880	
		Open	Flat 0.30m		A	846	952	1097	1175	1324	1529	1665	
In air		Closed	Trefoil touching		A	1056	1191	1355	1445	1610	1889	2038	
			Flat 0.15m		A	1106	1245	1404	1495	1662	1651	1727	
		Open	Flat 0.15m		A	1200	1375	1619	1755	2020	2486	2763	

### Maximum permissible short-circuit currents for short circuit duration of one second

Aluminium conductor	kA	60.3	76.5	95.5	114.5	152.5	190.4	256.1
Copper conductor	kA	91.0	115.5	144.2	172.9	230.3	287.7	359.5
Metallic sheath	kA	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9

## Sample constructions

Rated voltages:  
 $U_0/U = 160/275$  kV  
 $U_m = 300$  kV  
 $U_p = 1050$  kV

# 300kV cables 160/275kV Single core, XLPE insulated high voltage power cables

Nominal cross-sectional area of conductor	mm <sup>2</sup>	630	800	1000	1200	1600	2000	2500
---	-----------------	-----	-----	------	------	------	------	------

### Constructional data

Outer diameter	With aluminium conductor	mm	107	107	108	111	123	126	130
	With copper conductor	mm	103	103	110	111	118	127	134
Net weight with Pb sheath	With aluminium conductor	kg/m	18.9	19.8	21.3	22.8	25.7	27.9	31.5
	With copper conductor	kg/m	23.1	25.1	27.9	30.7	36.6	41.1	48.0
Minimum bending radius during cable laying		m	2.7	2.7	2.7	2.8	3.1	3.2	3.4

### Electrical properties at 220kV and 50 Hz

Aluminium conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0469	0.0367	0.0291	0.0247	0.0186	0.0149	0.0127
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.062	0.049	0.040	0.035	0.0242	0.0197	0.0169
Copper conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0283	0.0221	0.0176	0.0151	0.0113	0.0090	0.0072
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.039	0.032	0.024	0.021	0.017	0.0134	0.0115
DC-resistance of metallic sheath at 20°C approx.				Ω/km	0.274	0.273	0.277	0.276	0.275	0.270	0.270
Reactance (approx.)	Metallic sheath closed	Trefoil touching		Ω/km	0.136	0.136	0.130	0.125	0.113	0.106	0.103
			Flat 0.15m	Ω/km	0.166	0.165	0.158	0.152	0.134	0.131	0.125
		Flat 0.30m	Ω/km	0.195	0.194	0.187	0.181	0.160	0.158	0.156	
	Metallic sheath open	Flat	0.15m	Ω/km	0.173	0.172	0.165	0.159	0.141	0.136	0.130
			0.30m	Ω/km	0.216	0.215	0.208	0.203	0.185	0.179	0.173
		Flat 0.45m	Ω/km	0.242	0.241	0.234	0.228	0.210	0.205	0.199	
Operating capacitance			μF/km	0.14	0.16	0.18	0.19	0.22	0.23	0.27	
Charging current			A/km	7.1	8.1	9.1	9.6	11.1	11.6	13.6	

### Continuous current-carrying capacities

Conductor	Cables laid	Sheath circuit	Laying formation	Spacing								
Aluminium	In ground	Closed	Trefoil touching	A	615	684	756	805	964	1064	1135	
			Flat 0.15m	A	581	636	692	726	847	920	976	
		Open	Flat 0.15m	A	648	725	812	872	1058	1175	1254	
			Flat 0.45m	A	725	815	921	998	1233	1394	1516	
	In buried ducts	Closed	Flat 0.30m	A	532	572	612	636	735	786	812	
		Open	Flat 0.30m	A	662	743	837	906	1007	1214	1349	
	In air	Closed	Trefoil touching	A	846	945	1070	1150	1462	1661	1804	
		Closed	Flat 0.15m	A	900	998	1126	1209	1348	1501	1584	
		Open	Flat 0.15m	A	949	1065	1219	1328	1701	2040	2258	
	Copper	In ground	Closed	Trefoil touching	A	757	835	912	951	1015	1170	1236
				Flat 0.15m	A	692	749	799	823	863	967	1006
			Open	Flat 0.15m	A	814	909	1040	1098	1204	1396	1485
Flat 0.45m				A	918	1045	1199	1287	1464	1703	1868	
In buried ducts		Closed	Flat 0.30m	A	611	650	683	696	718	837	872	
		Open	Flat 0.30m	A	840	942	1086	1164	1311	1514	1649	
In air		Closed	Trefoil touching	A	1053	1188	1350	1441	1602	1880	2032	
		Closed	Flat 0.15m	A	1103	1241	1399	1490	1652	1645	1723	
		Open	Flat 0.15m	A	1196	1370	1614	1748	2009	2478	2755	

### Maximum permissible short-circuit currents for short circuit duration of one second

Aluminium conductor	kA	60.3	76.5	95.5	114.5	152.5	190.4	256.1
Copper conductor	kA	91.0	115.5	144.2	172.9	230.3	287.7	359.5
Metallic sheath	kA	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9

## Sample constructions

Rated voltages:  
 $U_0/U = 200/345$  kV  
 $U_m = 362$  kV  
 $U_p = 1175$  kV

## 362kV cables 200/345kV Single core, XLPE insulated high voltage power cables

Nominal cross-sectional area of conductor	mm <sup>2</sup>	800	1000	1200	1600	2000	2500
---	-----------------	-----	------	------	------	------	------

### Constructional data

Outer diameter	With aluminium conductor	mm	110	114	117	129	134	139
	With copper conductor	mm	114	120	125	130	135	139
Net weight with Pb sheath	With aluminium conductor	kg/m	22.6	24.7	26.1	27.4	28.4	30.2
	With copper conductor	kg/m	27.9	31.3	32.1	36.5	40.9	46.4
Minimum bending radius during cable laying		m	2.9	3.0	3.2	3.3	3.4	3.5

### Electrical properties at 220kV and 50 Hz

Aluminium conductor	Max. DC-resistance	at 20°C	Ω/km	0.0367	0.0291	0.0247	0.0186	0.0149	0.0127
	AC resistance	at 90°C, approx.	Ω/km	0.0493	0.0403	0.0352	0.0242	0.0196	0.0168
Copper conductor	Max. DC-resistance	at 20°C	Ω/km	0.0221	0.0176	0.0151	0.0113	0.0090	0.0072
	AC resistance	at 90°C, approx.	Ω/km	0.0317	0.0233	0.0203	0.0158	0.0133	0.0113
DC-resistance of metallic sheath at 20°C approx.			Ω/km	0.185	0.188	0.188	0.184	0.185	0.187
Reactance (approx.)	Metallic sheath closed	Trefoil touching	Ω/km	0.133	0.126	0.121	0.117	0.112	0.108
		Flat 0.15m	Ω/km	0.159	0.148	0.144	0.136	0.130	0.124
		Flat 0.30m	Ω/km	0.187	0.174	0.170	0.163	0.157	0.151
	Metallic sheath open	Flat 0.15m	Ω/km	0.167	0.157	0.152	0.143	0.136	0.130
		Flat 0.30m	Ω/km	0.210	0.200	0.196	0.187	0.179	0.173
		Flat 0.45m	Ω/km	0.236	0.226	0.221	0.212	0.205	0.199
Operating capacitance		μF/km	0.15	0.17	0.18	0.19	0.21	0.24	
Charging current		A/km	10.9	12.2	13.0	13.7	15.2	17.4	

### Continuous current-carrying capacities

Conductor	Cables laid	Sheath circuit	Laying formation	Spacing							
Aluminium	In ground	Closed	Trefoil touching	A	690	756	804	943	1039	1095	
			Flat 0.15m	A	640	692	728	836	909	951	
		Open	Flat 0.15m	A	731	812	872	1031	1133	1206	
			Flat 0.45m	A	829	935	1014	1224	1379	1505	
	In buried ducts	Closed	Flat 0.30m	A	586	624	650	720	771	797	
		Open	Flat 0.30m	A	750	843	911	1094	1225	1327	
	In air	Closed	Trefoil touching	A	962	1089	1179	1424	1613	1751	
		Closed	Flat 0.15m	A	952	1058	1131	1276	1421	1506	
		Open	Flat 0.15m	A	1095	1265	1390	1712	1974	2200	
	Copper	In ground	Closed	Trefoil touching	A	832	910	958	1051	1128	1175
				Flat 0.15m	A	748	793	823	884	929	951
			Open	Flat 0.15m	A	905	1043	1117	1241	1334	1412
Flat 0.45m				A	1039	1219	1320	1517	1683	1848	
In buried ducts		Closed	Flat 0.30m	A	664	706	727	778	819	839	
		Open	Flat 0.30m	A	939	1096	1183	1349	1486	1617	
In air		Closed	Trefoil touching	A	1177	1352	1454	1642	1816	1951	
		Closed	Flat 0.15m	A	1119	1251	1321	1617	1552	1630	
		Open	Flat 0.15m	A	1369	1646	1807	2113	2399	2684	

### Maximum permissible short-circuit currents for short circuit duration of one second

Aluminium conductor	kA	76.5	95.5	114.5	152.5	190.4	256.1
Copper conductor	kA	115.5	144.2	172.9	230.3	287.7	359.5
Metallic sheath	kA	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8

## Sample constructions

Rated voltages:  
 $U_0/U = 230/400$  kV  
 $U_m = 420$  kV  
 $U_p = 1425$  kV

# 420kV cables 230/400kV Single core, XLPE insulated high voltage power cables

Nominal cross-sectional area of conductor	mm <sup>2</sup>	800	1000	1200	1600	2000	2500
---	-----------------	-----	------	------	------	------	------

### Constructional data

Outer diameter	With aluminium conductor	mm	110	114	117	129	134	139
	With copper conductor	mm	114	120	125	130	135	139
Net weight with Pb sheath	With aluminium conductor	kg/m	22.6	24.7	26.1	27.4	28.4	30.2
	With copper conductor	kg/m	27.9	31.3	32.1	36.5	40.9	46.4
Minimum bending radius during cable laying		m	2.9	3.0	3.2	3.3	3.4	3.5

### Electrical properties at 220kV and 50 Hz

Aluminium conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0367	0.0291	0.0247	0.0186	0.0149	0.0127
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.0493	0.0403	0.0352	0.0242	0.0196	0.0168
Copper conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0221	0.0176	0.0151	0.0113	0.0090	0.0072
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.0317	0.0233	0.0203	0.0158	0.0133	0.0113
DC-resistance of metallic sheath at 20°C approx.				Ω/km	0.185	0.188	0.188	0.184	0.185	0.187
Reactance (approx.)	Metallic sheath closed	Trefoil touching		Ω/km	0.133	0.126	0.121	0.117	0.112	0.108
			Flat 0.15m	Ω/km	0.159	0.148	0.144	0.136	0.130	0.124
		Flat 0.30m	Ω/km	0.187	0.174	0.170	0.163	0.157	0.151	
	Metallic sheath open	Flat	0.15m	Ω/km	0.167	0.157	0.152	0.143	0.136	0.130
			0.30m	Ω/km	0.210	0.200	0.196	0.187	0.179	0.173
		Flat 0.45m	Ω/km	0.236	0.226	0.221	0.212	0.205	0.199	
Operating capacitance				μF/km	0.15	0.17	0.18	0.19	0.21	0.24
Charging current				A/km	10.9	12.2	13.0	13.7	15.2	17.4

### Continuous current-carrying capacities

Conductor	Cables laid	Sheath circuit	Laying formation	Spacing									
Aluminium	In ground	Closed	Trefoil touching		A	682	748	795	933	1028	1083		
			Flat 0.15m		A	633	684	720	827	899	941		
			Flat 0.15m		A	723	803	863	1020	1121	1193		
		Open	Flat 0.45m		A	820	925	1003	1210	1364	1488		
			In buried ducts	Closed	Flat 0.30m		A	580	617	643	712	763	788
				Open	Flat 0.30m		A	742	834	901	1082	1212	1313
	In air	Closed	Trefoil touching		A	958	1085	1174	1418	1607	1744		
			Flat 0.15m		A	948	1054	1126	1271	1415	1500		
			Flat 0.15m		A	1091	1260	1384	1705	1966	2191		
		Open	In ground	Trefoil touching		A	823	900	948	1040	1116	1162	
				Flat 0.15m		A	740	784	814	874	919	941	
			Flat 0.15m		A	895	1032	1105	1227	1319	1397		
Copper	In ground	Closed	Trefoil touching		A	823	900	948	1040	1116	1162		
			Flat 0.15m		A	740	784	814	874	919	941		
			Flat 0.45m		A	1028	1206	1306	1500	1665	1828		
		Open	In buried ducts	Closed	Flat 0.30m		A	657	698	719	770	810	830
				Open	Flat 0.30m		A	929	1084	1170	1334	1470	1599
			In air	Closed	Trefoil touching		A	1172	1347	1448	1635	1809	1943
	In air	Closed	Flat 0.15m		A	1115	1246	1316	1411	1546	1624		
			Flat 0.15m		A	1364	1639	1800	2105	2389	2673		
			Open	Flat 0.15m		A	1364	1639	1800	2105	2389	2673	

### Maximum permissible short-circuit currents for short circuit duration of one second

Aluminium conductor	kA	76.5	95.5	114.5	152.5	190.4	256.1
Copper conductor	kA	115.5	144.2	172.9	230.3	287.7	359.5
Metallic sheath	kA	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8

## Sample constructions

Rated voltages:  
 $U_0/U = 290/500$  kV  
 $U_m = 550$  kV  
 $U_p = 1550$  kV

## 550kV cables 290/500kV Single core, XLPE insulated high voltage power cables

Nominal cross-sectional area of conductor	mm <sup>2</sup>	1600	2000	2500
---	-----------------	------	------	------

### Constructional data

Outer diameter	With aluminium conductor	mm	131	142	147
	With copper conductor	mm	133	142	147
Net weight with Pb sheath	With aluminium conductor	kg/m	32.1	34.1	36.2
	With copper conductor	kg/m	40.5	45.2	51.2
Minimum bending radius during cable laying		m	3.4	3.6	3.7

### Electrical properties at 66kV and 50 Hz

Aluminium conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0186	0.0149	0.0127
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.0242	0.0195	0.0168
Copper conductor	Max. DC-resistance	at 20°C		Ω/km	0.0113	0.0090	0.0072
	AC resistance	at 90°C, approx.		Ω/km	0.0158	0.0132	0.0113
DC-resistance of metallic sheath at 20°C approx.				Ω/km	0.184	0.185	0.187
Reactance (approx.)	Metallic sheath closed	Trefoil touching		Ω/km	0.119	0.115	0.111
		Flat 0.15m		Ω/km	0.136	0.130	0.124
		Flat 0.30m		Ω/km	0.162	0.157	0.151
	Metallic sheath open	Flat 0.15m		Ω/km	0.143	0.136	0.130
		Flat 0.30m		Ω/km	0.187	0.179	0.173
		Flat 0.45m		Ω/km	0.212	0.205	0.199
Operating capacitance			μF/km	0.18	0.19	0.21	
Charging current			A/km	16.5	17.7	18.9	

### Continuous current-carrying capacities

Conductor	Cables laid	Sheath circuit	Laying formation	Spacing				
Aluminium	In ground	Closed	Trefoil touching	A	914	1007	1064	
			Flat 0.15m	A	812	888	932	
		Open	Flat 0.15m	A	995	1085	1149	
			Flat 0.45m	A	1187	1337	1455	
	In buried ducts	Closed	Flat 0.30m	A	703	755	782	
		Open	Flat 0.30m	A	1058	1184	1281	
	In air	Closed	Trefoil touching	A	1403	1585	1718	
			Flat 0.15m	A	1265	1411	1490	
		Open	Flat 0.15m	A	1682	1927	2137	
	Copper	In ground	Closed	Trefoil touching	A	1017	1091	1139
				Flat 0.15m	A	857	898	918
Open			Flat 0.15m	A	1194	1271	1338	
			Flat 0.45m	A	1471	1631	1786	
In buried ducts		Closed	Flat 0.30m	A	757	801	823	
		Open	Flat 0.30m	A	1304	1434	1556	
In air		Closed	Trefoil touching	A	1618	1786	1918	
			Flat 0.15m	A	1407	1545	1619	
		Open	Flat 0.15m	A	2077	2340	2607	

### Maximum permissible short-circuit currents for short circuit duration of one second

Aluminium conductor	kA	152.5	190.4	256.1
Copper conductor	kA	230.3	287.7	359.5
Metallic sheath	kA	31.8	31.8	31.8



## Using the tables

The electrical properties and continuous current ratings apply for lead sheathed cables with our standard sheath thickness. The thickness of the metallic sheath and/or cross section of the copper wires screen can be adjusted according to the required single phase short circuit rating.

Where loading is cyclic, an appreciable increase in current capacities may be justified. Refer to IEC Publication 60853 for a calculation of the cyclic ratings.

Impedances, such as positive and negative sequence impedances and zero sequence impedance are strongly dependant on the laying configuration, metallic sheath bonding and other conductive elements parallel to the cable route. Therefore these impedances are calculated according to each situation and confirmed via measurements on completion of circuit.



## Selecting a power cable

Different kinds of power cable constructions are required to transport electrical energy from the power station to the consumer. The following factors are important when selecting a suitable cable construction:

- Maximum operating voltage
- Insulation level
- Frequency
- Load carried
- Daily load curve
- Magnitude and duration of possible overload currents phase-to-phase and phase-to-earth
- Connection between overhead and cable line (direct connection or via transformer)
- Insulation level of equipment (bare conductor insulators, arresters, etc.)
- Voltage drop
- Length of line
- Profile of line
- Mode of installation:
  - underground (ducted or non-ducted)
  - overground (if in a tunnel, the dimensions and mode of ventilation of the tunnel)
- Chemical and physical properties of the soil:
  - whether rocky, sandy, clayey or boggy; moist or dry
  - chemical agents liable to cause corrosion etc.
  - maximum thermal resistivity of the soil
- Maximum and minimum ambient air and soil temperatures, taking into account adjacent hot-water pipes and other factors liable to heat the cables
- Specifications and requirements that apply
- The cable should be economical to use; an optimum cross-sectional area can be calculated based on the capital costs of the cable and running costs incurred by the power losses in the cable.

## Voltages

### Rated Voltage

The voltage which forms the basis for certain operating characteristics and test conditions is called the rated voltage and is denoted  $U_0/U$  where

$U_0$  = the rated r.m.s. power frequency voltage between each conductor and sheath or sheath for which cables and accessories are designed.

$U$  = the rated r.m.s. power frequency voltage between any two conductors for which cables and accessories are designed.

### Operating voltage

$U_m$  = the maximum r.m.s. power-frequency voltage between any two conductors for which cables and accessories are designed.

This is the highest voltage that can be sustained under normal operating conditions at any time and at any point in a system (temporary voltage variations due to fault conditions excluded).

Relationship between  $U_0/U$  and  $U_m$  in three-phase systems are prescribed in IEC standard 60183 and USA standard C-84.

## Complete system supply

It is essential that the accessories and cables are type-tested together forming a complete system. We supply a full range of accessories and fittings for splicing and terminating as well as tools and equipment, with full installation instructions. We also provide planning and supervision of the overall system packages.

## Standards

The cables described in this catalogue are standard designs, and most have a proven operational performance record. Construction and tests are in accordance with IEC publications where applicable.

## Conductor types

The conductor sizes listed in the tables are the most commonly used types, as follows:

Copper: stranded wires up to 800mm<sup>2</sup>, Milliken up to 2500mm<sup>2</sup>.

Aluminium: solid up to 1200mm<sup>2</sup>, Milliken up to mm<sup>2</sup>

Prysmian conductor range (in mm<sup>2</sup>) is as follows:

	Copper	Aluminium
Solid	-	240-2000
Stranded	185-1000	185-2000
Milliken	1000-2500	1600-2500

## Circular Mils

In the American standards, the cross section area is expressed in Circular Mils  $A_c$ .

The relation between cross sections expressed in mm<sup>2</sup> and Circular Mils is

$$A = \frac{A_c}{1973.5} \text{ mm}^2$$

## Weights and dimensions

Weights, dimensions and data characteristics are approximate and appropriate only to the products and parameter referred to in this brochure.

## Sheath marking

Our standard embossed or surface printed outer sheath marking on round cables lists the following:

- name of manufacturer
- type designation, cross-sectional area of conductor, rated voltage and year of manufacture
- continuous length marking every metre or every few feet

Example:

EYLRvlwd 76/132kV 1x800 2009 134m



## Laying information

Permissible minimum bending radius of power cables during laying:

- during pulling of power cables, the bending radius should not fall below the values listed in the tables
- in the case of single bends (placing cables in final position), the above values may be reduced to a minimum of 20 x cable outer diameter (Milliken and stranded conductors) or even 15 x cable outer diameter (solid conductors)

During laying of power cables, particular attention must be paid to the permissible tensile force, as follows:

- permissible tensile forces when using cable pulling grips:  
 $F = 2 \times D^2$  in N for cables with copper wire sheath  
 $F = 2 \times D$  in N for cables with sheath.

D represents the cable outer diameter expressed in mm

- maximum recommended tensile forces when pulling eye is attached to the conductor:

Alu stranded:  $F = A \times 30 \text{ N/mm}^2$

Alu solid:  $F = A \times 20 \text{ N/mm}^2$

Alu Milliken:  $F = A \times 30 \text{ N/mm}^2$

Cu stranded:  $F = A \times 50 \text{ N/mm}^2$

Cu Milliken:  $F = A \times 80 \text{ N/mm}^2$

A represents the cross-sectional area of conductor expressed in  $\text{mm}^2$ .

Permissible minimum cable temperature during laying:

- With PVC outer sheath:  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$
- With PE outer sheath:  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$

At lower temperatures, the cables must be adequately warmed up beforehand. This can be done by storing the cables in a heated room for at least 24 hours or by using special equipment.

## Resistances

### Direct current resistance

The maximum DC resistance values of conductors at  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  are listed in the cable standards. The DC resistance at other conductor temperatures may be calculated based on the following equation:

$$R = R_{20} [1 + \alpha_{20} (T - 20 \text{ }^\circ\text{C})]$$

R = DC resistance at temperature t,  $\Omega/\text{km}$

$R_{20}$  = DC resistance of cond. at  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Omega/\text{km}$

T = temperature of conductor,  $^\circ\text{C}$

$\alpha_{20}$  = temperature coefficient of the resistance at  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1/^\circ\text{C}$

for copper:  $\alpha_{20} = 0.00393$

for aluminium:  $\alpha_{20} = 0.00403$

for lead:  $\alpha_{20} = 0.00400$



In the previous tables are given:

- Maximum DC resistance of conductors at  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  (in accordance with IEC60228)
- Calculated DC resistance of metallic (lead) sheath at  $20 \text{ }^\circ\text{C}$

### Effective resistance

The effective resistance (= alternating current resistance) is made up of the DC resistance and the extra resistance, which takes into account additional losses caused by the current displacement in the conductor (skin effect, proximity effect).

In the tables, the effective resistance given for the conductors at maximum conductor temperature is based on the following presumptions:

- Frequency  $50 \text{ Hz}$
- Closed sheath circuit
- Close trefoil formation

## Inductance

The inductances can be calculated for the various laying configurations using the following equation:

$$L = \frac{X}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$L$  = inductance,  $\text{mH/km}$   
 $X$  = reactance,  $\text{ohm/km}$   
 $f$  = system frequency,  $\text{Hz}$

## Operating capacitance, charging current and earth-fault current

The values for the operating capacitance of the cables are average values based on measurements and calculations. The values for the charging current are valid at a temperature of  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , at a frequency of  $50 \text{ Hz}$  and at the rated voltage for the cable. The capacitance, charging current and earth-fault current values will not change when using XLPE insulated cables where the temperature rises from  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  to the maximum permissible continuous conductor temperature.

## Continuous Current-carrying Capacity

A separate group of three single core cables can be continuously loaded according to the tables if the presumptions below are applied. Correction factors for other installations are given in Tables 1 to 7. The current-carrying capacities are calculated in accordance with the formula given in IEC Document 60287 and based on the following presumptions:

### Presumptions

- On three-phase group of single core cables
- Maximum permissible temperature of inner conductor in continuous use:
- XLPE insulated cables – 90 °C
- Ambient air temperature – 35 °C
- Ground temperature – 25 °C
- Depth of laying of cables – 1 m
- Thermal resistivity of soil – 1.2 K.m/W
- Overground cables: naturally ventilated and solar radiation protected
- Open sheath circuit in single core cable group: circuit of metal sheaths, concentric conductors or metallic sheaths connected to each other and earthed at one point only = sheath bonded at single point. In addition, sheath circuit is considered open when cross-bonded at equal intervals.
- Closed sheath circuit in single core cable group = circuit of metal sheaths, concentric conductors or metallic sheaths connected to each other at both ends of the group and earthed at least at both ends = sheaths are solid bonded.

### XLPE-insulated cables buried directly in ground

XLPE-insulated cables can be continuously loaded to a conductor temperature of 90 °C. In underground installations, if a cable in the ground is continuously operated at this highest rated conductor temperature, the thermal resistivity of the soil surrounding the cable may in the course of time increase from its original value as result of the drying-out processes. In consequence, the conductor temperature may greatly exceed the highest rated value with an unchanged cable load.

A temporary overload conductor temperature of 105 °C is allowable, but should be evaluated on a case-by-case basis

## Short-circuit current capacity

When planning cable installations, care must be taken to ensure that the selected cables and fittings are capable of withstanding the expected dynamic and thermal short-circuit stresses.

The dynamic stresses depend on the maximum asymmetric short-circuit current, whereas the thermal stresses depend on the mean short-circuit current.

### Thermal stresses

In the previous tables, the maximum permissible short circuit currents for short-circuit durations of one second and the values are based on the following presumptions:

- Before short circuit, the temperature of conductors = maximum permissible temperature of conductor in continuous use (i.e.: 90 °C)
- The maximum permissible temperature of a conductor in short circuit is 250 °C for XLPE insulated cables, and 210 °C for the metallic sheath.
- The permissible short circuit currents for a short-circuit duration of 0.2 to 5 seconds may be calculated by multiplying the value of the maximum permissible short-circuit current for a short-circuit duration of one second by the figure  $1/\sqrt{t}$ , whereas  $t$  is the duration of short-circuit in seconds



If site conditions are different from the standard conditions that apply for calculating the cable ratings, correction factors should be applied to the tabulated values of current ratings.





#### Rating factors for variations in ground temperature

Ground temperature °C	15	20	25	30	35	40	45
Rating factor	1.07	1.04	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83

#### Rating factors for variations in ambient air temperature

Air temperature °C	20	25	30	35	40	45	50
Rating factor	1.14	1.10	1.05	1.00	0.95	0.90	0.84

#### Rating factors for variations in thermal resistivity of soil and number of groups for single core cables

	Axial separation of groups	Thermal resistivity of soil K.m/W	Number of groups			
			1	2	3	4
Cables in trefoil touching formation, laid direct in ground. Axial separation of groups 0.35m. Solid bonded sheaths.		0.9	1.13	0.93	0.81	0.75
		1.2	1.00	0.82	0.71	0.65
		1.5	0.91	0.74	0.63	0.59
		1.8	0.84	0.68	0.58	0.53
		2.1	0.78	0.63	0.54	0.49
		2.4	0.73	0.59	0.50	0.46
Cables in horizontal formation, laid direct in ground. Axial separation of cables 0.15m. Axial separation of groups 0.60m. Solid bonded and single point bonded sheaths.		0.9	1.12	0.97	0.86	0.82
		1.2	1.00	0.85	0.76	0.72
		1.5	0.91	0.77	0.68	0.65
		1.8	0.84	0.71	0.63	0.59
		2.1	0.78	0.66	0.58	0.55
		2.4	0.73	0.62	0.54	0.51
Cables in horizontal formation, laid direct in ground. Axial separation of cables 0.45m. Axial separation of groups 1.35m. Single point bonded sheaths.		0.9	1.11	1.01	0.94	0.91
		1.2	1.00	0.91	0.83	0.81
		1.5	0.92	0.83	0.77	0.74
		1.8	0.85	0.76	0.70	0.68
		2.1	0.80	0.71	0.65	0.63
		2.4	0.75	0.67	0.61	0.59
Cables laid in single way ducts in ground. Horizontal axial separation of ducts 0.30m. Axial separation of groups 0.90m. Solid bonded and single point bonded sheaths.		0.9	1.09	0.96	0.90	0.86
		1.2	1.00	0.87	0.81	0.77
		1.5	0.93	0.80	0.73	0.70
		1.8	0.86	0.74	0.68	0.65
		2.1	0.81	0.69	0.64	0.61
		2.4	0.77	0.60	0.60	0.57



### **Bijlage 3: Grondmechanische parameters**

<b>Omschrijving</b>	<b>Datum</b>
• Berekening grondmechanische parameters enkele kabel	02-09-2015
• Berekening grondmechanische parameters kabelbundels	02-09-2015

## Bepaling grondmechanische parameters

Conform NEN 3650-1: 2012

Versie 4.9, d.d. 26-11-2014



Project: Windpark Fryslan  
Opdrachtgever: Fugro GeoServices B.V.  
Ordernummer: T48728.00  
Case: Enkele kabel zand 1 m  
Datum: 02-09-15

Invoer grondgegevens		Invoer leidinggegevens	
Grondsoort	<b>zand</b>	Medium	
Bijmengsel	<b>schoon</b>	Dichtheid medium	$\rho_{me}$ 1751,0 kg/m <sup>3</sup>
Consistentie	<b>vast</b>	Leiding	
Uitvoeringsmethode	<b>open ontgraving</b>	Uitwendige diameter leiding	$D_l$ 150,0 mm
		Wanddikte	$w_l$ 15,0 mm
		Dichtheid leiding materiaal	$\rho_l$ 930,0 kg/m <sup>3</sup>

Invoer locatie		
Gronddekking	H	1,00 m
Hoogte droge grond	$H_d$	7,00 m - mv
Grondwaterniveau	$H_w$	7,00 m - mv

### Grondeigenschappen (conform NEN3650-1:2012, tabel B.1 en NEN6740:1991, tabel 1)

Volumegewicht droog	$\gamma_d$	20 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht nat	$\gamma_n$	22 kN/m <sup>3</sup>
Elasticiteitsmodulus genormeerd op een effectieve verticale spanning van 100 kPa	$E_{100}$	95 MN/m <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus van de sleufaanvulling boven de buis.	$E_1$	32 MN/m <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus onder de buis	$E_3$	35 MN/m <sup>2</sup>
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	38 °
Wrijvingshoek buis/grond	$\delta$	25 °
Gedraineerde cohesie	$c'$	0 kN/m <sup>2</sup>
Ongedraineerde cohesie	$c_u$	0 kN/m <sup>2</sup>

### Grondparameter (berekend conform NEN 3650-1:2012)

	(Factor nog niet meegenomen in grondparameter)			
	Hoog / laag	Factor		incl. $D_{iso}/D_l$
Horizontale beddingsconstante	H	1,7	KLH	0,0529 N/mm <sup>3</sup>
Verticale beddingsconstante, omlaag	H	2,0	KLS	0,1584 N/mm <sup>3</sup>
Verticale beddingsconstante, omhoog	H	1,4	KLT	0,0288 N/mm <sup>3</sup>
Wrijving	L	1,136	F	0,0070 N/mm <sup>2</sup>
Axiale verplaatsing	H	1,6	UF	2 mm
Verticaal evenwichtsdraagvermogen	H	2,0	RVS	1,3622 N/mm <sup>2</sup>
Passieve grondlast	H	1,5	RVT	0,0594 N/mm <sup>2</sup>
Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	H	1,6	RH	0,4335 N/mm <sup>2</sup>
Neutrale grondlast	H	1,1	SOILNB	0,0198 N/mm <sup>2</sup>

### Verkeersbelasting (conform NEN-EN 1991-2:2011)

Wegkruising belastingsmodel 3 (grafiek I)	0,0541 N/mm <sup>2</sup>
Wegkruising belastingsmodel 2 (grafiek II)	0,0321 N/mm <sup>2</sup>
Leiding in open veld (0,5 x grafiek II)	0,0161 N/mm <sup>2</sup>



## Bepaling grondmechanische parameters

Conform NEN 3650-1: 2012

Versie 4.9, d.d. 26-11-2014



Project: Windpark Fryslan  
Opdrachtgever: Fugro GeoServices B.V.  
Ordernummer: T48728.00  
Case: Enkele kabel zand 1,5 m  
Datum: 02-09-15

Invoer grondgegevens		Invoer leidinggegevens	
Grondsoort	<b>zand</b>	Medium	
Bijmengsel	<b>schoon</b>	Dichtheid medium	$\rho_{me}$ 1751,0 kg/m <sup>3</sup>
Consistentie	<b>vast</b>	Leiding	
Uitvoeringsmethode	<b>open ontgraving</b>	Uitwendige diameter leiding	$D_i$ 150,0 mm
		Wanddikte	$w_i$ 15,0 mm
		Dichtheid leiding materiaal	$\rho_i$ 930,0 kg/m <sup>3</sup>

Invoer locatie		
Gronddekking	H	1,50 m
Hoogte droge grond	$H_d$	7,00 m - mv
Grondwaterniveau	$H_w$	7,00 m - mv

### Grondeigenschappen (conform NEN3650-1:2012, tabel B.1 en NEN6740:1991, tabel 1)

Volumegegewicht droog	$\gamma_d$	20 kN/m <sup>3</sup>
Volumegegewicht nat	$\gamma_n$	22 kN/m <sup>3</sup>
Elasticiteitsmodulus genormeerd op een effectieve verticale spanning van 100 kPa	$E_{100}$	95 MN/m <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus van de sleufaanvulling boven de buis.	$E_1$	42 MN/m <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus onder de buis	$E_3$	44 MN/m <sup>2</sup>
Hoek van inwendige wrijving	$\varphi$	38 °
Wrijvingshoek buis/grond	$\delta$	25 °
Gedraineerde cohesie	$c'$	0 kN/m <sup>2</sup>
Ongedraineerde cohesie	$c_u$	0 kN/m <sup>2</sup>

### Grondparameter (berekend conform NEN 3650-1:2012)

	(Factor nog niet meegenomen in grondparameter)			
	Hoog / laag	Factor		incl. $D_{iso}/D_i$
Horizontale beddingsconstante	H	1,7	KLH	0,0671 N/mm <sup>3</sup>
Verticale beddingsconstante, omlaag	H	2,0	KLS	0,2931 N/mm <sup>3</sup>
Verticale beddingsconstante, omhoog	H	1,4	KLT	0,0805 N/mm <sup>3</sup>
Wrijving	L	1,136	F	0,0102 N/mm <sup>2</sup>
Axiale verplaatsing	H	1,6	UF	2 mm
Verticaal evenwichtsdraagvermogen	H	2,0	RVS	1,9784 N/mm <sup>2</sup>
Passieve grondlast	H	1,5	RVT	0,1183 N/mm <sup>2</sup>
Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	H	1,6	RH	0,7456 N/mm <sup>2</sup>
Neutrale grondlast	H	1,1	SOILNB	0,0296 N/mm <sup>2</sup>

### Verkeersbelasting (conform NEN-EN 1991-2:2011)

Wegkruising belastingsmodel 3 (grafiek I)	0,0335 N/mm <sup>2</sup>
Wegkruising belastingsmodel 2 (grafiek II)	0,0168 N/mm <sup>2</sup>
Leiding in open veld (0,5 x grafiek II)	0,0084 N/mm <sup>2</sup>

## Bepaling grondmechanische parameters

Conform NEN 3650-1: 2012

Versie 4.9, d.d. 26-11-2014



Project: Windpark Fryslan  
Opdrachtgever: Fugro GeoServices B.V.  
Ordernummer: T48728.00  
Case: Kabelbundel zand 1 m  
Datum: 02-09-15

### Invoer grondgegevens

Grondsoort **zand**  
Bijmengsel **schoon**  
Consistentie **vast**  
Uitvoeringsmethode **open ontgraving**

### Invoer locatie

Gronddekking H **1,00 m**  
Hoogte droge grond  $H_d$  **7,00 m - mv**  
Grondwaterniveau  $H_w$  **7,00 m - mv**

### Invoer leidinggegevens

Medium  
Dichtheid medium  $\rho_{me}$  **328,6 kg/m<sup>3</sup>**  
Leiding  
Uitwendige diameter leiding  $D_l$  **300,0 mm**  
Wanddikte  $w_l$  **4,4 mm**  
Dichtheid leiding materiaal  $\rho_l$  **930,0 kg/m<sup>3</sup>**

### Grondeigenschappen (conform NEN3650-1:2012, tabel B.1 en NEN6740:1991, tabel 1)

Volumegewicht droog	$\gamma_d$	20 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht nat	$\gamma_n$	22 kN/m <sup>3</sup>
Elasticiteitsmodulus genormeerd op een effectieve verticale spanning van 100 kPa	$E_{100}$	95 MN/m <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus van de sleufaanvulling boven de buis.	$E_1$	32 MN/m <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus onder de buis	$E_3$	38 MN/m <sup>2</sup>
Hoek van inwendige wrijving	$\varphi$	38 °
Wrijvingshoek buis/grond	$\delta$	25 °
Gedraineerde cohesie	$c'$	0 kN/m <sup>2</sup>
Ongedraineerde cohesie	$c_u$	0 kN/m <sup>2</sup>

### Grondparameter (berekend conform NEN 3650-1:2012)

	(Factor nog niet meegenomen in grondparameter)			
	Hoog / laag	Factor		incl. $D_{iso}/D_l$
Horizontale beddingsconstante	H	1,7	KLH	0,0341 N/mm <sup>3</sup>
Verticale beddingsconstante, omlaag	H	2,0	KLS	0,0942 N/mm <sup>3</sup>
Verticale beddingsconstante, omhoog	H	1,4	KLT	0,0069 N/mm <sup>3</sup>
Wrijving	L	1,136	F	0,0074 N/mm <sup>2</sup>
Axiale verplaatsing	H	1,6	UF	2 mm
Verticaal evenwichtsdraagvermogen	H	2,0	RVS	1,4929 N/mm <sup>2</sup>
Passieve grondlast	H	1,5	RVT	0,0403 N/mm <sup>2</sup>
Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	H	1,6	RH	0,3596 N/mm <sup>2</sup>
Neutrale grondlast	H	1,1	SOILNB	0,0201 N/mm <sup>2</sup>

### Verkeersbelasting (conform NEN-EN 1991-2:2011)

Wegkruising belastingsmodel 3 (grafiek I)	0,0535 N/mm <sup>2</sup>
Wegkruising belastingsmodel 2 (grafiek II)	0,0317 N/mm <sup>2</sup>
Leiding in open veld (0,5 x grafiek II)	0,0159 N/mm <sup>2</sup>

## Bepaling grondmechanische parameters

Conform NEN 3650-1: 2012

Versie 4.9, d.d. 26-11-2014



Project: Windpark Fryslan  
Opdrachtgever: Fugro GeoServices B.V.  
Ordernummer: T48728.00  
Case: Kabelbundel zand 1,5 m  
Datum: 02-09-15

### Invoer grondgegevens

Grondsoort **zand**  
Bijmengsel **schoon**  
Consistentie **vast**  
Uitvoeringsmethode **open ontgraving**

### Invoer locatie

Gronddekking H **1,50 m**  
Hoogte droge grond  $H_d$  **7,00 m - mv**  
Grondwaterniveau  $H_w$  **7,00 m - mv**

### Invoer leidinggegevens

Medium  
Dichtheid medium  $\rho_{me}$  **328,6 kg/m<sup>3</sup>**  
Leiding  
Uitwendige diameter leiding  $D_l$  **300,0 mm**  
Wanddikte  $w_l$  **4,4 mm**  
Dichtheid leiding materiaal  $\rho_l$  **930,0 kg/m<sup>3</sup>**

### Grondeigenschappen (conform NEN3650-1:2012, tabel B.1 en NEN6740:1991, tabel 1)

Volumegewicht droog	$\gamma_d$	20 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht nat	$\gamma_n$	22 kN/m <sup>3</sup>
Elasticiteitsmodulus genormeerd op een effectieve verticale spanning van 100 kPa	$E_{100}$	95 MN/m <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus van de sleufaanvulling boven de buis.	$E_1$	42 MN/m <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus onder de buis	$E_3$	47 MN/m <sup>2</sup>
Hoek van inwendige wrijving	$\varphi$	38 °
Wrijvingshoek buis/grond	$\delta$	25 °
Gedraineerde cohesie	$c'$	0 kN/m <sup>2</sup>
Ongedraineerde cohesie	$c_u$	0 kN/m <sup>2</sup>

### Grondparameter (berekend conform NEN 3650-1:2012)

	(Factor nog niet meegenomen in grondparameter)			
	Hoog / laag	Factor		incl. $D_{iso}/D_l$
Horizontale beddingsconstante	H	1,7	KLH	0,0443 N/mm <sup>3</sup>
Verticale beddingsconstante, omlaag	H	2,0	KLS	0,1655 N/mm <sup>3</sup>
Verticale beddingsconstante, omhoog	H	1,4	KLT	0,0180 N/mm <sup>3</sup>
Wrijving	L	1,136	F	0,0106 N/mm <sup>2</sup>
Axiale verplaatsing	H	1,6	UF	2 mm
Verticaal evenwichtsdraagvermogen	H	2,0	RVS	2,1085 N/mm <sup>2</sup>
Passieve grondlast	H	1,5	RVT	0,0747 N/mm <sup>2</sup>
Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	H	1,6	RH	0,5957 N/mm <sup>2</sup>
Neutrale grondlast	H	1,1	SOILNB	0,0299 N/mm <sup>2</sup>

### Verkeersbelasting (conform NEN-EN 1991-2:2011)

Wegkruising belastingsmodel 3 (grafiek I)	0,0334 N/mm <sup>2</sup>
Wegkruising belastingsmodel 2 (grafiek II)	0,0167 N/mm <sup>2</sup>
Leiding in open veld (0,5 x grafiek II)	0,0084 N/mm <sup>2</sup>

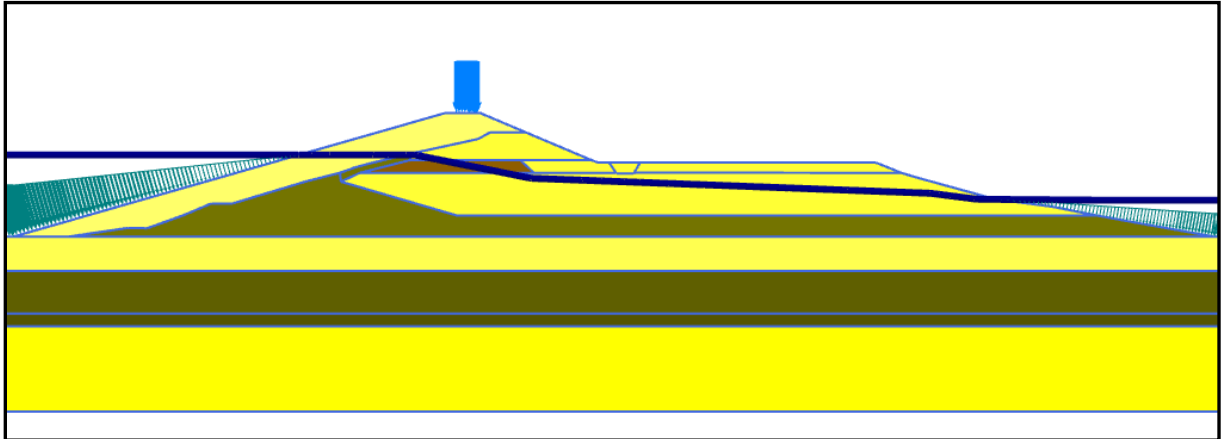
Tebodin Netherlands B.V.  
Hoogspanningskabels in de Afsluitdijk  
Liggerberekningen  
Ordernummer: 48728.00  
Documentnummer: 48728-00-1931001  
Revisie: A2  
14 september 2015

#### **Bijlage 4: Zettingsberekningen Fugro**

<b>Documentnummer</b>	<b>Omschrijving</b>	<b>Revisie</b>	<b>Datum</b>
-	Grond-kabelinteractie	-	27-08-2015
1013-0226-005	Bijlage 4 - Plaxis	-	27-08-2015

## Grond-kabelinteractie

Er kunnen vervormingen optreden in de Afsluitdijk tijdens het optreden van hoog water en door verhoging van de tuimeldijk. Er treedt dan zogenaamde liggerwerking op, omdat de kabel als stijf element fungeert in een 'bewegende' dijk. Hoe groter deze deformaties zijn en hoe korter de afstand is waarover ze optreden, hoe hoger de spanningen zijn in de kabels.



*Figuur 1 – Doorsnede Afsluitdijk in Plaxischematisatie met hoogwater in Waddenzee*

Met behulp van het eindige elementen model Plaxis is berekend hoe groot de vervormingen in de dam kunnen zijn bij twee scenario's:

1. Maatgevend hoog water tegen de dijk.
2. Maximale verhoging van de tuimeldijk.

Er is een representatief profiel van de Afsluitdijk gekozen. De grondparameters zijn geschematiseerd aan de hand van representatieve sonderingen. Uit de gemeten conusweerstand zijn door middel van correlaties stijfheden bepaald. Er is gerekend met het Hardening Soil Model. Voor achtergronden van de Plaxisberekening wordt verwezen naar de bijlage.

Uit de berekening blijkt dat de verhoging van de tuimeldijk maatgevend is voor de grondvervormingen bij de kabels. Dit vormt een bovengrensbenadering, omdat de uitgangspunten voor de verhoging conservatief zijn gekozen. Er worden vervormingen berekend bij de kabels ten gevolge van de verhoging van de tuimeldijk van circa 0,03 m. De onzekerheid van deze prognose bedraagt +/- 30%. Bij het ontwerp van kabels is het niet ongebruikelijk dat met dit soort vervormingen rekening wordt gehouden.

Benadrukt wordt dat in het definitief ontwerp van de kabel conform NEN 3650 alle mogelijke vervormingen van de kabel moeten worden beschouwd. Daaronder vallen ook uitvoeringszettingen en vervormingen van de kabel in dwars- en lengterichting door thermische uitzetting. Deze zaken zijn echter niet specifiek voor een dijk.

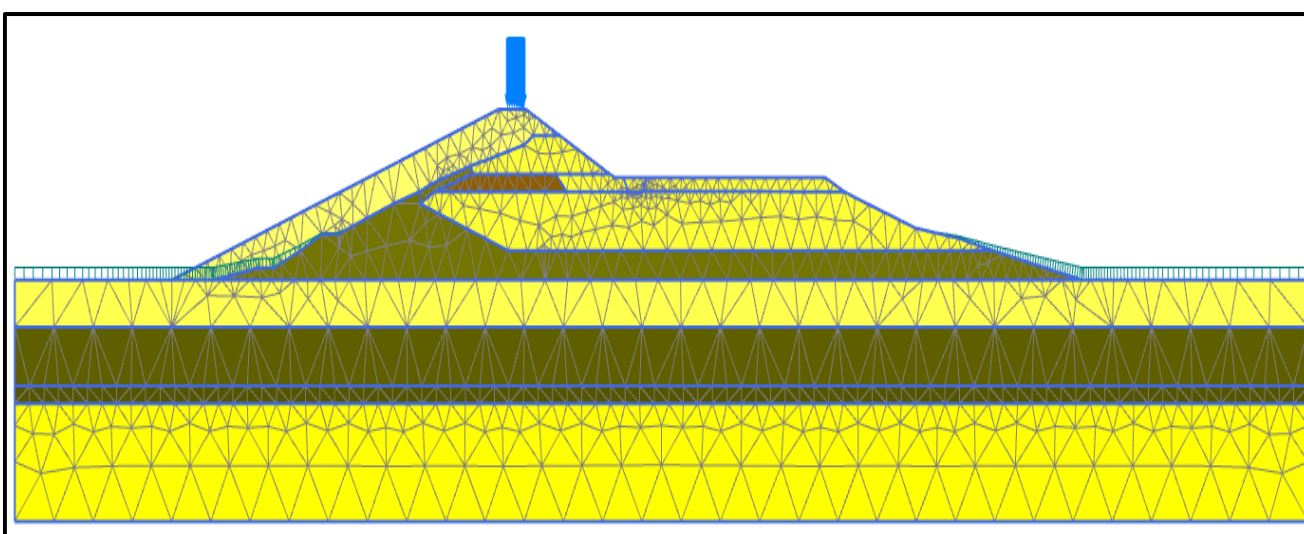
Aangezien met de bepaalde maximale vervorming in het ontwerp van de kabel rekening kan worden gehouden, hoeft bij de veiligheidsbeschouwing van de dijk geen rekening te worden gehouden met een verhoogde faalkans van de kabel.

Tabel: Bodemopbouw (sondering Q-1837 DKM39)

Level [m NAP]		Layer
Top	Bottom	Material
10	7.75	ZAND los gepakt (ophoging)
7.75	4.2	ZAND vast gepakt (dijk)
4.2	3	VEEN matig (dijk)
3	-2	ZAND vast gepakt (dijk)
-2	-4.5	KLEI siltig, keileem (dijk)
-4.5	-8.5	ZAND matig vast gepakt (afzetting)
-8.5	-13.5	KLEI slap (afzetting)
-13.5	-15	KLEI zwak humeus (afzetting)
-15	-25	ZAND zeer vast gepakt (afzetting)

Tabel: Geometrie Afsluitdijk

Grondvlakken
_polygon (-19.309 -4.5) (-12.252 -3.461) (-10 -3.5) (-5.81 -2) (-2.5 -0.6) (0 -0.6) (0.195 -0.541) (0.613 -0.415) (8.625 2) (12.585 3) (12.676 1.969) (26.231 -2) (31.395 -2) (32 -2) (47.175 -2) (101.127 -2) (114.97 -4.5) (56.44 -4.5) (32 -4.5)
_polygon (12.676 1.969) (14.935 3) (32 3) (35.313 3) (44.902 3) (44.972 2.92) (46.97 2.92) (47.02 3.005) (78.27 3) (79.92 2.5) (89.3 -0.1) (95.909 -0.959) (101.127 -2) (47.175 -2) (32 2) (31.395 -2) (26.231 -2)
_polygon (47.02 3.005) (47.718 4.2) (47.969 4.2) (48.094 4.2) (51.3 4.2) (75.3 4.2) (78.27 3)
_polygon (14.935 3) (20.849 4.5) (32 4.5) (33.635 4.5) (35.313 3) (32 3)
_polygon (33.635 4.5) (41.983 4.5) (42.8 4.2) (44.064 4.2) (44.902 3) (35.313 3)
_polygon (12.585 3) (14.227 3.589) (15.357 3.91) (15.675 4) (15.804 4.032) (17.725 4.5) (20.525 5.2) (20.849 4.5) (14.935 3) (12.676 1.969)
_polygon (20.525 5.2) (23 5.7) (23.635 5.84) (28.774 6.973) (30.166 7.75) (32 7.75) (33.325 7.75) (34.3 7.75) (41.983 4.5) (33.635 4.5) (32 4.5) (20.849 4.5)
_polygon (-25.701 -4.5) (24.866 10) (29 10) (34.3 7.75) (33.325 7.75) (32 7.75) (30.166 7.75) (28.774 6.973) (23.635 5.84) (23 5.7) (20.525 5.2) (17.725 4.5) (15.804 4.032) (15.675 4) (15.357 3.91) (14.227 3.589) (12.585 3) (8.625 2) (0.613 -0.415) (0.195 -0.541) (0 -0.6) (-2.5 -0.6) (-5.81 -2) (-10 -3.5) (-12.252 -3.461) (-19.309 -4.5)
_polygon (44.064 4.2) (47.718 4.2) (47.02 3.005) (46.97 2.92) (44.972 2.92) (44.902 3)
Grondwater
_waterlevel (-50 5.1) (5.936 5.1) (21.332 5.1) (34.911 2.362) (48.157 1.863) (81.715 0.598) (87.194 -0.1) (100.466 -0.2) (150 -0.2)



Figuur: Gehanteerde mesh

Tabel: Bodemschematisatie (sondering Q-1837 DKM39)

Bk laag	Lg	Classificatie	yunsat	ysat	ow;incr	c'	φ'	pref	α = Eoed/qc	m	Eoed;ref	K0nc	v'ur	OCR	POP	E50;ref/Eoed;re	Eur/E50
[m NAP]	[-]	[Naam]	[kN/m3]	[kN/m3]	[kPa/m]	[kPa]	[°]	[kN/m2]	[-]	[-]	[kN/m2]	[-]	[-]	[-]	[kPa]	[-]	[-]
10	1	ZAND los gepakt (ophoging)	17	19	10	0.1	30	100	3	0.5	12,500	0.50	0.2	1.0	0	1.0	3
7.75	2	ZAND vast gepakt (dijk)	18	20	10	0.1	32	100	3	0.5	34,000	0.47	0.2	1.0	0	1.0	3
4.2	3	VEEN matig (dijk)	12	12	10	0.1	15	100	1	0.9	1,500	0.70	0.2	1.0	0	2.0	5
3	4	ZAND vast gepakt (dijk)	18	20	10	0.1	32	100	3	0.5	34,000	0.47	0.2	1.0	0	1.0	3
-2	5	KLEI siltig, keileem (dijk)	16	18	10	1	22.5	100	3	0.9	4,500	0.62	0.2	1.0	0	2.0	3
-4.5	6	ZAND matig vast gepakt (afzetting)	17	19	10	0.1	32	100	3	0.5	20,000	0.47	0.2	1.0	0	1.0	3
-8.5	7	KLEI slap (afzetting)	15	15	10	1	19	100	3	0.9	2,250	0.67	0.2	1.0	0	2.0	4
-13.5	8	KLEI zwak humeus (afzetting)	15	15	10	0.1	17.5	100	1.75	0.9	2,500	0.70	0.2	1.0	0	2.0	4
-15.0	9	ZAND zeer vast gepakt (afzetting)	19	21	10	0.1	35	100	3	0.5	45,000	0.43	0.2	1.0	0	1.0	3

GWS
[m NAP]
-0.2

$$E_{oed}^{ref} = \alpha \cdot q_c \left( \frac{p'_{ref}}{\sigma'_{v;0}} \right)^m$$

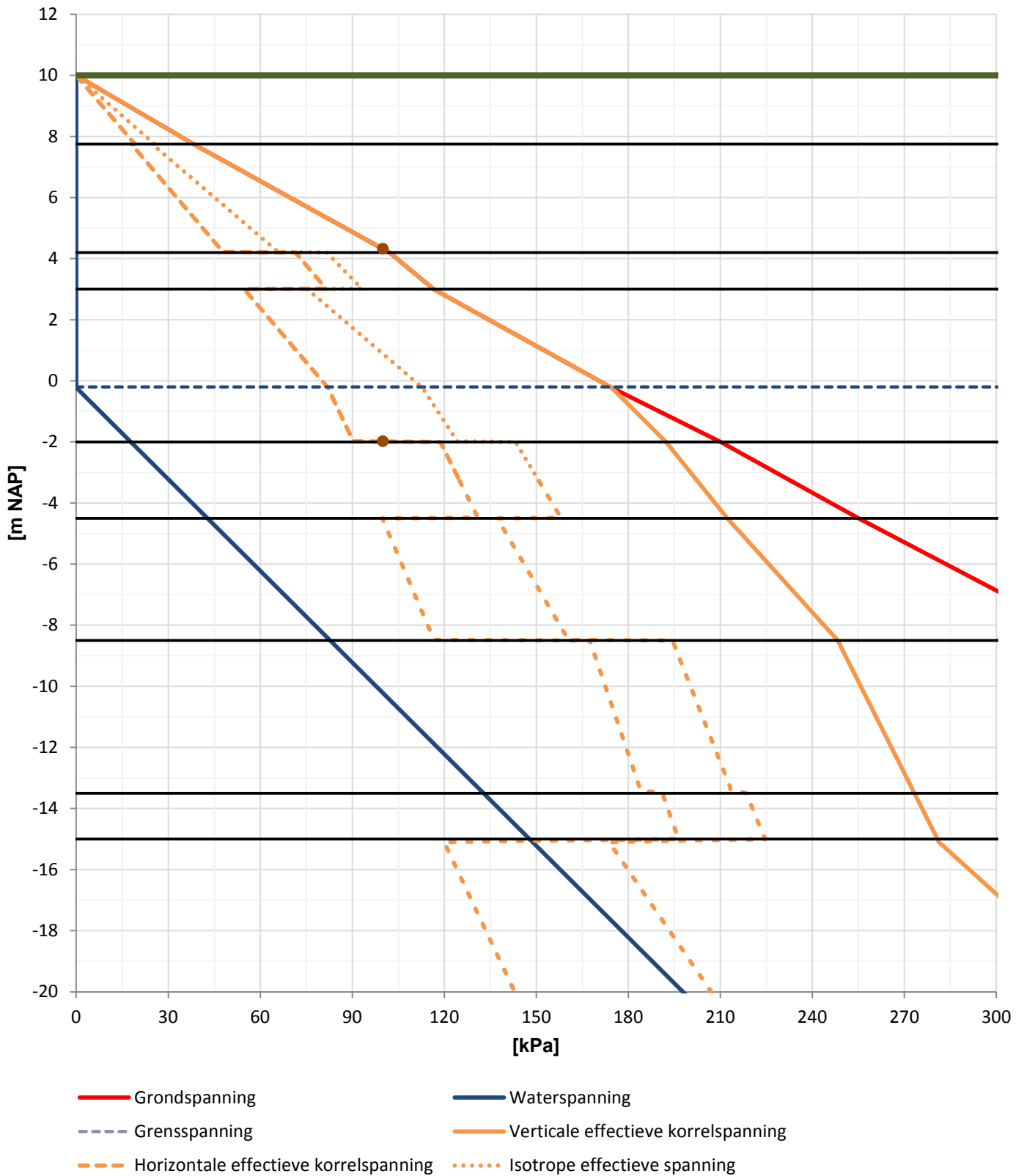
Tabel: Materiaal parameters (a)

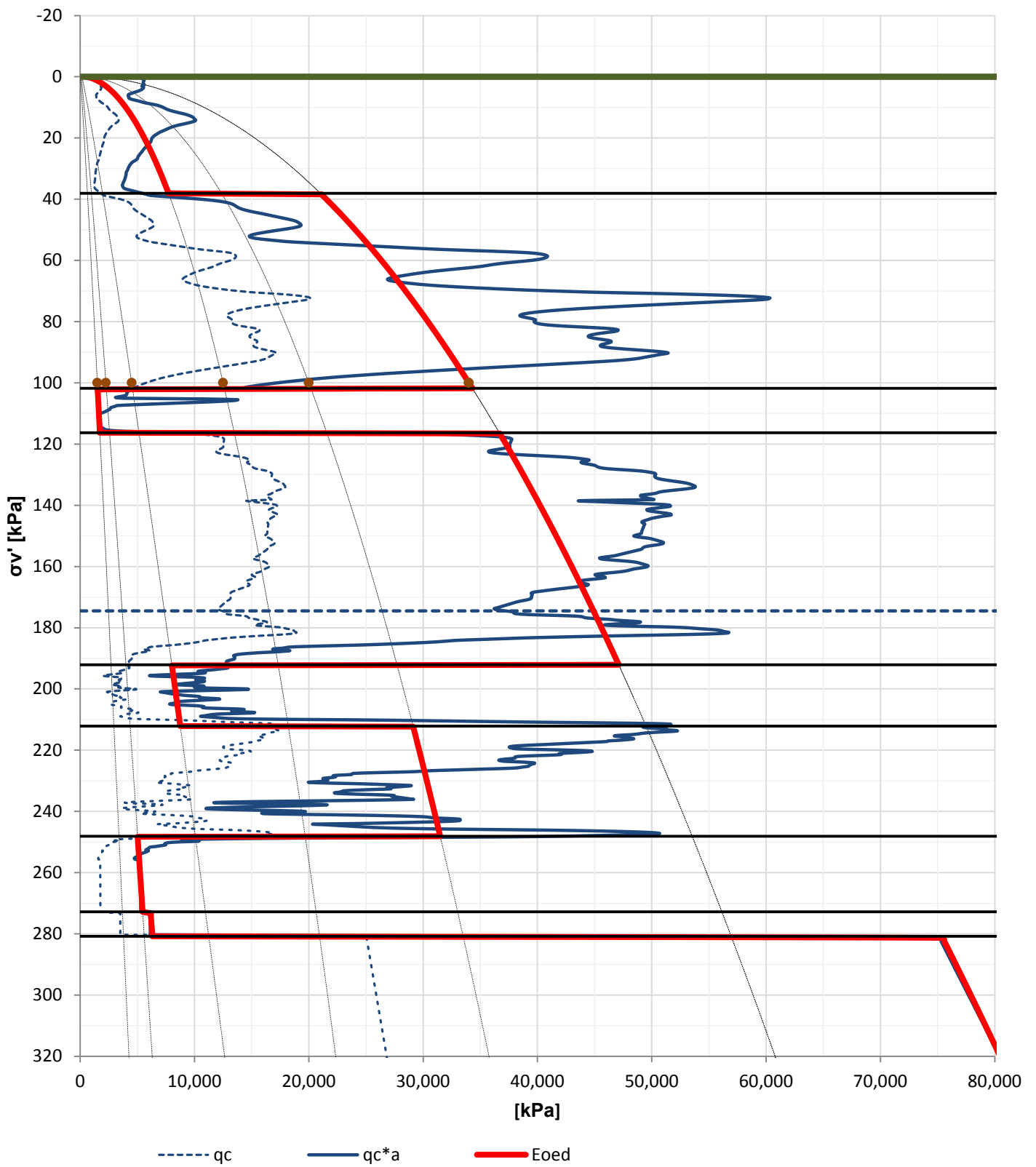
Parameter	Symbol	Unit	Value			
<b>General</b>						
<u>Material set</u>						
Identification			ZAND los gepakt (ophoging)	ZAND vast gepakt (dijk)	VEEN matig (dijk)	KLEI siltig, keileem (dijk)
Material model			Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil
Drainage type			Drained	Drained	Drained	Undrained (A)
Colour	R/G/B		255 / 255 / 100	255 / 255 / 50	140 / 90 / 0	110 / 110 / 0
<u>General properties</u>						
Unit weight above phreatic level	yunsat	kN/m3	17	18	12	16
Unit weight below phreatic level	ysat	kN/m3	19	20	12	18
<u>Void ratio</u>						
Dilatancy cut-off			No	No	No	No
<b>Parameters</b>						
<u>Stiffness</u>						
Drained triaxial test stiffness	E50ref	kN/m2	12,500	34,000	3,000	9,000
Primary loading oedometer stiffness	Eoedref	kN/m2	12,500	34,000	1,500	4,500
Unloading / reloading stiffness	Eurref	kN/m2	37,500	102,000	15,000	27,000
Stress-level dependency of stiffness	m	-	0.5	0.5	0.9	0.9
<u>Alternatives</u>						
Use alternatives			No	No	No	No
<u>Strength</u>						
Effective cohesion	c' ref	kN/m2	0.1	0.1	0.1	1
Effective friction angle	φ'	°	30	32	15	22.5
Dilatancy angle	ψ	°	0	2	0	0
<u>Advanced</u>						
Set to default values			Yes	Yes	Yes	Yes
<b>Flow parameters</b>						
<u>Parameters</u>						
Horizontal permeability	kx	m/day	0.6	0.6	0.08001	0.15
Vertical permeability	ky	m/day	0.6	0.6	0.08001	0.15
Initial void ratio	einit	-	0.5	0.5	0.5	0.5
Change of permeability	ck	-	1.E+15	1.E+15	1.E+15	1.E+15
<b>Interfaces</b>						
<u>Strength</u>						
Consider gap closure			Rigid Yes	Rigid Yes	Rigid Yes	Rigid Yes
<b>Initial</b>						
<u>Ko settings</u>						
Ko determination			Automatic	Automatic	Manual	Automatic
Lateral earth pressure coefficient	K0,x	-	0.5000	0.4701	0.7	0.6173
<u>Overconsolidation</u>						
Over-consolidation ratio	OCR	-	1.0	1.0	1.0	1.0

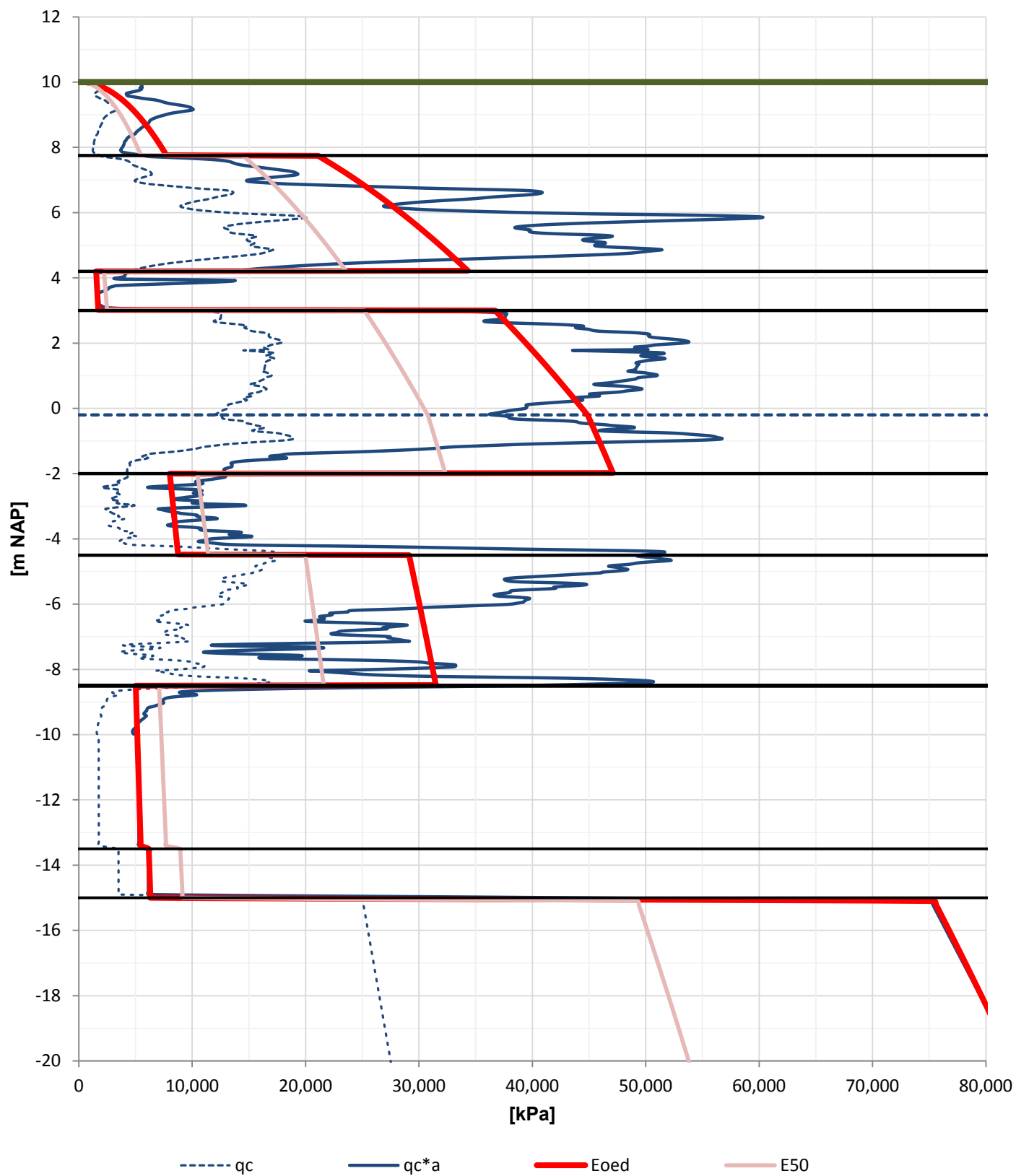


Tabel: Materiaal parameters (b)

Parameter	Symbol	Unit	Value			
<b>General</b>						
<u>Material set</u>						
Identification			ZAND matig vast gepakt	KLEI slap (afzetting)	KLEI zwak humeus	ZAND zeer vast gepakt
Material model			Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil
Drainage type			Drained	Undrained (A)	Undrained (A)	Drained
Colour	R/G/B		255 / 255 / 75	90 / 90 / 0	80 / 80 / 0	255 / 255 / 0
<u>General properties</u>						
Unit weight above phreatic level	yunsat	kN/m3	17	15	15	19
Unit weight below phreatic level	ysat	kN/m3	19	15	15	21
<u>Void ratio</u>						
Dilatancy cut-off			No	No	No	No
<b>Parameters</b>						
<u>Stiffness</u>						
Drained triaxial test stiffness	E50ref	kN/m2	20,000	4,500	5,000	45,000
Primary loading oedometer stiffness	Eoedref	kN/m2	20,000	2,250	2,500	45,000
Unloading / reloading stiffness	Eurref	kN/m2	60,000	18,000	20,000	135,000
Stress-level dependency of stiffness	m	-	0.5	0.9	0.9	0.5
<u>Alternatives</u>						
Use alternatives			No	No	No	No
<u>Strength</u>						
Effective cohesion	c' ref	kN/m2	0.1	1	0.1	0.1
Effective friction angle	φ'	°	32	19	17.5	35
Dilatancy angle	ψ	°	2	0	0	5
<u>Advanced</u>						
Set to default values			Yes	Yes	Yes	Yes
<b>Flow parameters</b>						
<u>Parameters</u>						
Horizontal permeability	kx	m/day	0.6	0.15	0.15	0.6
Vertical permeability	ky	m/day	0.6	0.15	0.15	0.6
Initial void ratio	einit	-	0.5	0.5	0.5	0.5
Change of permeability	ck	-	1.E+15	1.E+15	1.E+15	1.E+15
<u>Interfaces</u>						
<u>Strength</u>						
Consider gap closure			Rigid Yes	Rigid Yes	Rigid Yes	Rigid Yes
<b>Initial</b>						
<u>Ko settings</u>						
Ko determination			Manual	Manual	Manual	Manual
Lateral earth pressure coefficient	K0,x	-	0.4701	0.6744	0.6993	0.4264
<u>Overconsolidation</u>						
Over-consolidation ratio	OCR	-	1.0	1.0	1.0	1.0

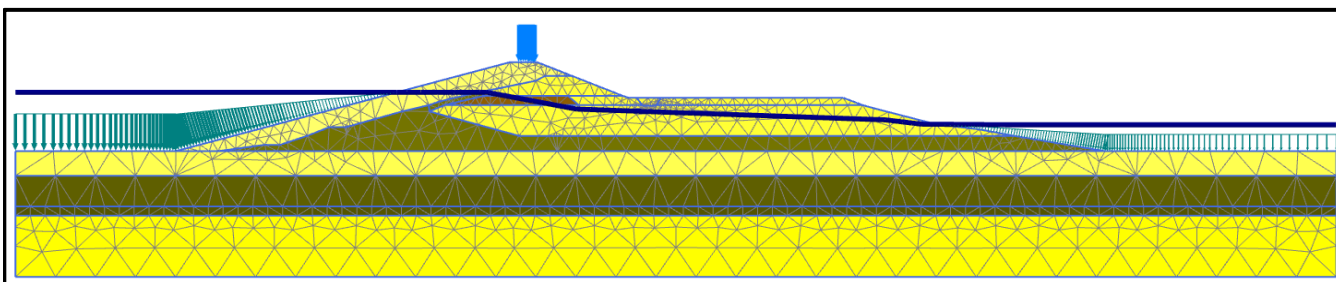
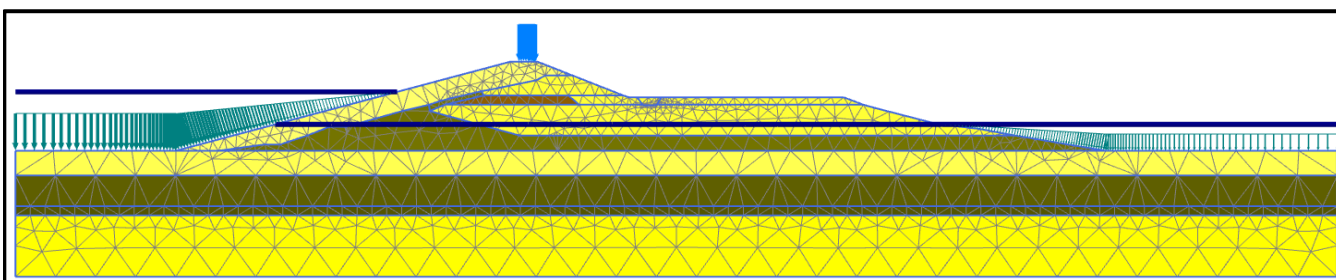
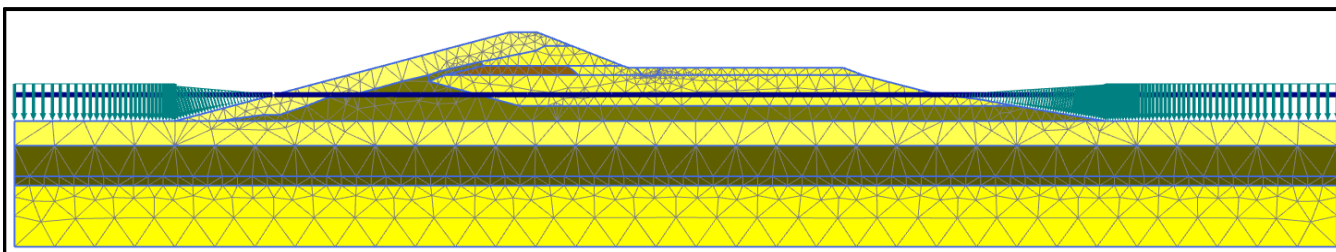
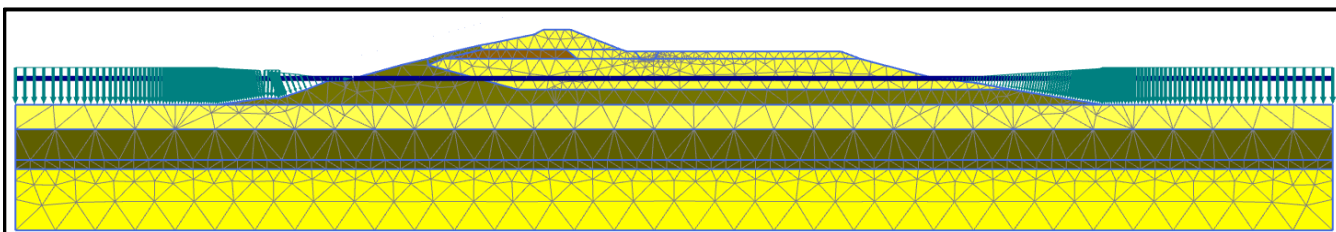


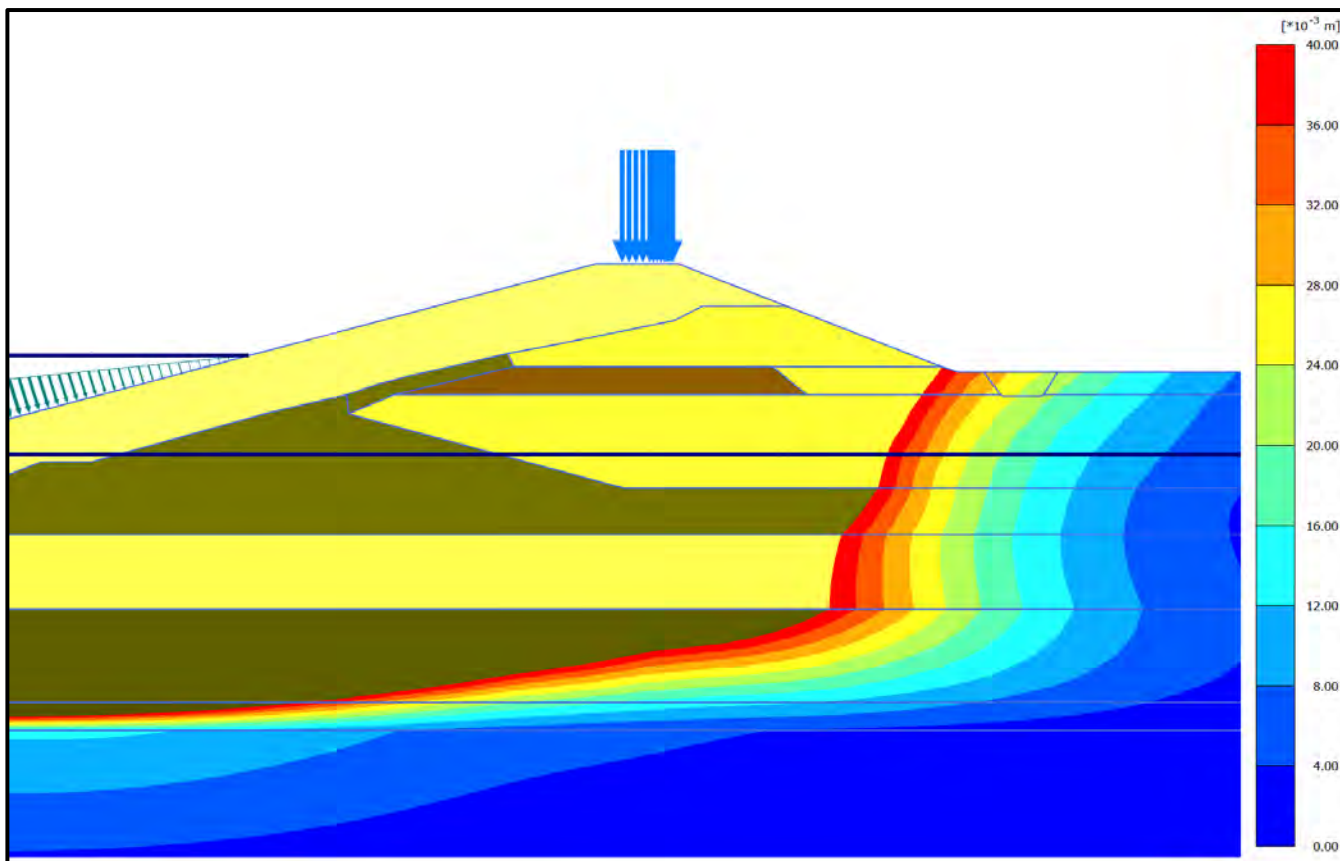




Tabel: Overzicht rekenmethode

General							Deformation control parameters					
ID Phase	Name Phase changes	Start from	Calculation type	Loading type	Pore pressures	Time interval	Ignore undrained	Reset displacement	Reset small strain	Updated mesh	Updated pressure	Ignore suction
InitialPhase	Bestaande situatie, Waddenzee laag		Gravity loading	Staged construction	Phreatic	0 day	Yes					Yes
Phase_1	Ophogen, Waddenzee laag	InitialPhase	Plastic	Staged construction	Phreatic	0 day	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes
Phase_2	Waddenzee extreem omhoog, dijk niet verzadigd	Phase_1	Plastic	Staged construction	Phreatic	0 day	Yes	No	No	No	No	Yes
Phase_3	Verkeersbelasting, ongedraineerd	Phase_2	Plastic	Staged construction	Phreatic	0 day	No	No	No	No	No	Yes
Phase_4	Uitconsolideren verkeersbelasting	Phase_3	Consolidation	Minimum pressure	Previous			No	No	No	No	Yes
Phase_5	Afsluitdijk verzadigd	Phase_4	Plastic	Staged construction	Phreatic	0 day	Yes	No	No	No	No	Yes



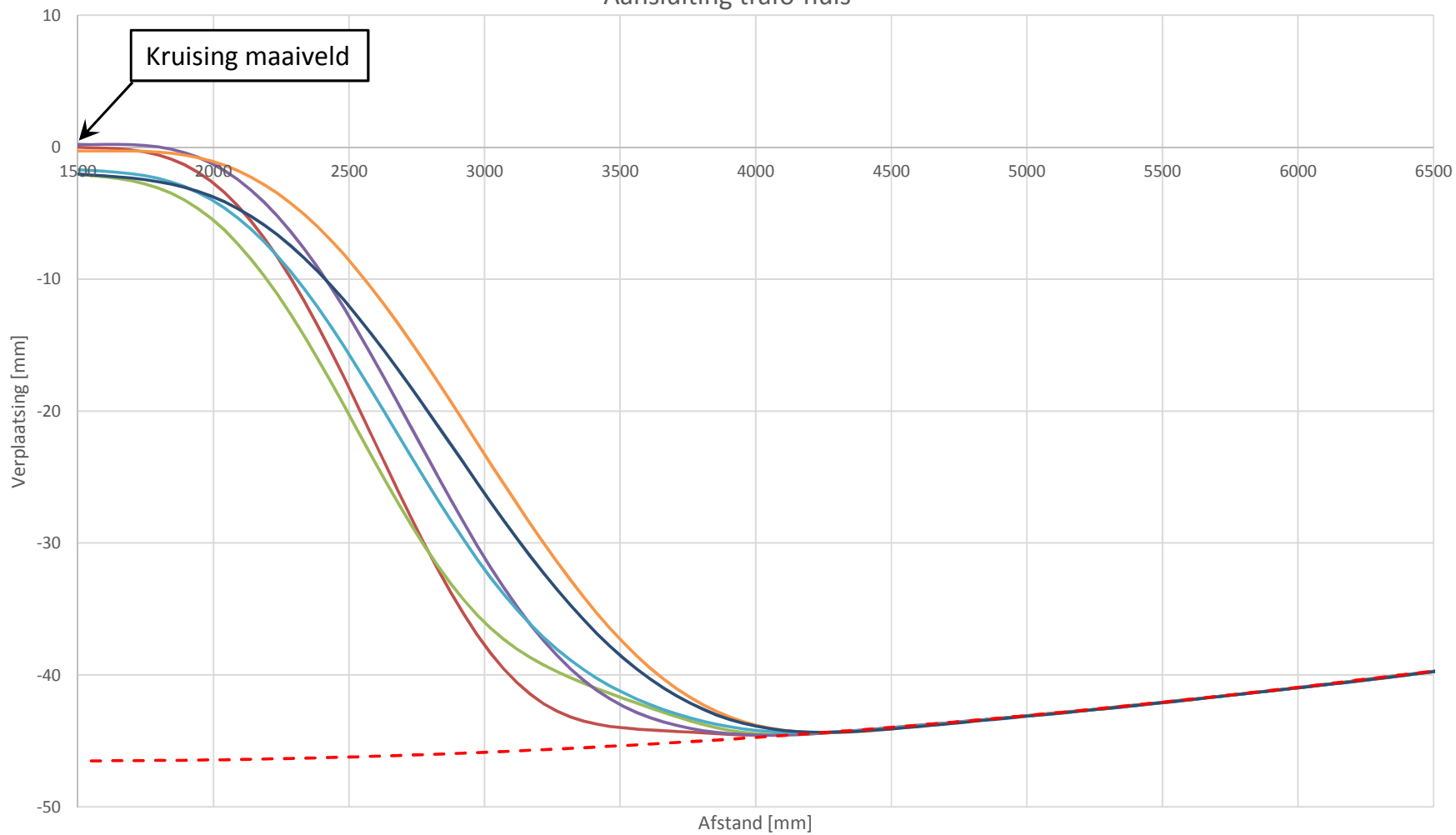


Figuur: Visualisatie absolute verplaatsingen ter plaatse van kabelgoot in de maatgevende rekenfase

## Bijlage 5: Resultaten liggerberekeningen

Omschrijving	Datum
• Aansluiting transformatorhuis	-
• Rechte veldstrekking	-
• Veldstrekking gevoeligheid zettings-/zakkingsverloop	-
• Aansluiting HDD Breezanddijk	-
• Aansluiting HDD Kornwerderzand	-

### Aansluiting trafo-huis



Enkele kabel

Enkele kabel + temp.

Kabel- bundel los

Kabel- bundel los + temp.

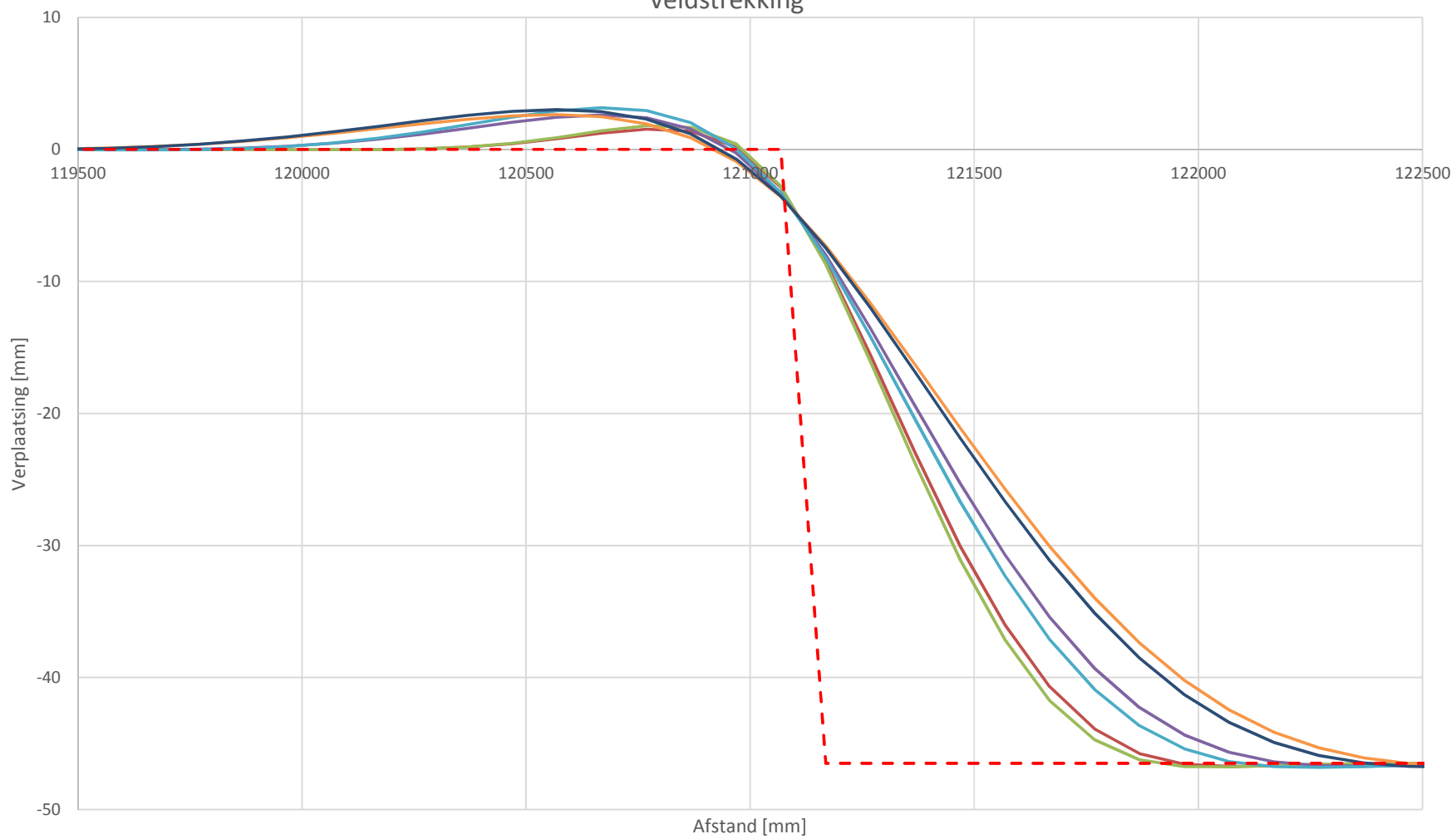
Kabel- bundel gekoppeld

Kabel- bundel gekoppeld + temp.

SETLZ



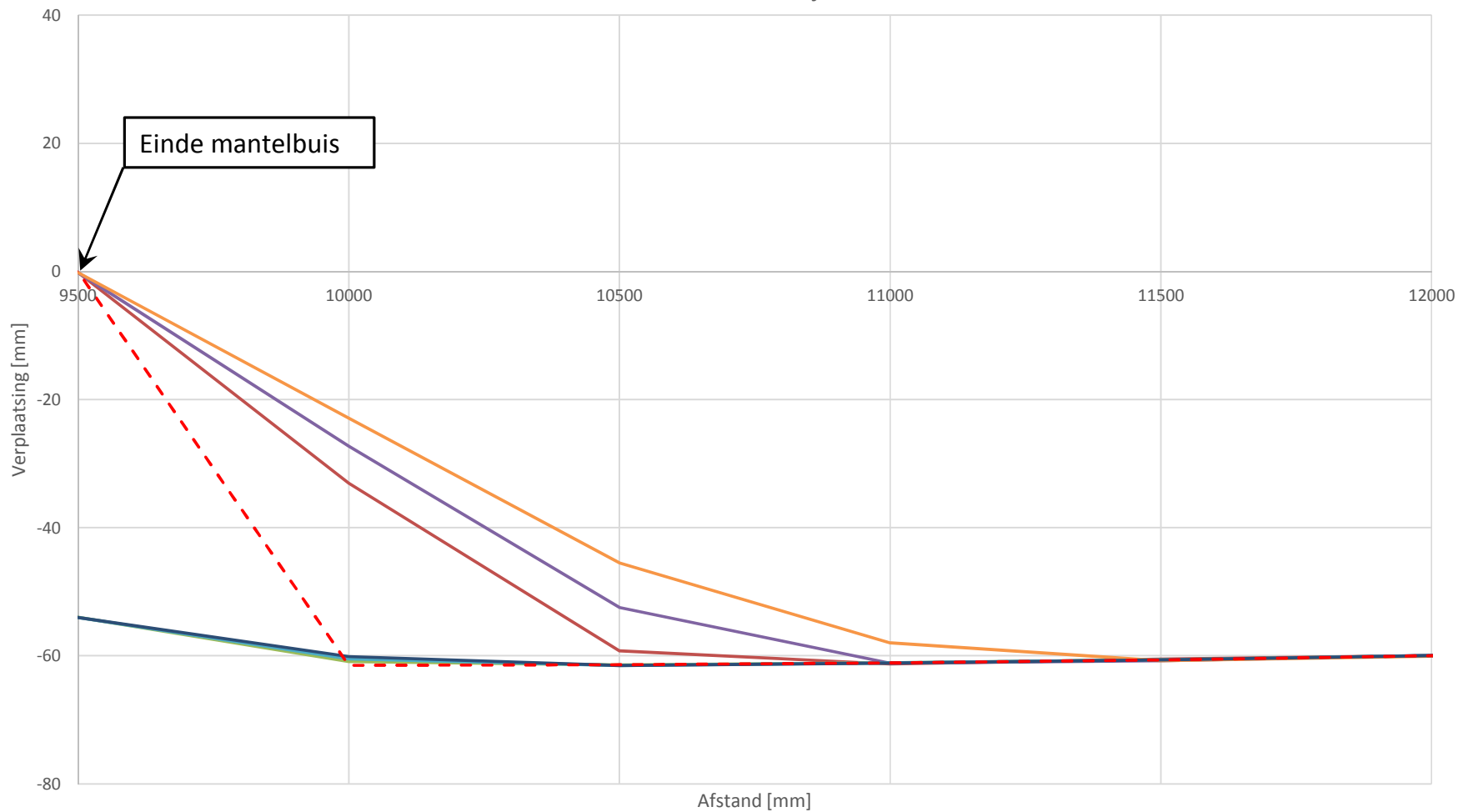
### Veldstrekking



— Enkele kabel — Enkele kabel + temp. — Kabel- bundel los — Kabel- bundel los + temp. — Kabel- bundel gekoppeld — Kabel- bundel gekoppeld + temp. - - - SETLZ



### HDD Breezanddijk



Enkele kabel geen slack mantelbus

Enkele kabel slack mantelbus

Kabelbundel los geen slack mantelbus

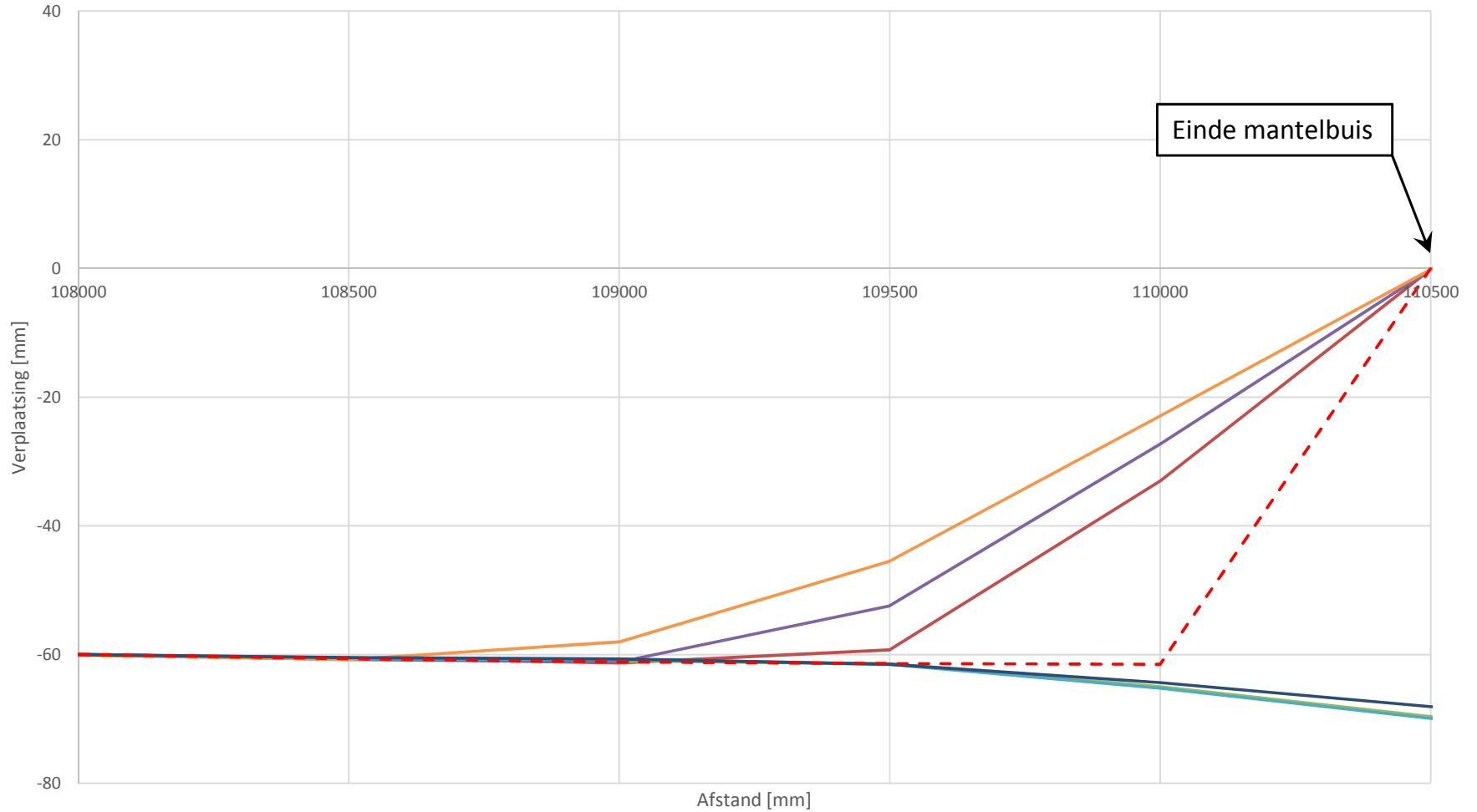
Kabelbundel los slack mantelbus

Kabelbundel gekoppeld geen slack mantelbus

Kabelbundel gekoppeld slack mantelbus

SETLZ

### HDD Kornwerderzand



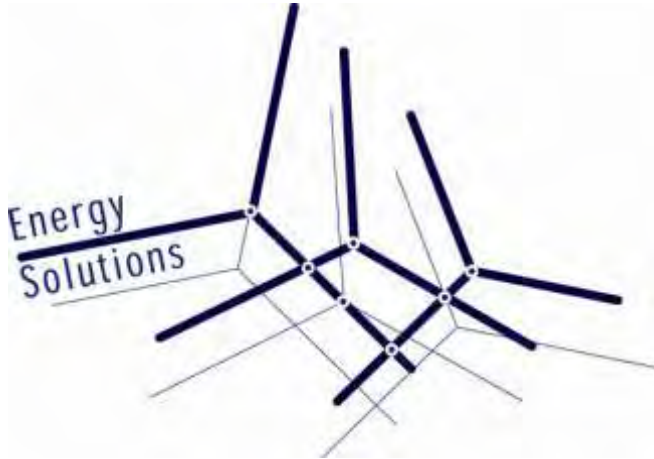
Einde mantelbuis

- Enkele kabel geen slack mantelbuis
- Enkele kabel slack mantelbuis
- Kabelbundel los geen slack mantelbuis
- Kabelbundel los slack mantelbuis
- Kabelbundel gekoppeld geen slack mantelbuis
- Kabelbundel gekoppeld slack mantelbuis
- SETLZ

## BIJLAGE 6 RAPPORTAGE ENSOL







**Windpark Friesland**

## **Export kabel verbinding**

### **Toelichting op technische vragen Pondera Consult**

---

Document number:	ENSOL-RPT-2015.073
Author:	R. Koning
Revision:	1.0
Date:	20 augustus 2015
Checked:	J.W. van Doeland



## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>BELASTBAARHEID EN KABELTEMPERATUREN</b> .....	<b>3</b>
2.1	VRAAGSTELLING.....	3
2.2	BEANTWOORDING.....	3
2.2.1	NEN-IEC 60287 continue belastbaarheid.....	3
2.2.2	NEN-IEC 60853-2 dynamische belastbaarheid.....	5
2.2.3	Gronduitdroging.....	5
2.2.4	Grasgroei.....	5
<b>3</b>	<b>UITZETTING EN BEWEGING VAN DE KABEL</b> .....	<b>6</b>
3.1	VRAAGSTELLING.....	6
3.2	BEANTWOORDING.....	6
<b>4</b>	<b>ZETTINGEN</b> .....	<b>6</b>
4.1	VRAAGSTELLING.....	6
4.2	ANTWOORD.....	6





## 1 Inleiding

Windpark Fryslân bv heeft het voornemen om in de nabije toekomst Windpark Fryslân te realiseren. Het windpark zal op een nieuw te stichten 220kV of 110kV hoogspanningsstation worden aangesloten. Dit station is gelegen op de Breezanddijk en wordt gevoed vanuit het 220kV-station te Oudehaske of vanuit het 110kV-station Marnezijl. In een eerder stadium is door Energy Solutions een voorontwerp en haalbaarheidsstudie gemaakt voor de export kabel (net aansluitkabel) aangelegd in de Afsluitdijk.

Vanuit het windpark zijn enkele algemeen technische vragen over zo'n mogelijk kabel circuit gesteld die in dit rapport zullen worden beantwoord. De vragen uit deze email van 11 augustus 2015 van de heer ten Klooster van Pondera Consult zijn voor de volledigheid herhaald.

Energy Solutions is een Engineering- en Consultancy bureau dat is gespecialiseerd in hoogspanningsnetwerken. Energy Solutions is opgericht in 2004 door een aantal ingenieurs met jarenlange ervaring in de hoogspanningskabelindustrie. Energy Solutions voert voor diverse opdrachtgevers opdrachten uit gerelateerd aan hoogspanningsverbindingen en stations zowel voor onshore als voor offshore toepassingen. Energy Solutions is betrokken geweest aan de zijde van de projectontwikkelaars van vrijwel alle offshore windprojecten in Nederland en België en betrokken bij elektrische aansluiting van vele onshore windparken. Tevens is Energy Solutions bij de huidige ondergrondse kabel uitbreidingen van het Nederlandse hoogspanningsnetwerk door TenneT op de spanningsniveau's van 110 tot 380kV.

## 2 Belastbaarheid en kabeltemperaturen

### 2.1 Vraagstelling

Hoe is te verklaren dat de kern van de kabel warmer is dan de buitenzijde van de mantel? Waar blijft deze warmte?

### 2.2 Beantwoording

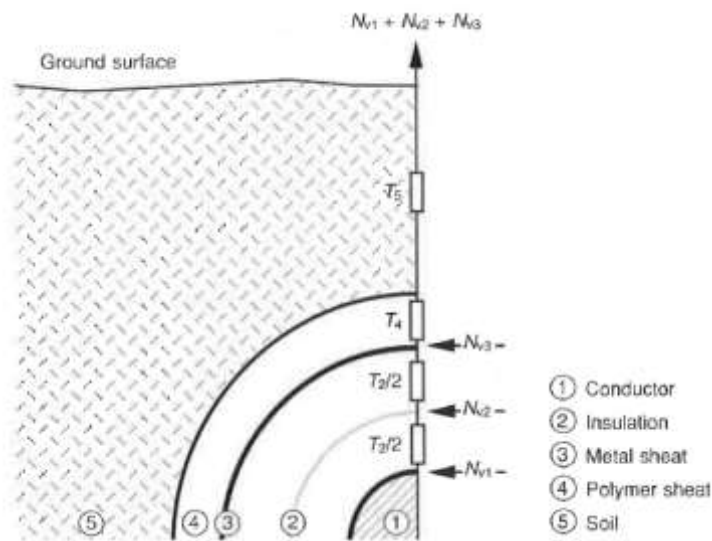
De belastbaarheid van ondergrondse hoogspanningskabel verbindingen wordt berekend aan de hand van twee internationale normen:

- NEN-IEC 60287 – Electric cables - Calculation of the current rating
- NEN-IEC 60853-2 - Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables - Part 2: cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages.

#### 2.2.1 NEN-IEC 60287 continue belastbaarheid

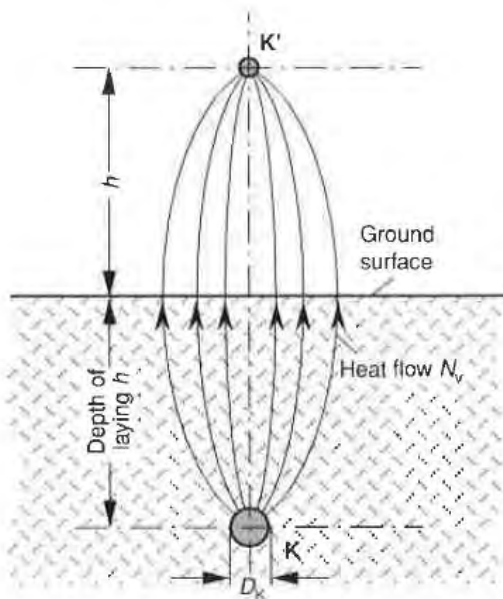
De dimensionering van een hoogspanningskabel wordt gebaseerd op de berekeningen zoals beschreven in de NEN-IEC 60287. Door het toepassen van deze norm wordt de geleiderdoorsnede van de kabel berekend op basis van een zogenaamde continue 100% belastingsstroom. Veelal wordt hiervoor de stroomwaarde aangenomen die als maximum wordt verwacht door de verbinding te kunnen vloeien. De geleiderdoorsnede wordt vervolgens zo gekozen dat de maximaal toegestane temperatuur van de geleider in de kabel – zoals opgegeven door de kabelfabrikanten – nooit wordt overschreden.

Het model van de NEN-IEC 60287, berekend op basis van de opbouw van de kabel en van zijn omgeving (omliggende grond, ongestoorde grondtemperatuur etc) de verliezen en de temperatuursvallen over de verschillende lagen in en buiten de kabel. Het model berekend hiertoe de elektrische verliezen in de kabel (weerstandsverliezen in de geleider en het aardscherm en de diëlektrische verliezen in de kabelisolatie). De opbouw van de kabel en zijn omgeving wordt gemodelleerd door verschillende warmteweerstanden (Figuur 1.)



**Figuur 1:** Representatie van de kabel in zijn omgeving volgens NEN-IEC 60287 (bron Prysmian [1]).

Voor het berekenen van de temperatuursval over de verschillende lagen en de grondlagen wordt volgens het model een dipool of gespiegelde configuratie gehanteerd, waarbij de temperatuur van het grondoppervlak als vlakke isotherm wordt genomen (Figuur 2).



**Figuur 2:** Representatie van de kabel in zijn omgeving volgens NEN-IEC 60287 gespiegelde model (bron Prysmian [1]).

In de praktijk vindt de grootste temperatuursval ten gevolge van de warmtestroom uit de kabels plaats in de kabel zelf over de isolatie van de kabel. Dit heeft als gevolg dat zelfs bij een hoge geleidertemperatuur, de temperatuur van de buitenmantel van de kabel beduidend lager is.

De ontwerpwijze met als uitgangspunten de maximaal mogelijke stroom en de aanname dat deze vanaf moment nul tot in het oneindige zal worden gevoerd, leidt ertoe dat voor kabels van elektriciteitsnetwerken en voor aansluitkabels van opwekkers met een variabele opwekking (zoals bijvoorbeeld windparken) er een vrij conservatieve keuze wordt gemaakt voor de geleiderdoorsnede. De maximaal toegestane geleidertemperatuur zal dan ook voor dit soort verbindingen over het algemeen niet bereikt worden en de werkelijke temperatuur van de geleider zal aanzienlijk lager zijn dan de maximaal gespecificeerde geleidertemperatuur van de fabrikant. Met name ook vanwege het feit dat de geleider verliezen kwadratisch afnemen met



een afname van de gevoerde stroom door de kabels. Uitzondering op deze regel zijn verbindingen van conventionele elektriciteitscentrales die veelal gedurende langere tijd achterelkaar de maximale stroom voeren. Bij windparken ligt de langdurig gemiddelde belasting veel lager dan de maximale stroom (ordegrootte 35% - 45%) en zal tijdens de relatief korte perioden waarin de turbines hun maximale vermogen leveren de kabel en zijn omgeving niet opwarmen tot de met de NEN-IEC 60287 berekende waarden.

#### 2.2.2 NEN-IEC 60853-2 dynamische belastbaarheid

De NEN-IEC 60853-2 geeft een model van de kabel en zijn omgeving waarbij rekening wordt gehouden met de verschillende aanwezige warmte capaciteiten in de kabel en zijn omgeving waarin de warmte als het ware tijdelijk wordt opgeslagen voordat deze wordt afgegeven. (te vergelijken met de warmte capaciteit van water in een waterkoker, het kost enige tijd om de eindtemperatuur te bereiken terwijl de warmtetoevoer constant is).

Ondanks dat op basis van de NEN-IEC 60853-2 een keuze kan worden gemaakt voor een kleinere geleiderdoorsnede van de kabel rekening houdend met het dynamisch gedrag van de kabel en zijn omgeving, wordt deze over het algemeen niet of weinig toegepast voor het kiezen van een (kleinere) geleiderdoorsnede van de kabel. Wel wordt deze rekenwijze toegepast voor het inschatten van de mogelijke tijdelijke overbelasting van circuits in elektriciteitsnetten in geval van een storing of werkzaamheden in het net. Voor de aansluiting van het windpark is deze rekenwijze echter niet toegepast.

#### 2.2.3 Gronduitdroging

In Nederland zijn veel verbindingen in het verleden ook wel gebaseerd op de bovenstaande rekenwijze, maar dan met een uitgangspunt dat de buitenmanteltemperatuur van de kabel niet boven de 45°C mag komen. Dit getal werd gehanteerd als veilige temperatuur waarbij de omliggende grond van de kabels niet uitdroogt. In specifieke gevallen worden ook wel grondmonsters geanalyseerd om meer nauwkeurige waarden te verkrijgen van de grondtemperatuur/warmte stroom waarbij gronduitdroging zou kunnen plaatsvinden.

#### 2.2.4 Grasgroei

In opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) is in 1983 onderzoek gedaan naar de gevolgen van de warmteafgifte van kabels en leidingen aan de grond en naar de maatregelen die genomen kunnen worden om eventuele negatieve gevolgen voor het milieu te voorkomen of te beperken. De resultaten van dit onderzoek zijn gepubliceerd in het rapport "Bodembeschermende voorzieningen tegen warmteafgifte". Het rapport geeft een inventarisatie van negatieve gevolgen voor het bodemmilieu. Op basis hiervan wordt een grenswaarde voorgesteld voor de maximale temperatuurverhoging van 5°C op 40cm diepte in de bodem. Op basis van een uitgebreid literatuuronderzoek is voor cultuurgewassen en graslandvegetaties de bovengenoemde grenswaarde geformuleerd waar beneden naar verwachting geen schade zal optreden. Gezien de grote fysiologische overeenkomst tussen cultuurgewassen en meer natuurlijke vegetaties wordt deze grenswaarde ook gehanteerd voor natuurlijke vegetaties. In de huidige wet bodembescherming worden geen specifieke eisen genoemd voor de toelaatbare temperatuurstijgingen in de bodem. Ook vanuit Europees verband lijken er geen specifieke eisen vastgelegd te zijn.



### 3 Uitzetting en beweging van de kabel

#### 3.1 Vraagstelling

Hoe is te verklaren dat de kabel niet langer of korter wordt door de verandering van temperatuur? Beweegt de kabel ook door temperatuursveranderingen?

#### 3.2 Beantwoording

Elk materiaal dat een temperatuursverandering ondergaat zal op basis van de uitzettingscoëfficiënt uitzetten of krimpen, tenzij het in deze uitzetting of krimp wordt belemmerd. Indien het materiaal niet kan uitzetten of krimpen zal dit een stuikkracht in het materiaal geven.

In hoogspanningskabels is de geleider op basis van de optredende temperatuurswisselingen en de uitzettingscoëfficiënt de kabelcomponent waarbij de te verwachten uitzetting het grootst is in het geval de kabel zich vrij zou kunnen bewegen.

Op basis van ervaring met hoogspanningskabels direct aangelegd in de grond kan worden gesteld dat deze kunnen worden beschouwd als volledig gefixeerd door de omliggende grond zowel in axiale als in de tangentiale richting van de kabel en uitzettingen of verplaatsingen ten gevolge van temperatuurschommelingen niet optreden. Bij eventuele opgraving van kabels bij storingen en of beschadigingen worden geen verplaatsingen van de kabel in de grond waargenomen. Uitzondering hierop vormen kabels aangelegd in slappe veengrond waarbij tijdens het opzoeken van deze kabels bij storingen wel wordt waargenomen dat deze dieper liggen dan waarop ze oorspronkelijk zijn aangelegd.

Bij begraving direct in grond begraving van de kabel in grond wordt de uitzetting van kabel volledig belemmerd en er zal er een stuikkracht in de kabel optreden (metname ten gevolge van de geleider). Deze stuikkracht in de lengte richting van de kabel wordt grotendeels bepaald door de van de doorsnede ( $\text{mm}^2$ ) van de geleider en uit zich aan de einden van de kabelgeleider. De grootte van deze stuikkracht is onafhankelijk van de lengte van de kabel. Deze stuikkracht wordt uiteindelijk opgevangen bij de eindsluitingen van de kabel door de eindsluitingen en de ondersteuningsconstructies van de eindsluitingen.

### 4 Zettingen

#### 4.1 Vraagstelling

Wat is de EI en EA waarde van de kabel?

#### 4.2 Antwoord

De EI en EA waarden van kabels kunnen alleen worden berekend met zeer veel detailkennis van de exacte kabelconstructie en het specifieke productieproces van de fabrikant. In dit geval is de exacte constructie en fabrikant nog niet bekend. Kabelfabrikanten delen deze detail gegevens over onderlinge wrijving van de kabelcomponenten over het algemeen niet. Op basis van bij ons bekende archief gegevens zijn wij gekomen tot gegevens voor EI en EA voor een kabel die de beoogde kabel voor WP Frieslân goed zou benaderen ( $220\text{kV}$ ,  $1600\text{mm}^2$  Al,  $EA = 3.84 \cdot 10^6 \cdot \text{kg}$ ,  $EJ = 1200 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ).

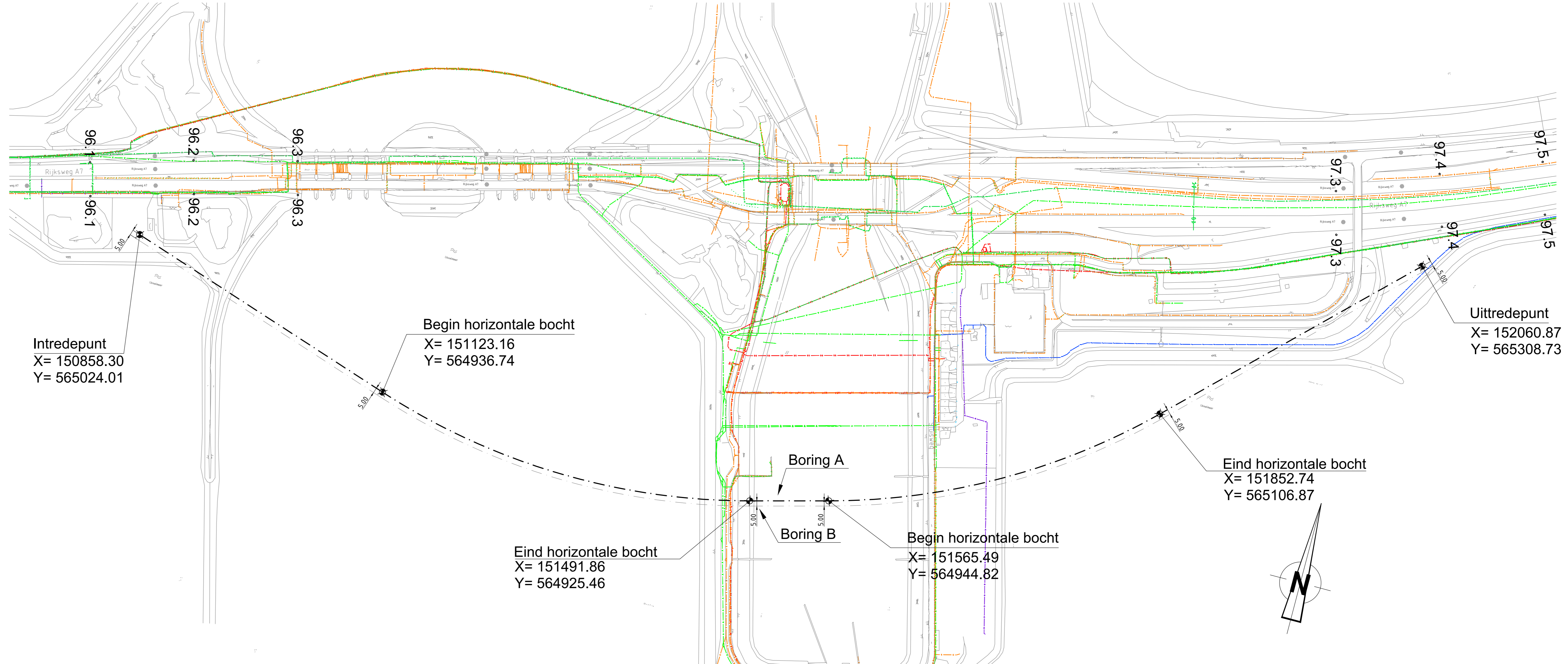
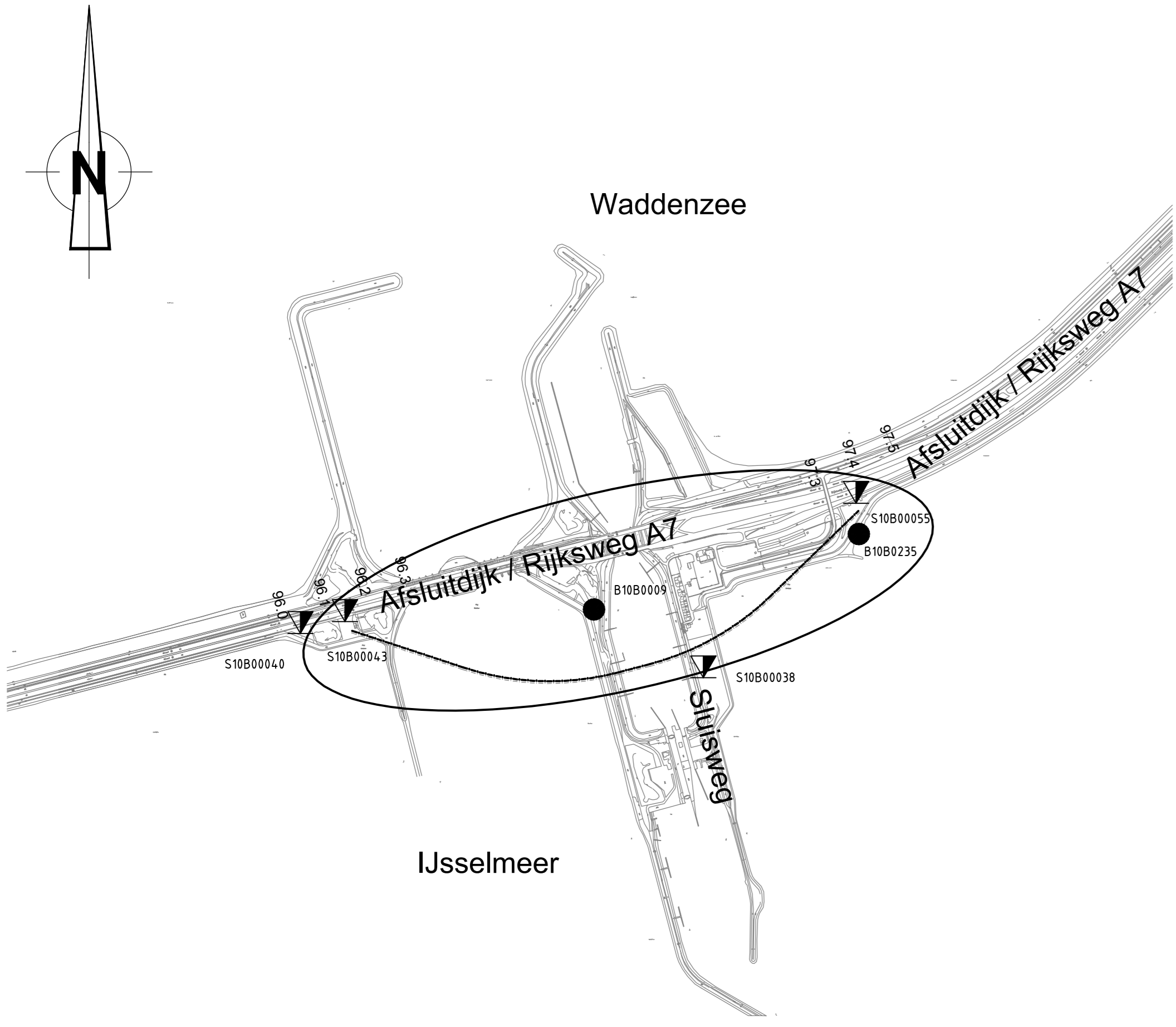
---

\* Uitzettingscoëfficiënt geleider:  $16,2 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$  voor koper en  $23,8 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$  voor aluminium

## BIJLAGE 7 TEKENINGEN

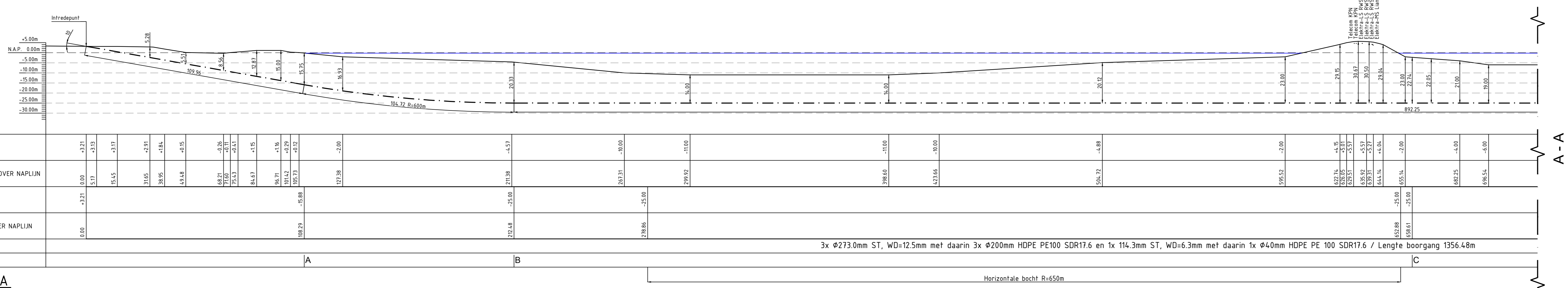




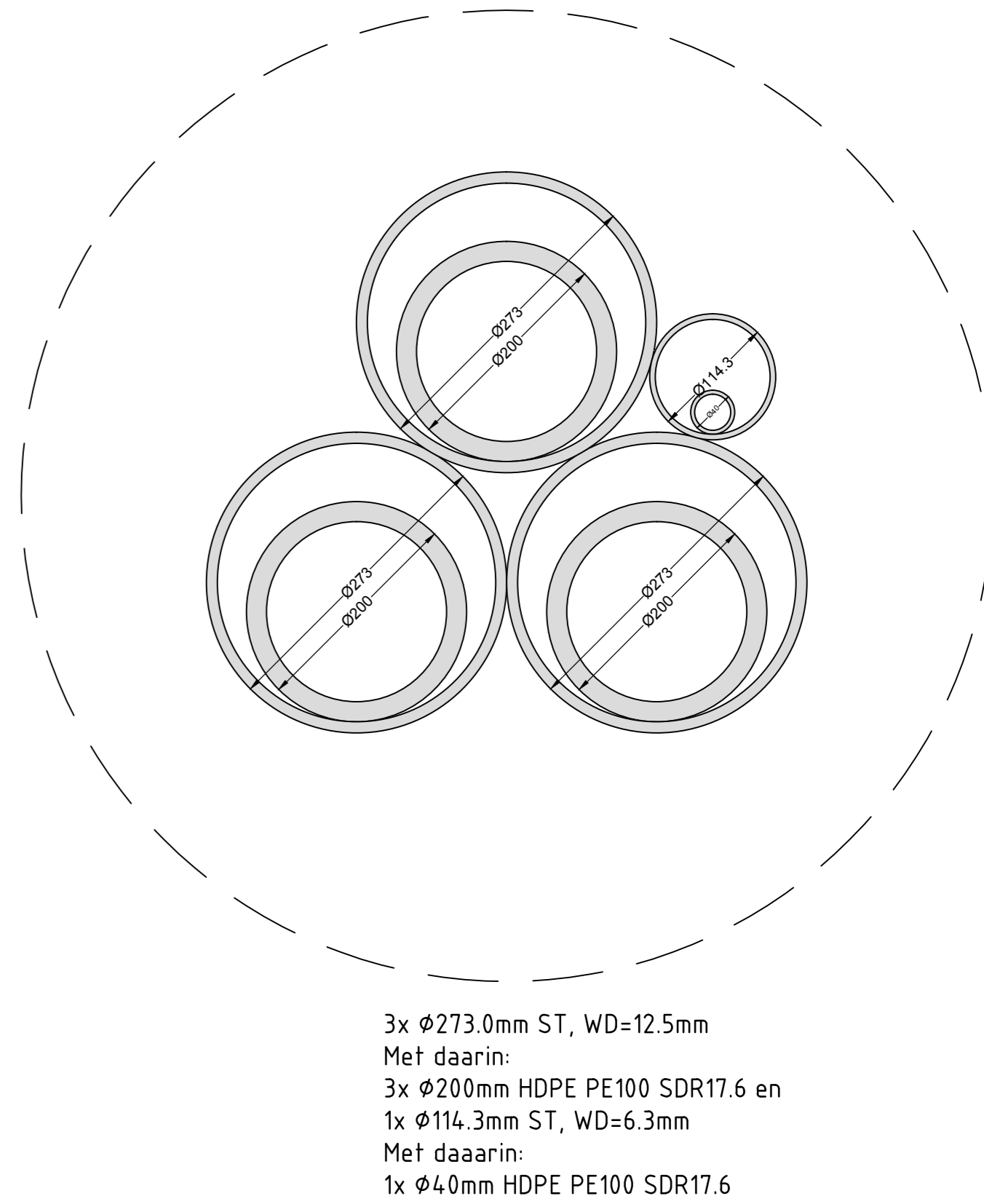


Overzicht  
schaal 1:500

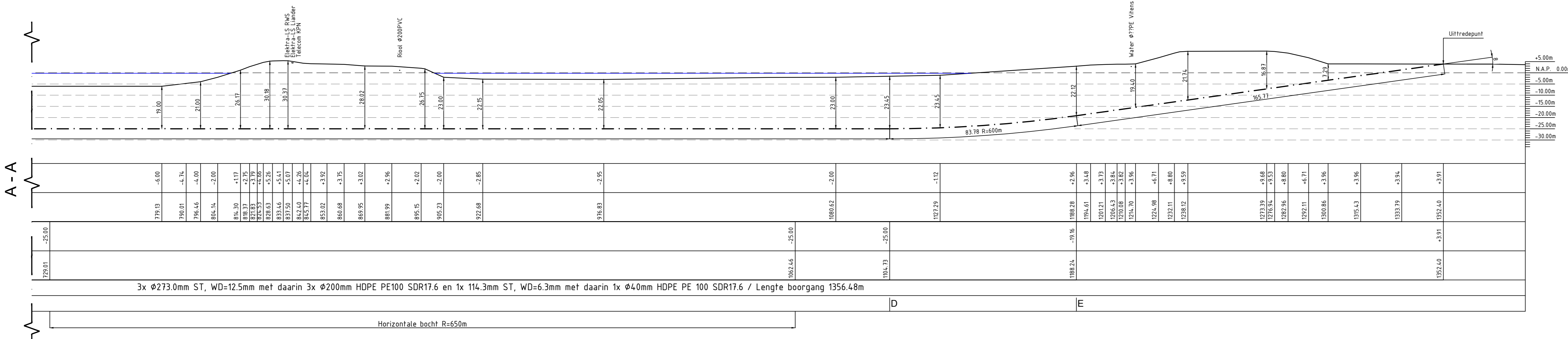
Overzicht  
schaal 1:500



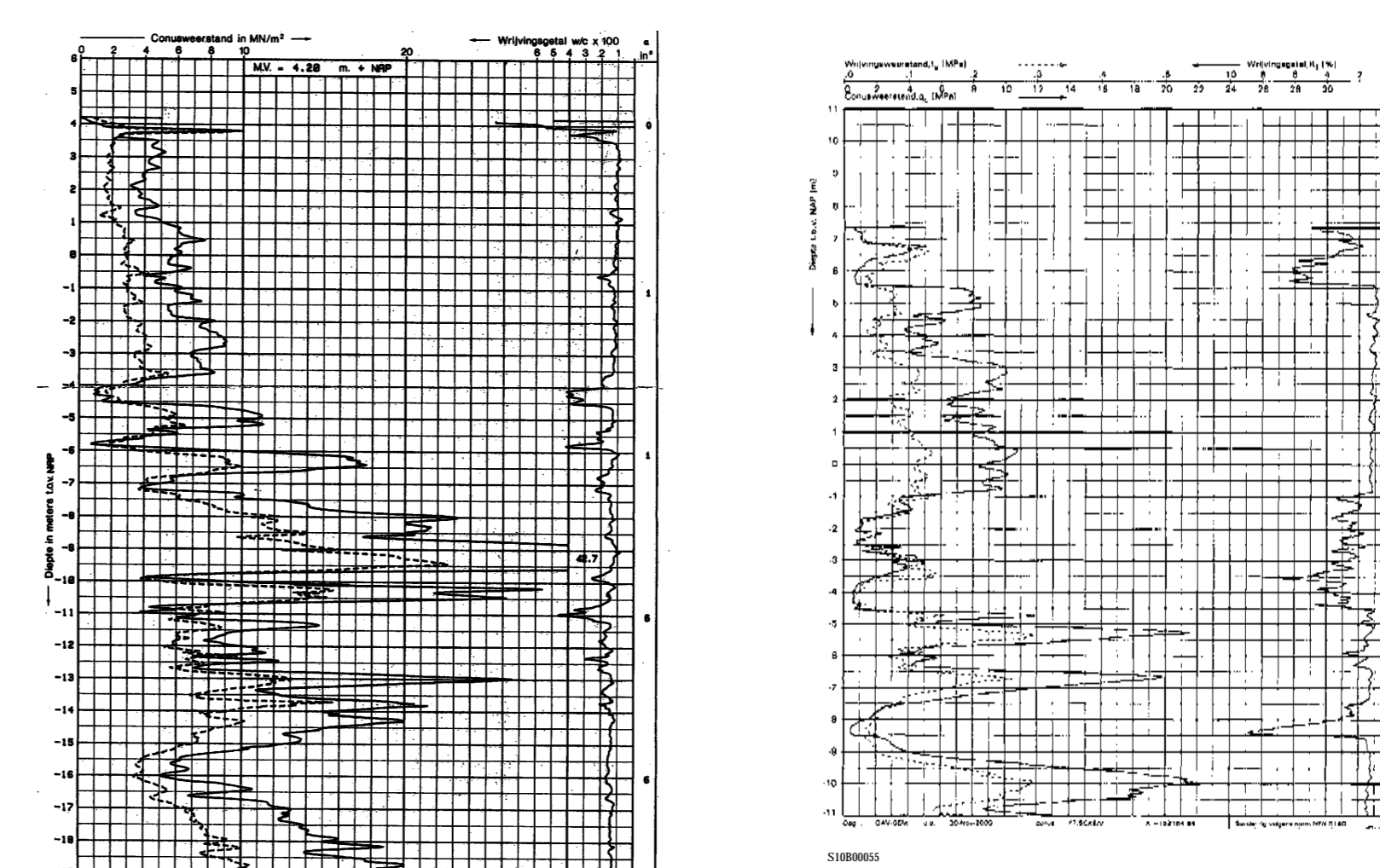
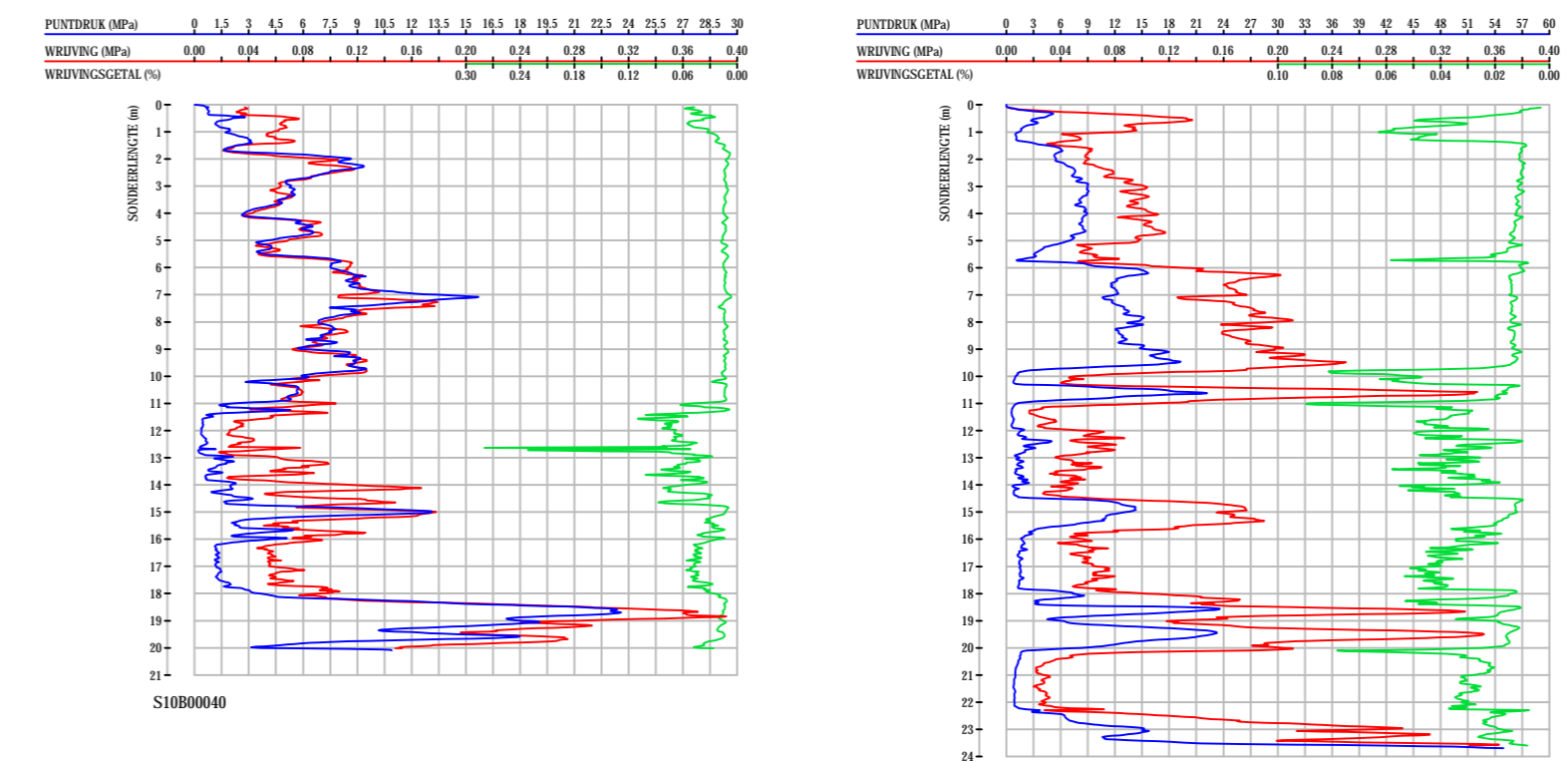
Lengteprofiel Boring A  
schaal 1:500



Doorsnede bundel  
schaal 1:5



Lengteprofiel Boring A  
schaal 1:500

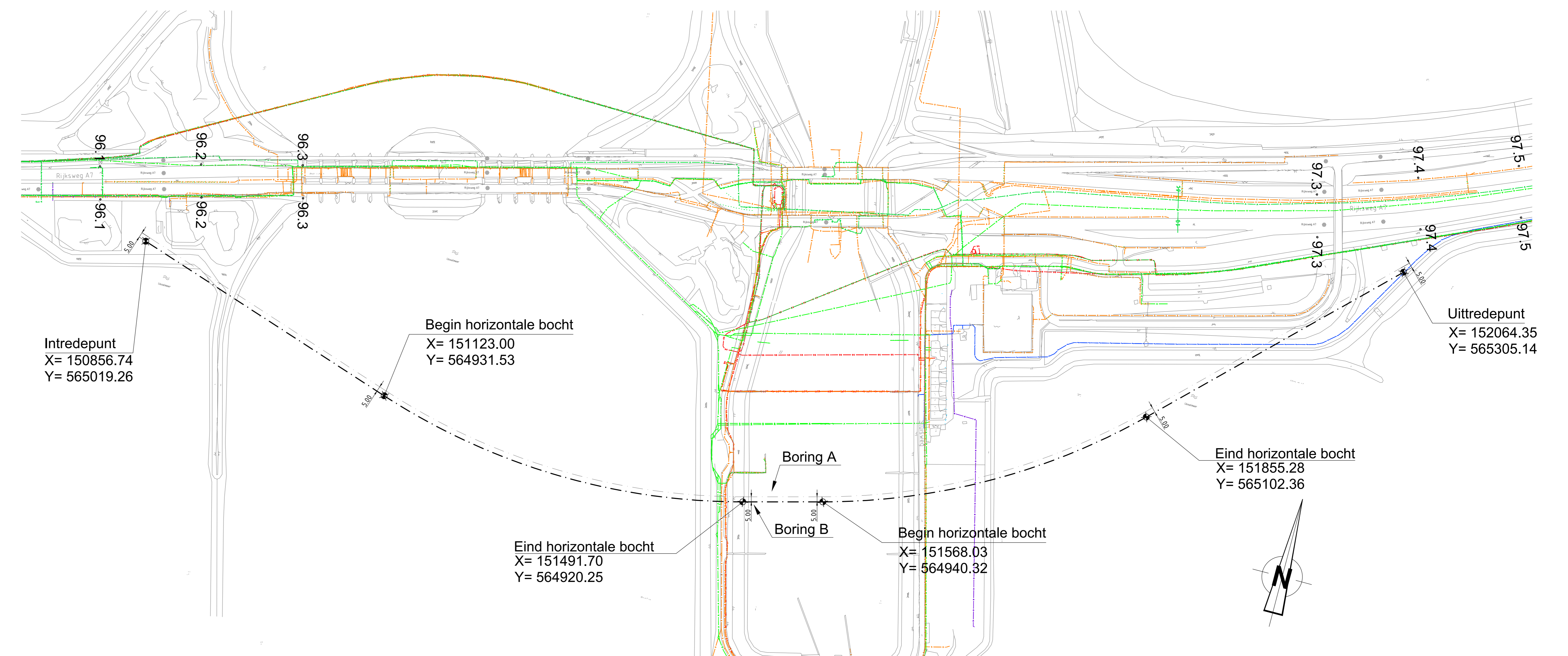
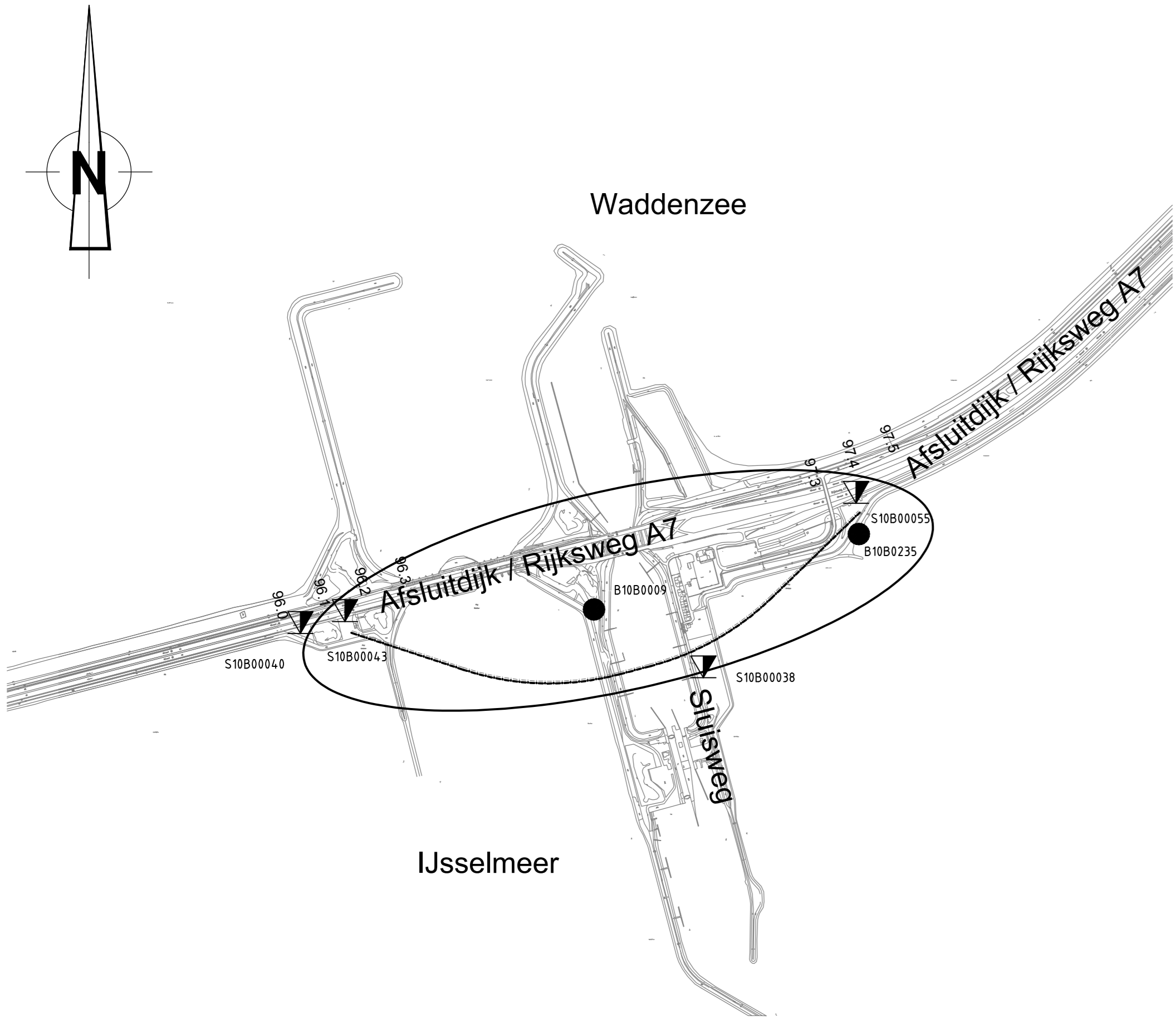


—	Ge
—	CO2 leiding
—	Electra LS
—	Electra MS
—	Electra HS
—	LD gasleiding
—	HD gasleiding
—	Gasruite leiding
—	Ontleiding
—	Roof
—	Drainriet
—	KPIS
—	Diverse Telecon (HFC, Eurofiber, Tele2, end)
—	Warmteleiding
—	Transport waterleiding
—	Wastele SV
—	Sondering
●	Grondboring

Ø	21-08-2015	AL	RB	Voor vergoedingaanvraag
Rev.	Datum	Get.	Gez.	WJZ/GZG

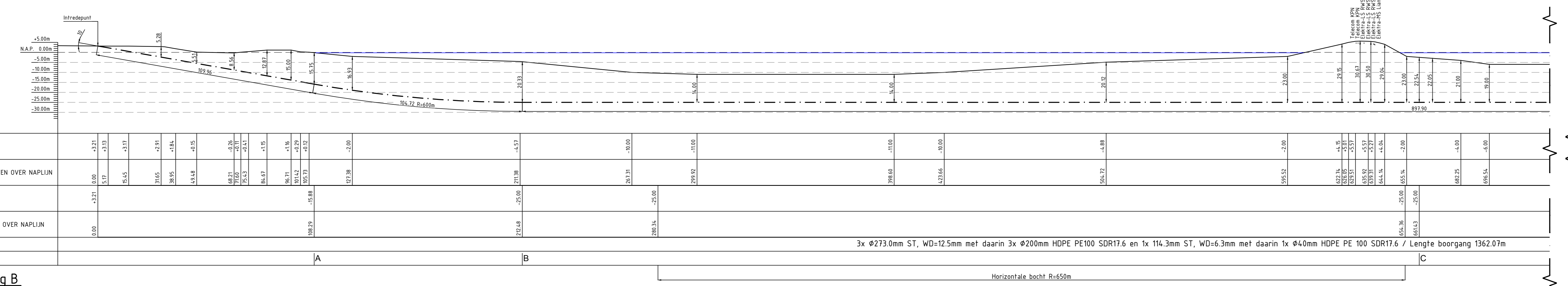
**Ventolines**

ONTWERP :	R. Berger	GETEKEND :	A. Lamersen	DATUM :	21-08-2015
PROJECT :	Windpark Fryslan Afsluitdijk Rijksweg A7 / Sluisweg km 96.148 - 97.378	SCHAAL :	1:100000/1:20000/1:1000/1:5	FORMAAT :	A0
ONDERWERP :	Te maken gestuurde boring A	TEKENING NR.:	482.15.2.039-100		

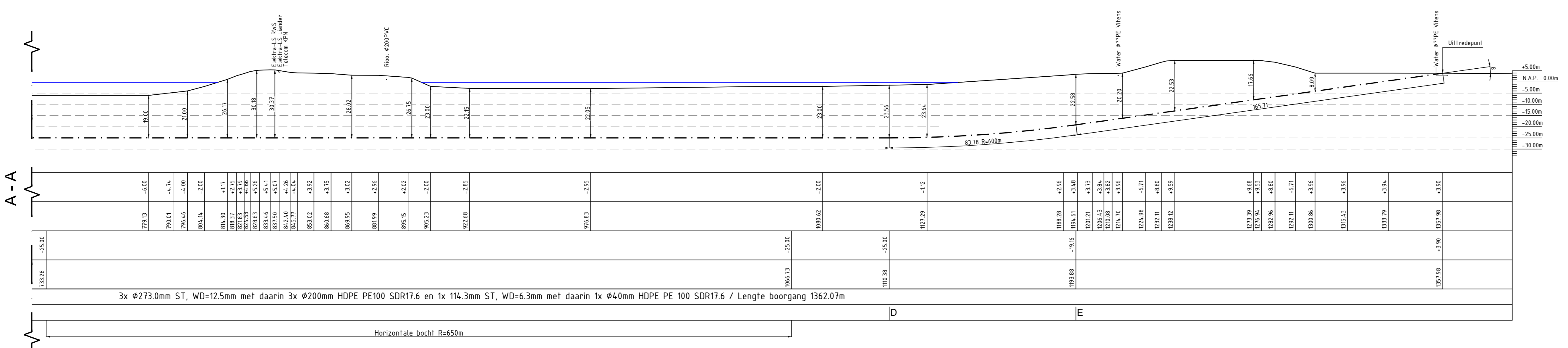


Overzicht  
schaal 1:500

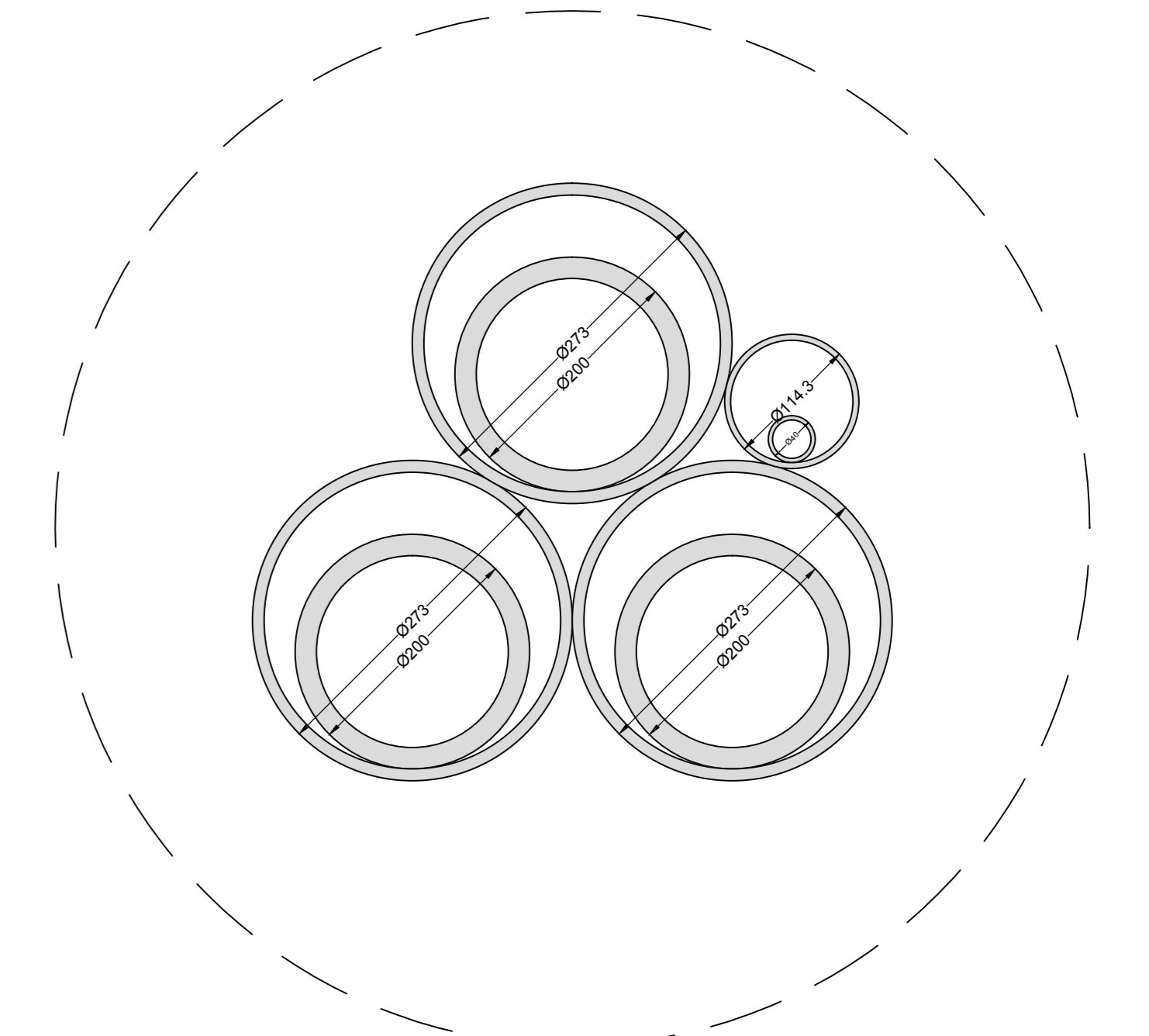
Overzicht  
schaal 1:500



Lengteprofiel Boring B  
schaal 1:500

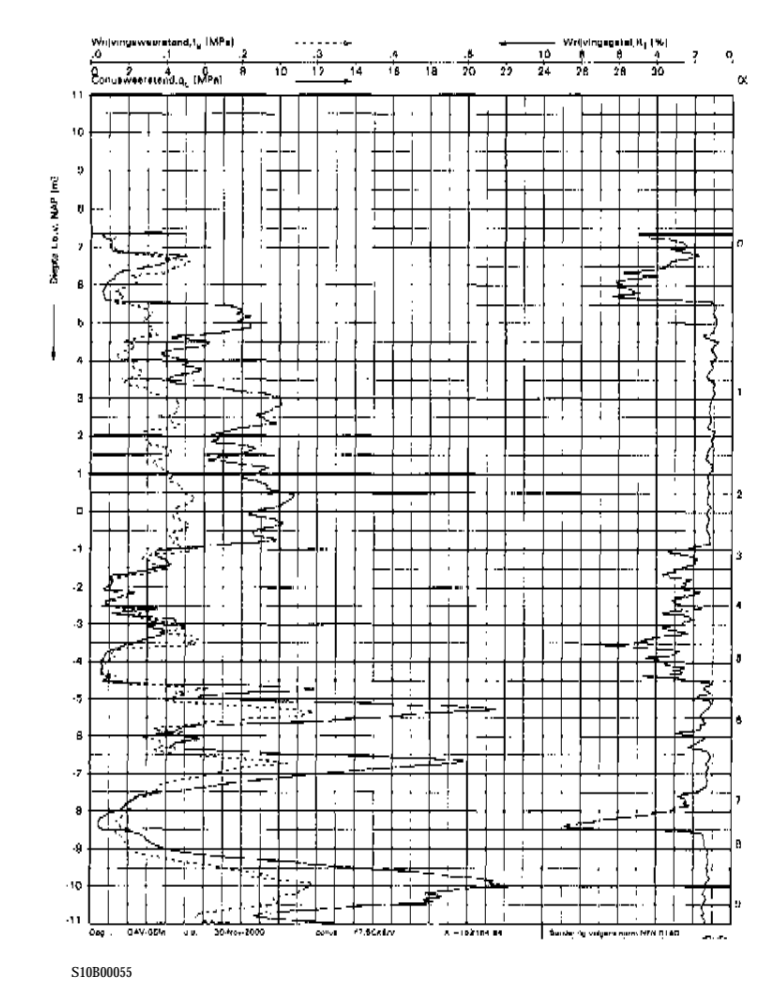
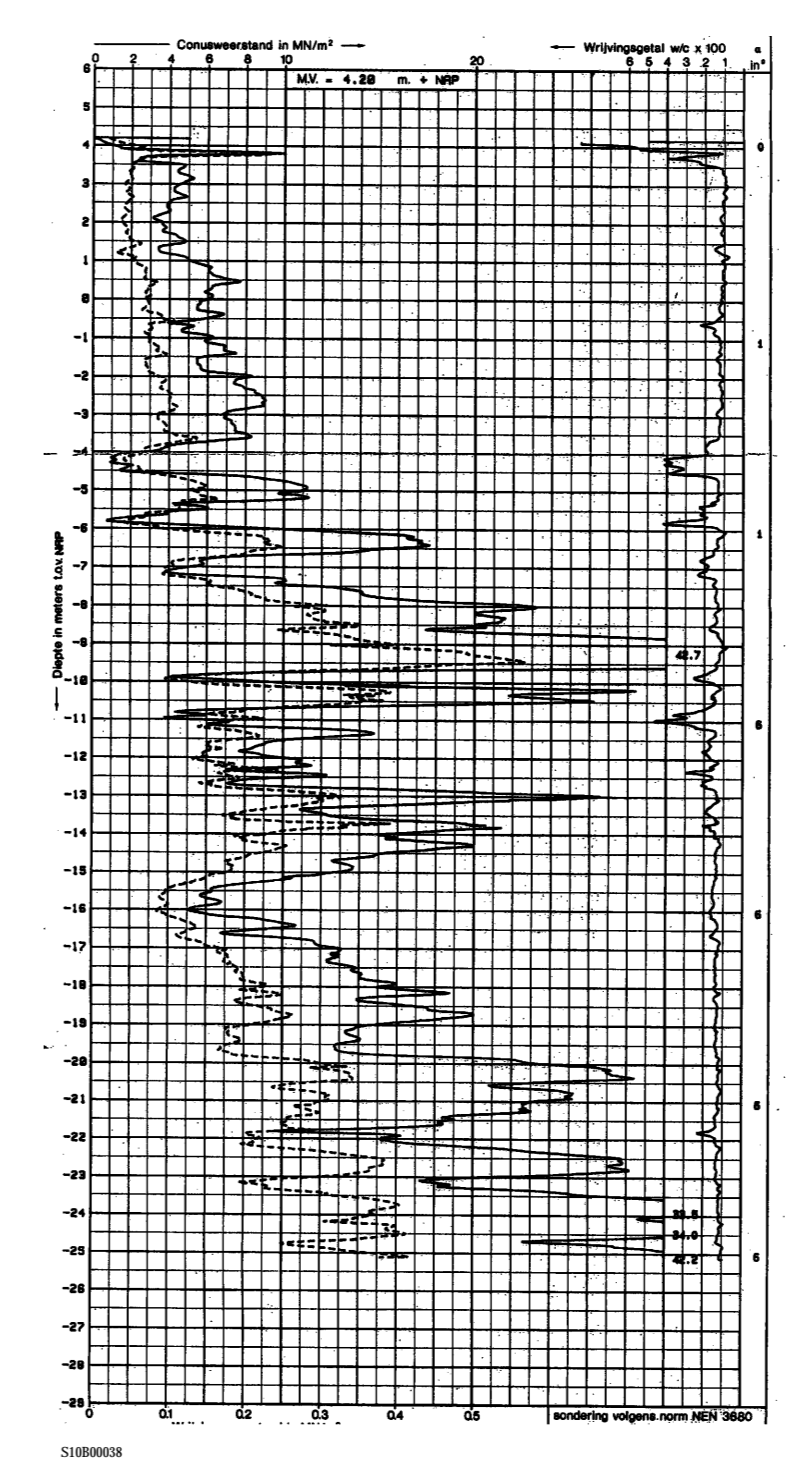
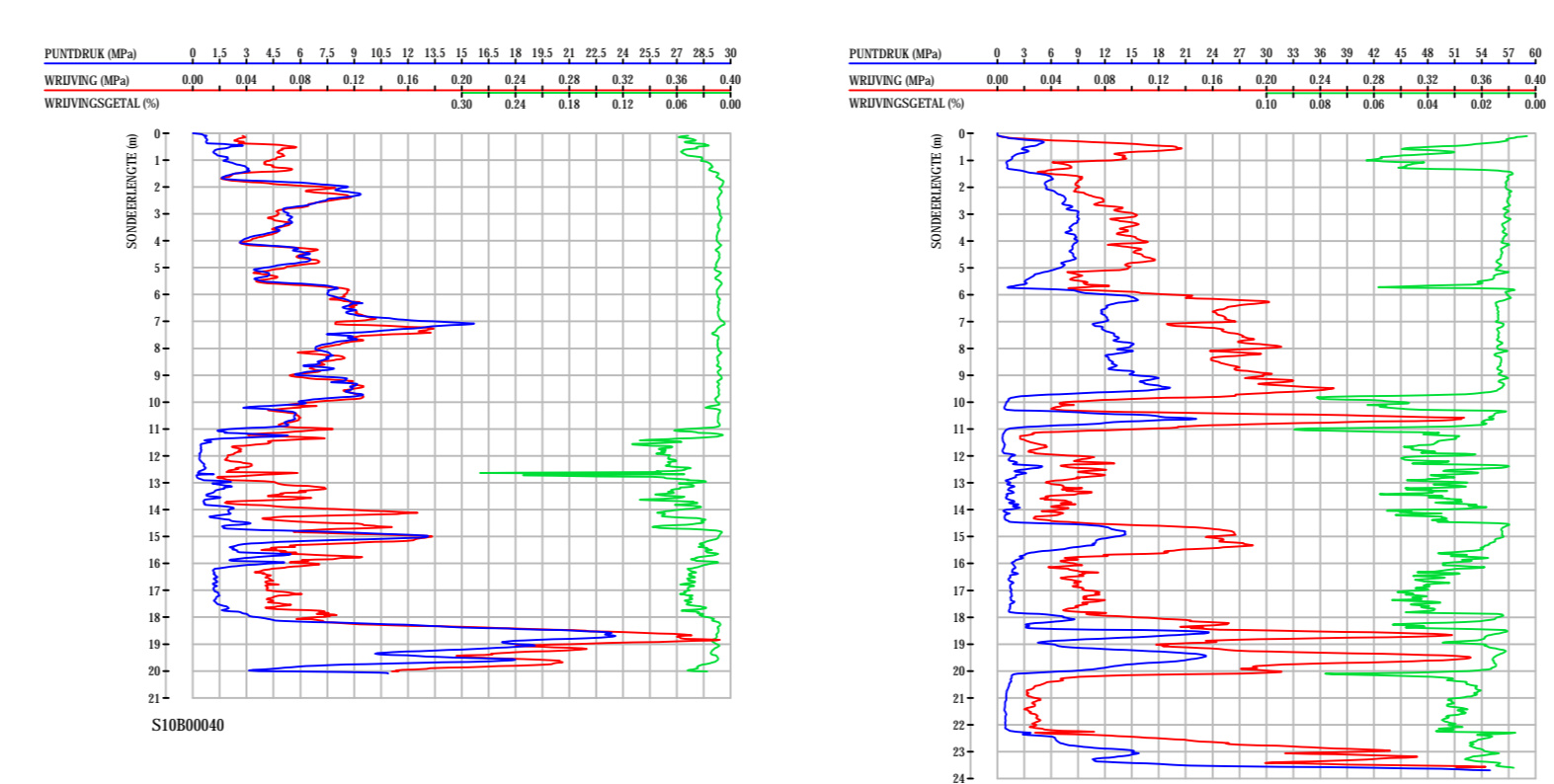


Lengteprofiel Boring A  
schaal 1:500



Doorsnede bundel  
schaal 1:5

3x Ø273.0mm ST, WD=12.5mm  
Met daarin:  
3x Ø200mm HDPE PE100 SDR17.6  
1x 114.3mm ST, WD=6.3mm  
Met daarin:  
1x Ø40mm HDPE PE100 SDR17.6



Legenda bestaande K&L

—	Ge
—	CO2 leiding
—	Electra LS
—	Electra MS
—	Electra HS
—	LD gasleiding
—	HD gasleiding
—	Gasleiding
—	Drainage
—	Rand
—	Drainage
—	KPI
—	Diverse Telecon (VPE, Eurobar, Tele2, enz)
—	Warmteleiding
—	Transport waterleiding
—	Wastele SV
—	Sondering
—	Grondbooring

0	21-08-2015	AL	RB	Voor vergoedingsaanvraag
Rev.	Datum	Get.	Gez.	WUZ/GMG

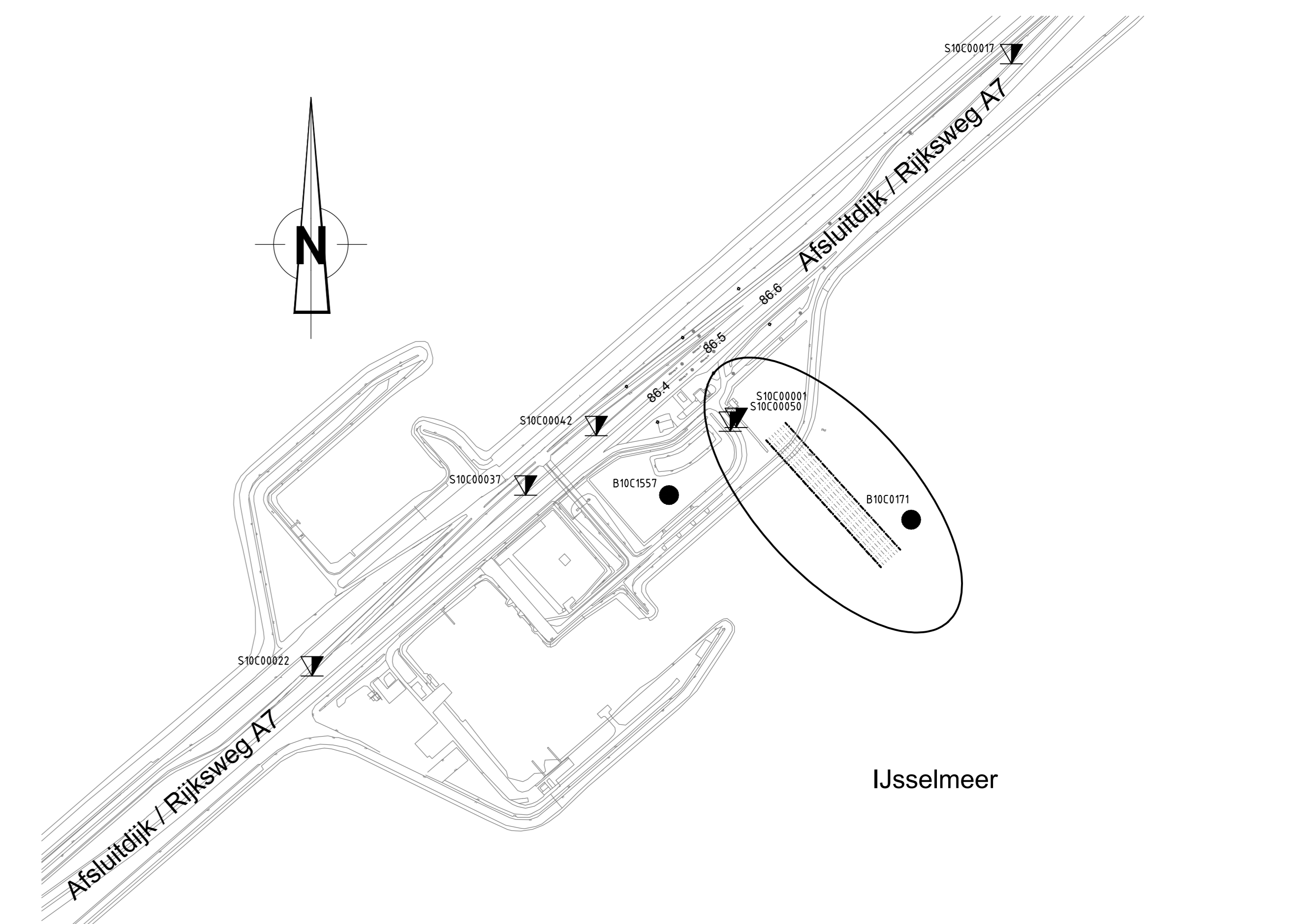
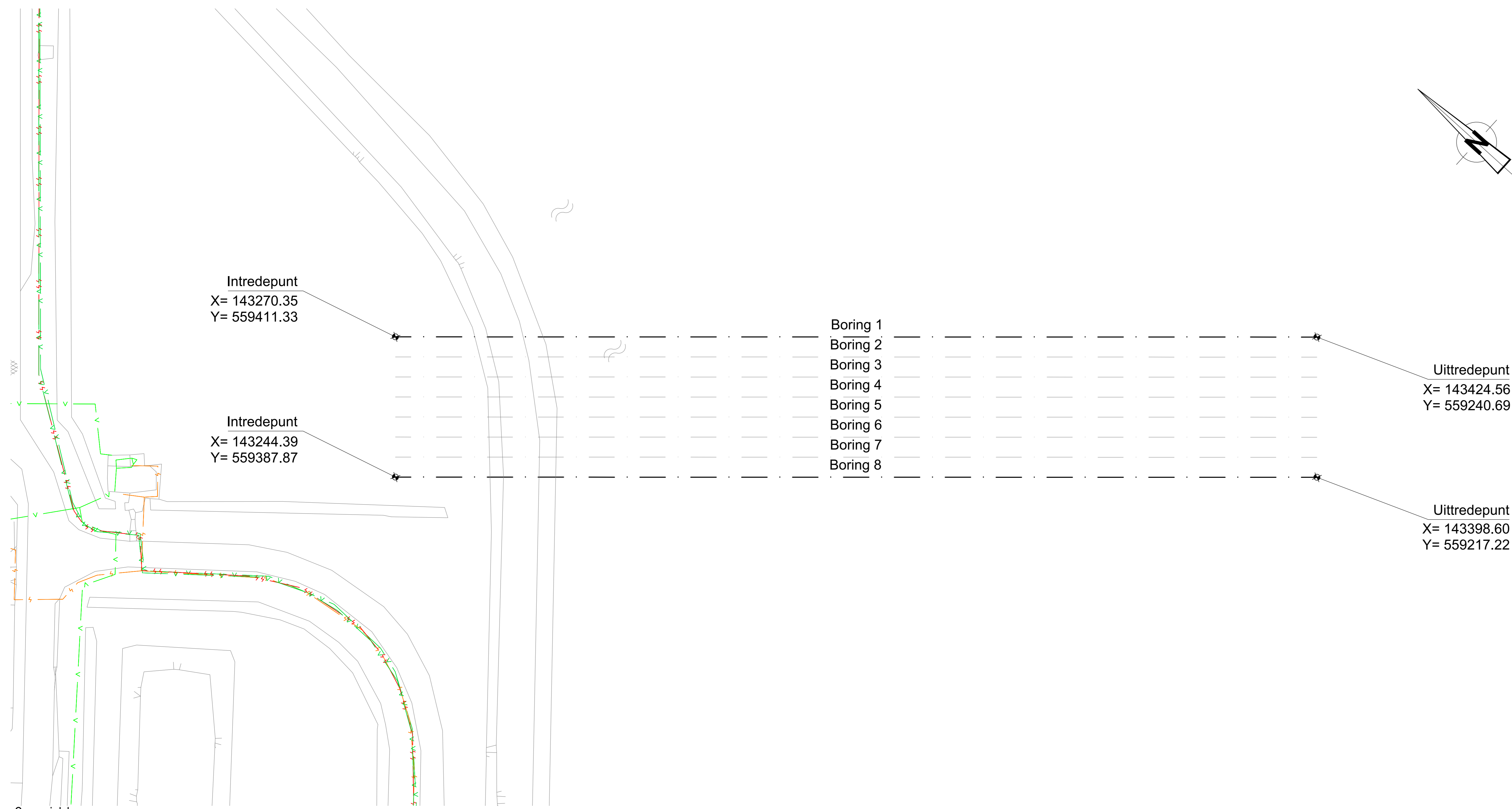
**Ventolines**

ONTWERP : B. Berger      GETEKEND : A. Lamerssen      DATUM : 21-08-2015  
 PROJECT : 482.15.2.039      SCHAAL : 1:10000 / 1:2000 / 1:1000 / 1:5      FORMAAT : A0  
 PROJECT : Windpark Fryslân  
 Afsluitdijk  
 Rijksweg A7 / Sluisweg km 96.148 - 97.378  
 ONDERWERP : Te maken gestuurde boring B

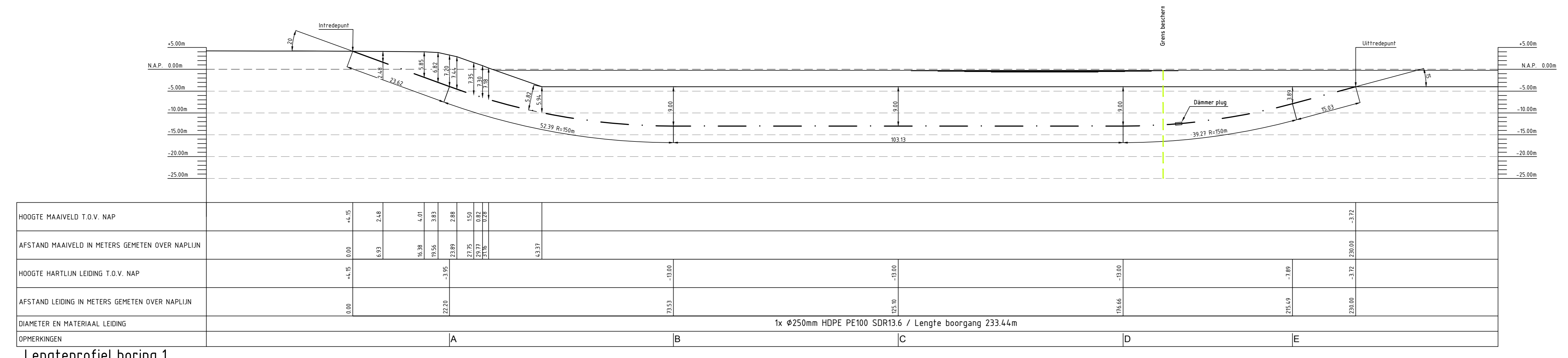
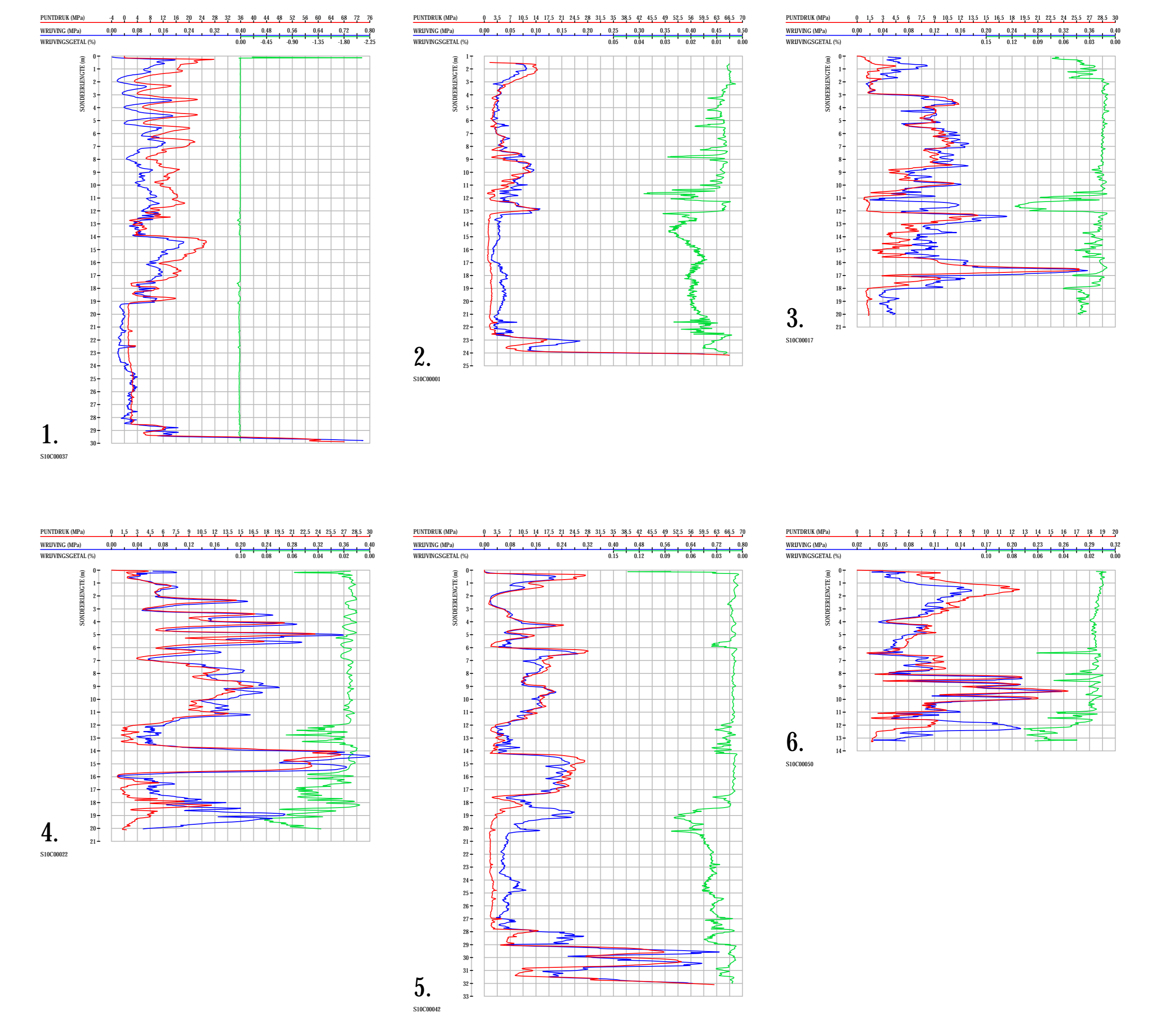
TEKENING NR.: 482.15.2.039-101



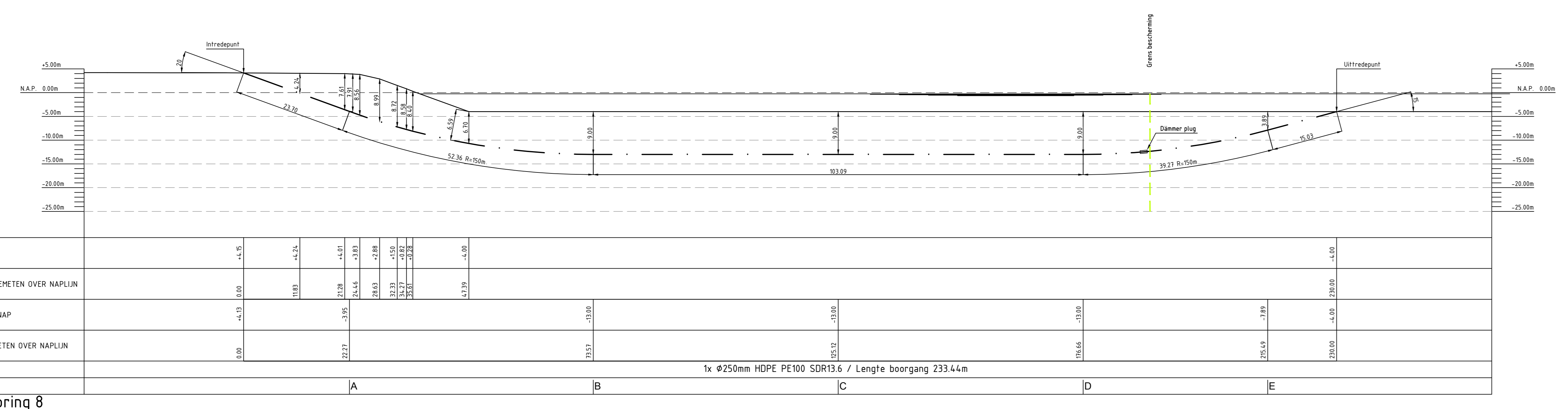




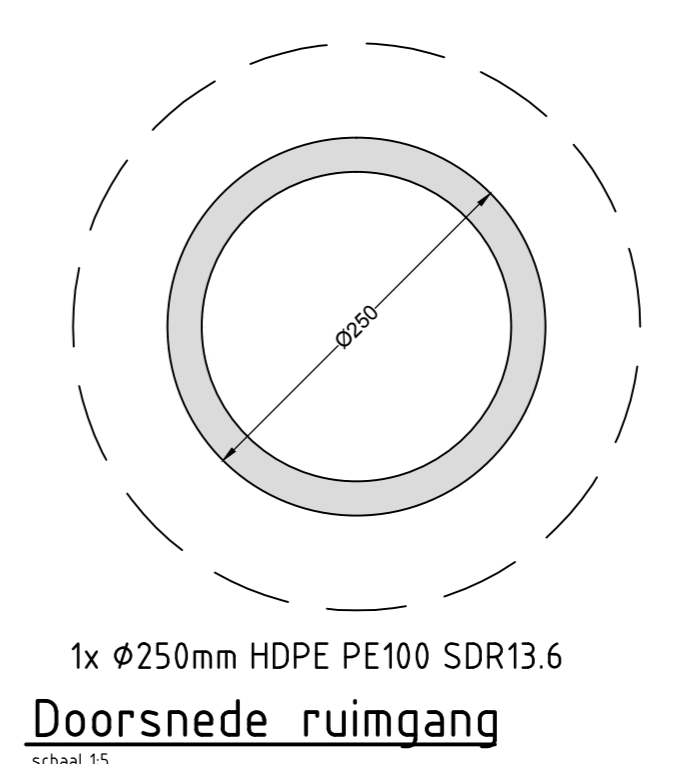
Overzicht  
schaal 1:500



Lengteprofiel boring 1  
schaal 1:500



Lengteprofiel boring 8  
schaal 1:500



	Coördinaten intredepunt		Coördinaten uitredepunt	
	X	Y	X	Y
Boring 2	143266.64	559407.98	143420.85	559237.34
Boring 3	143262.93	559404.63	143417.14	559233.98
Boring 4	143259.22	559401.27	143413.44	559230.63
Boring 5	143255.51	559397.92	143409.73	559227.28
Boring 6	143251.80	559394.57	143406.02	559223.93
Boring 7	143248.10	559391.22	143402.31	559220.58

Coördinaten boring 2 t/m 7

Legenda bestaande K&L

- G01 leiding
- G02 leiding
- Electrica IS
- Electrica HS
- L3 gasleiding
- H0 gasleiding
- Gasolie leiding
- Dakleiding
- Rood
- Drukreel
- PV
- Diverse Telenor (UPC, Eurofiber, Telaz, encl)
- Waterleiding
- Transport waterleiding
- Water IS
- Water HS
- Grondbooring

**Ventolines**

ONTWERP : R. Berger    GETEKEND : P. Bastiaens    DATUM : 21-08-2015  
 PROJECT : 482.15.2.039    SCHAAL : 15000 / 1500 / 15    FORMAAT : A0

PROJEKT : Windpark Fryslan  
 Locatie Breezandijk  
 Boring 1 t/m 8

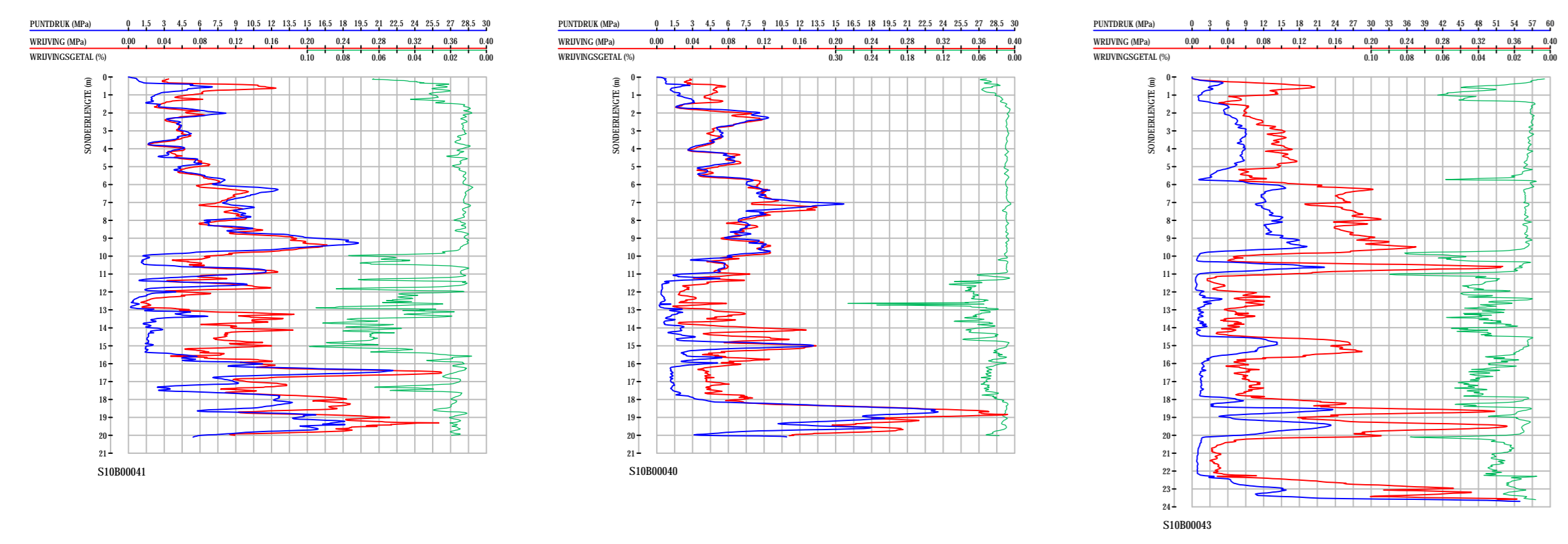
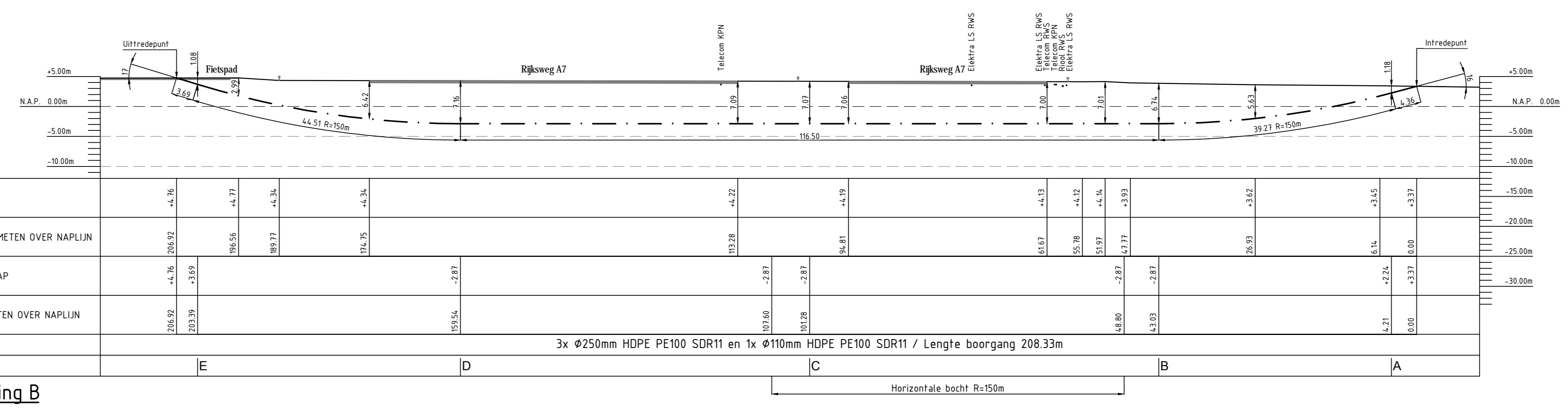
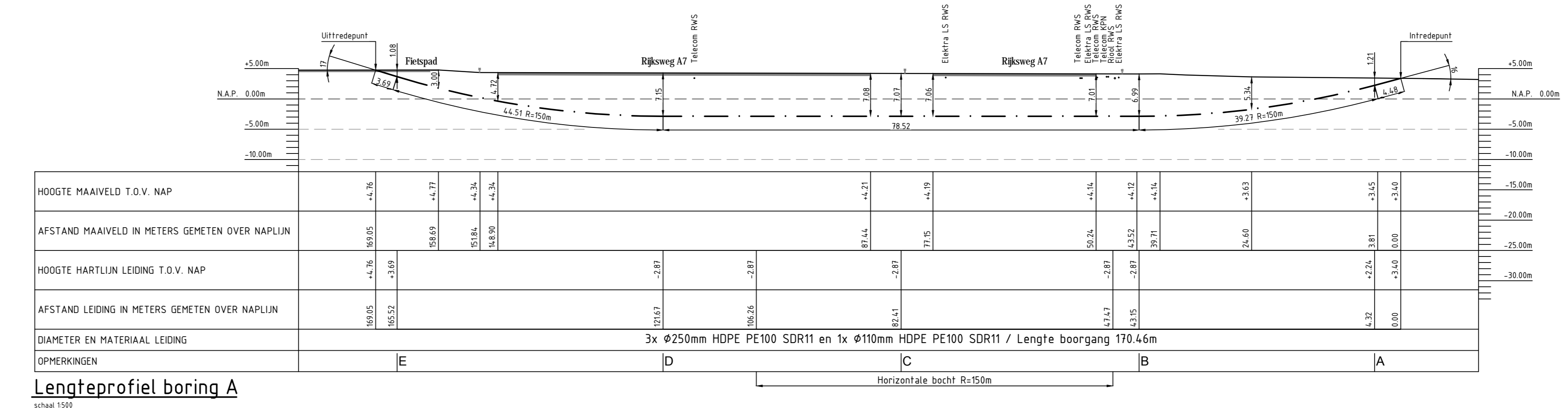
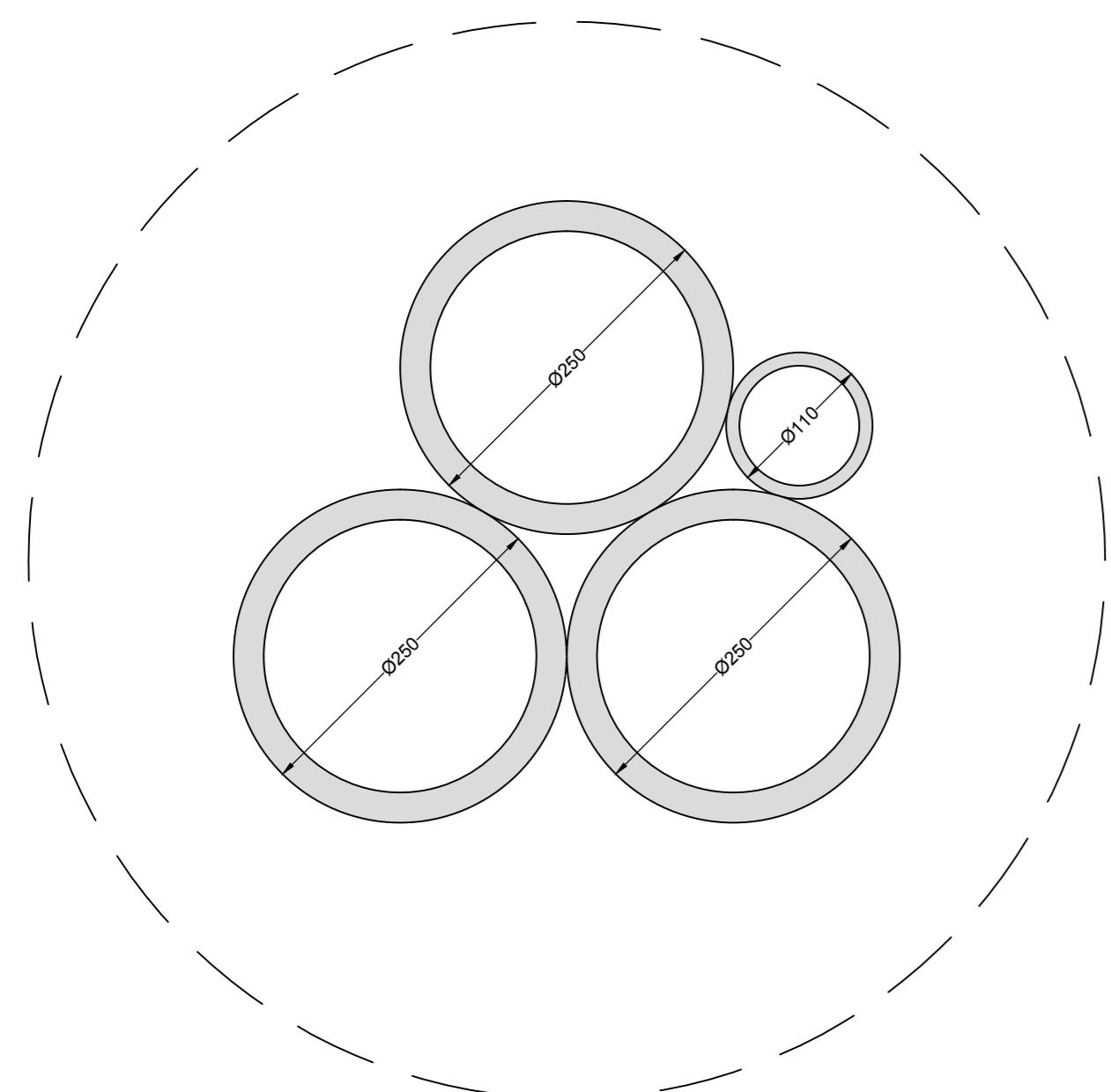
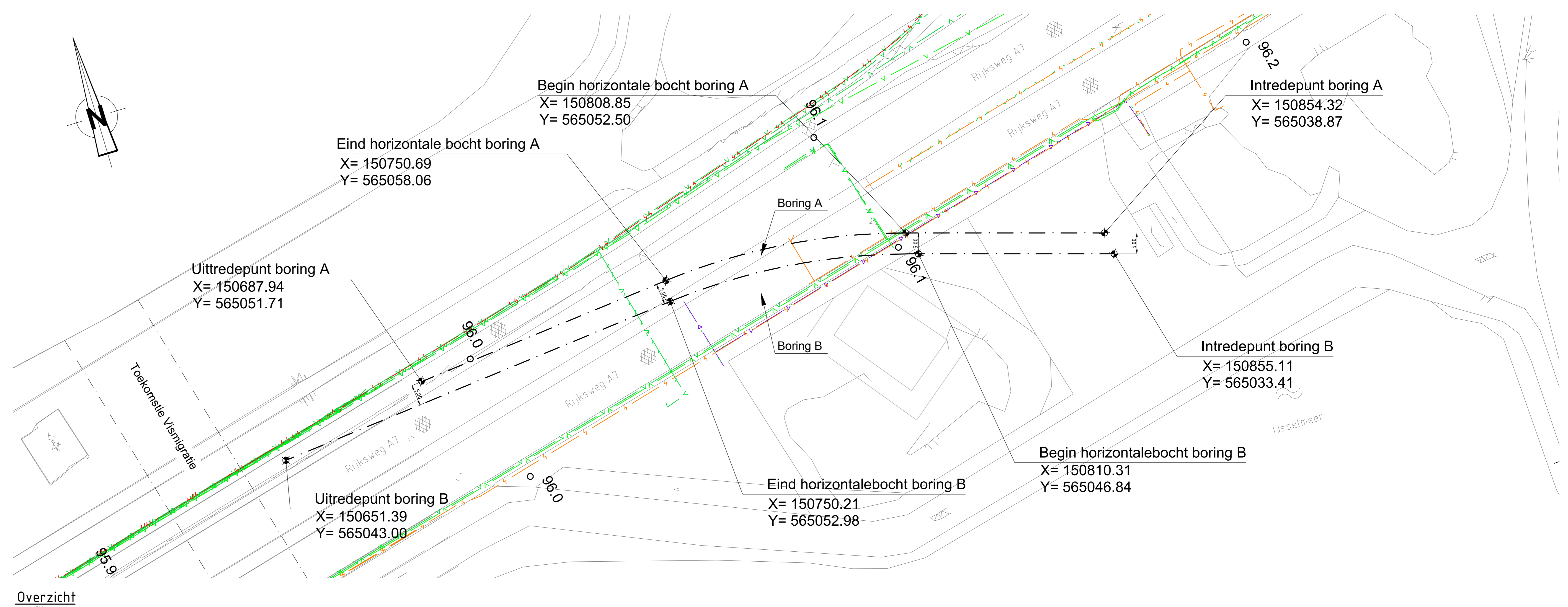
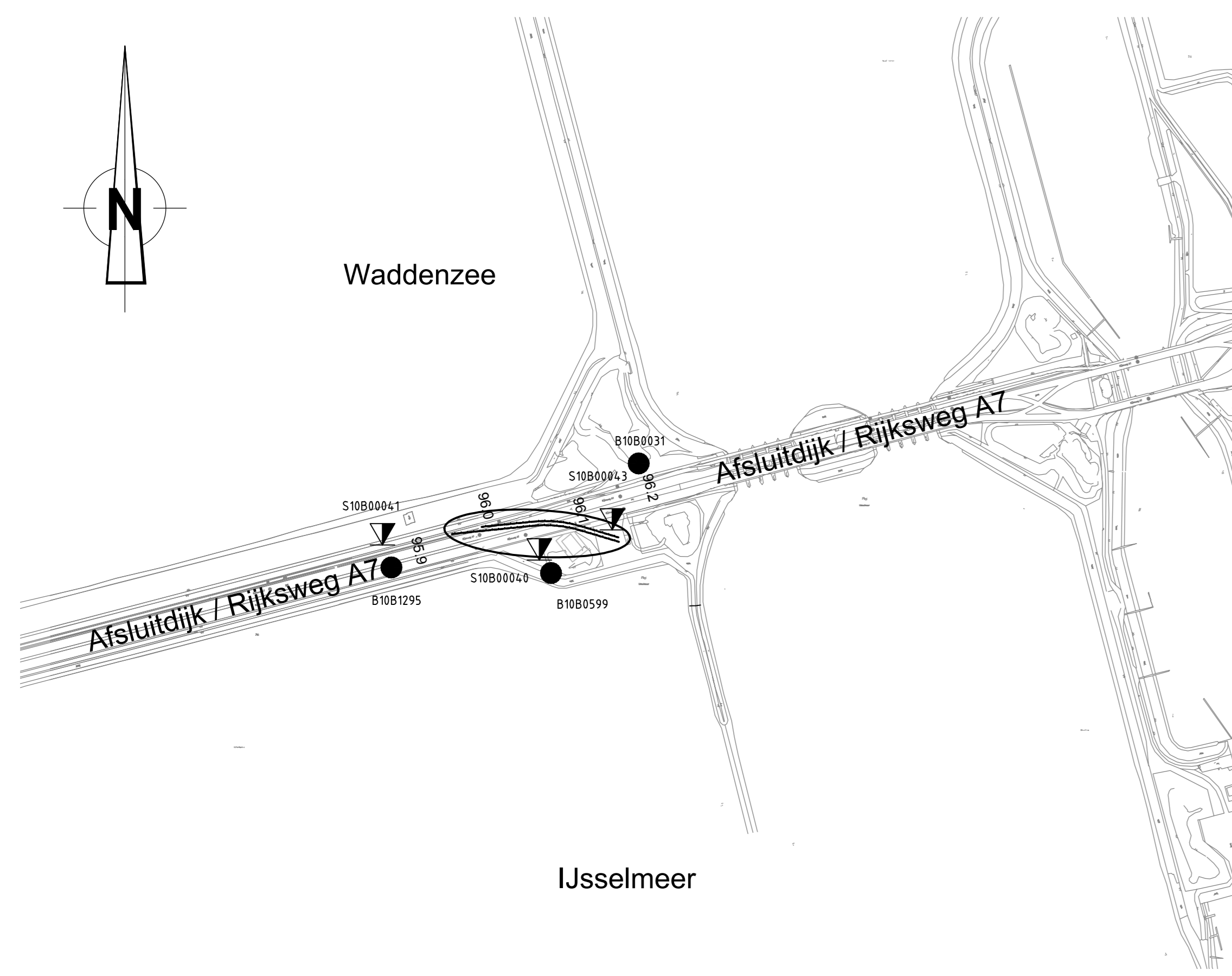
ONDERWERP : Te maken gestuurde boringen t.b.v. windparkbekabeling

TEKENING NR.: 482.15.2.039-102

Deze tekening is eigendom van de afdeling 1. De afbeelding is een kopie van de originele tekening. Het is niet toegestaan deze te kopiëren of te verspreiden.







**Legenda bestaande K&L**

- CO2 leiding
- Electra LS
- Electra MS
- Electra HS
- LD gasleiding
- HD gasleiding
- Emissie leiding
- Dakleiding
- Rook
- Stuurood
- KPN
- Overstroom Telerpa (Eurefiber, Tel2, email)
- Waterleiding
- Transport waterleiding
- Warmte SV
- Sondering
- Grondbooring

0 26-08-2015 AL RB Voor vergoedingaanvraag

Rec. Datum Get. Gez. WIJZIGING

**Ventolines**

ONTWERP : B. Berger GETEKEND : A. Lennersen DATUM : 26-08-2015

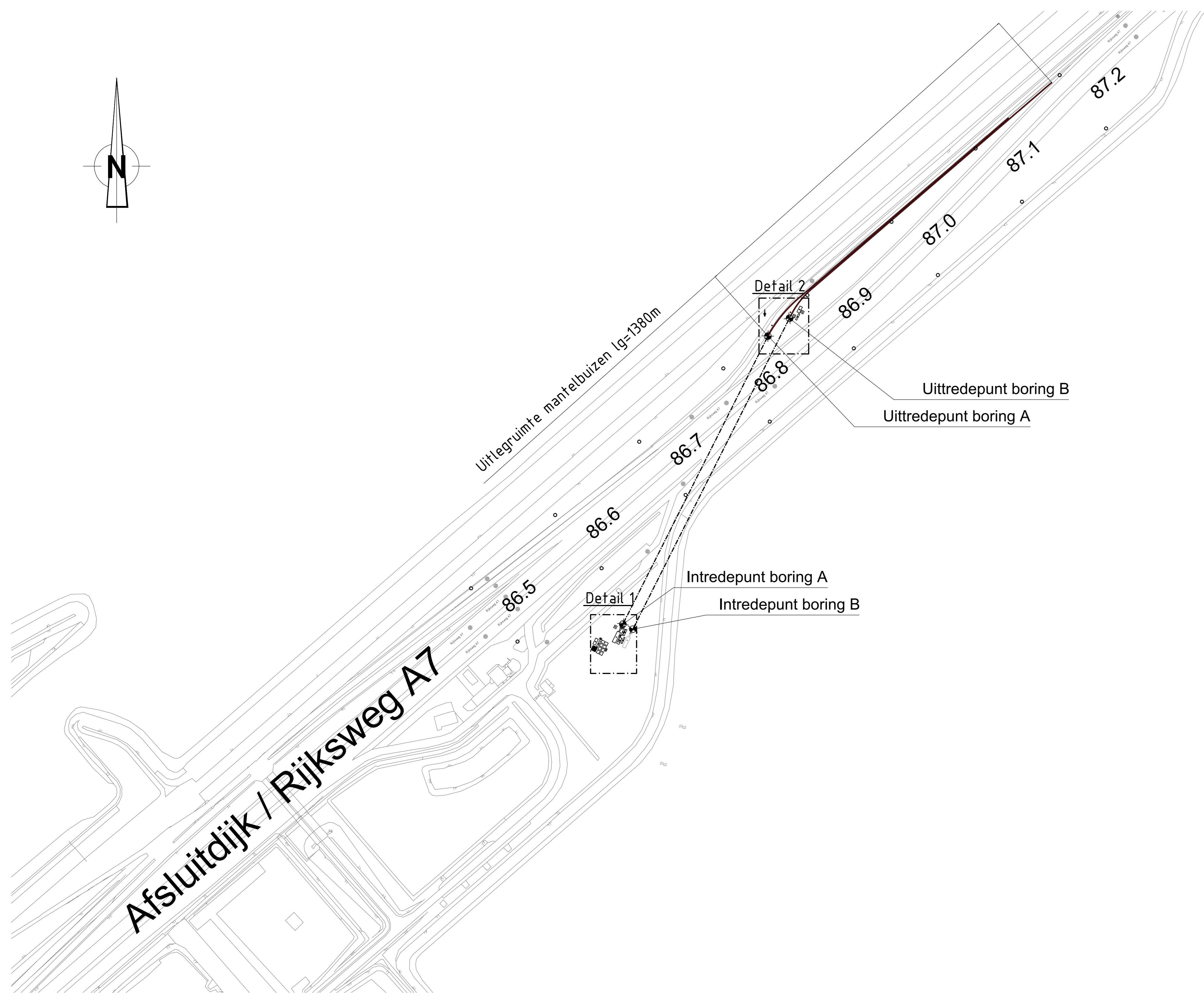
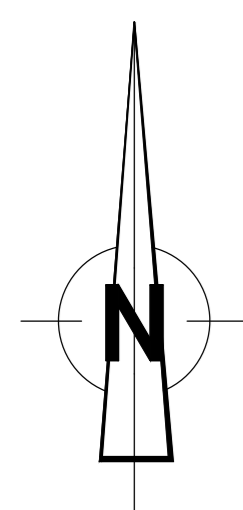
PROJEN : 482.15.2.039 SCHAAL : 1:500 / 1:250 / 1:5 FORMAAT : A1

Windpark Fryslan  
Afsluitdijk  
Rijksweg A7 km 95.952 - km 96.148

Te maken gestuurde boring

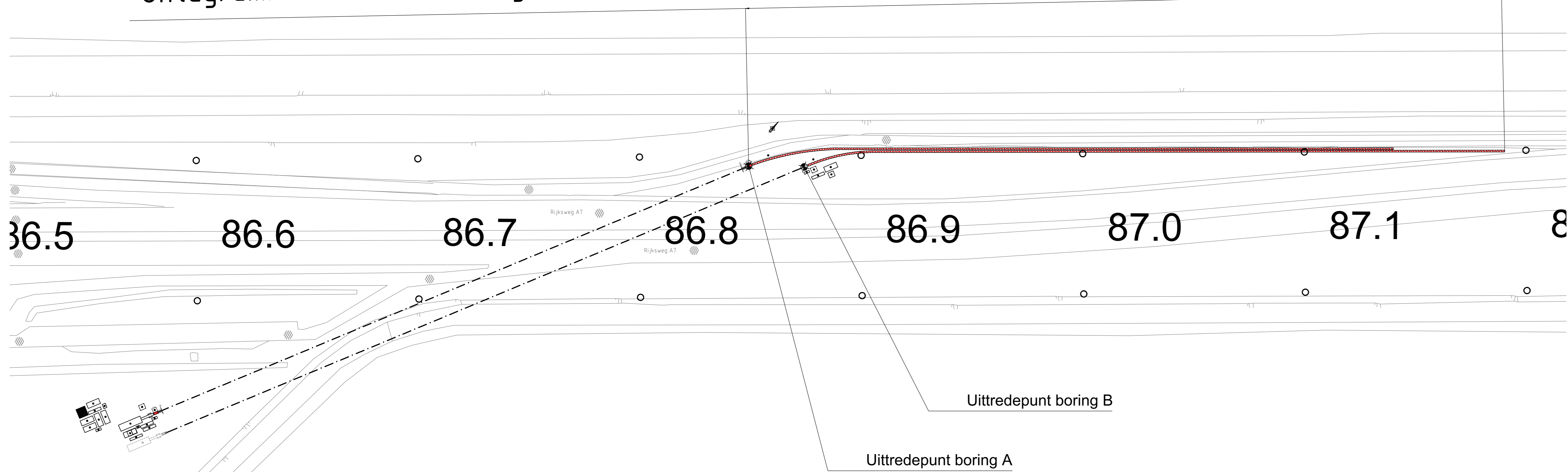
TEKENING NR. : 482.15.2.039-103

Projectlocatie: EST. 15.2.039-103\_2015.dwg Locatie: 482.15.2.039-103 Print d.d. 06-09-2015 Schaal en AutoCAD 2015

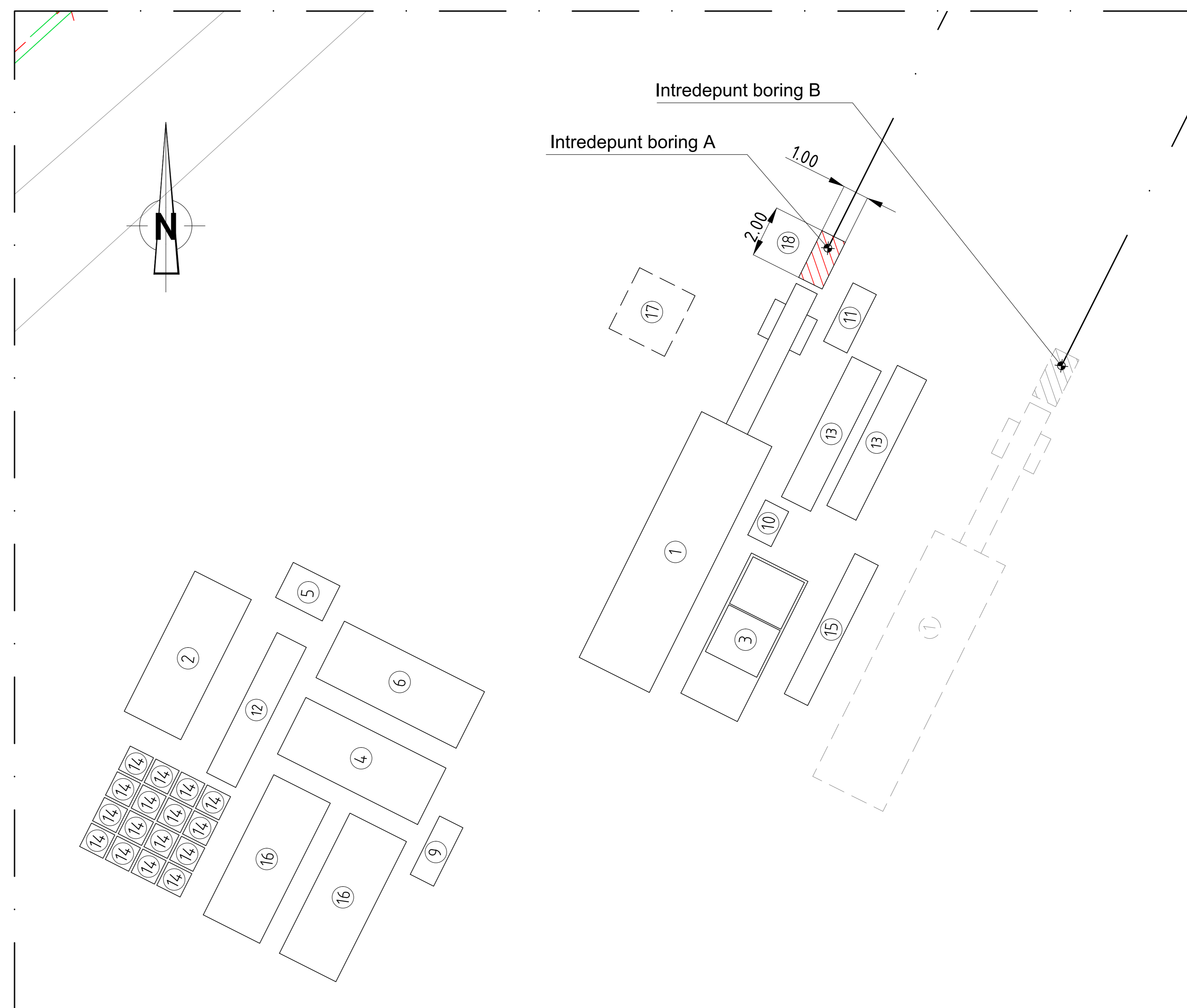


Ovezicht

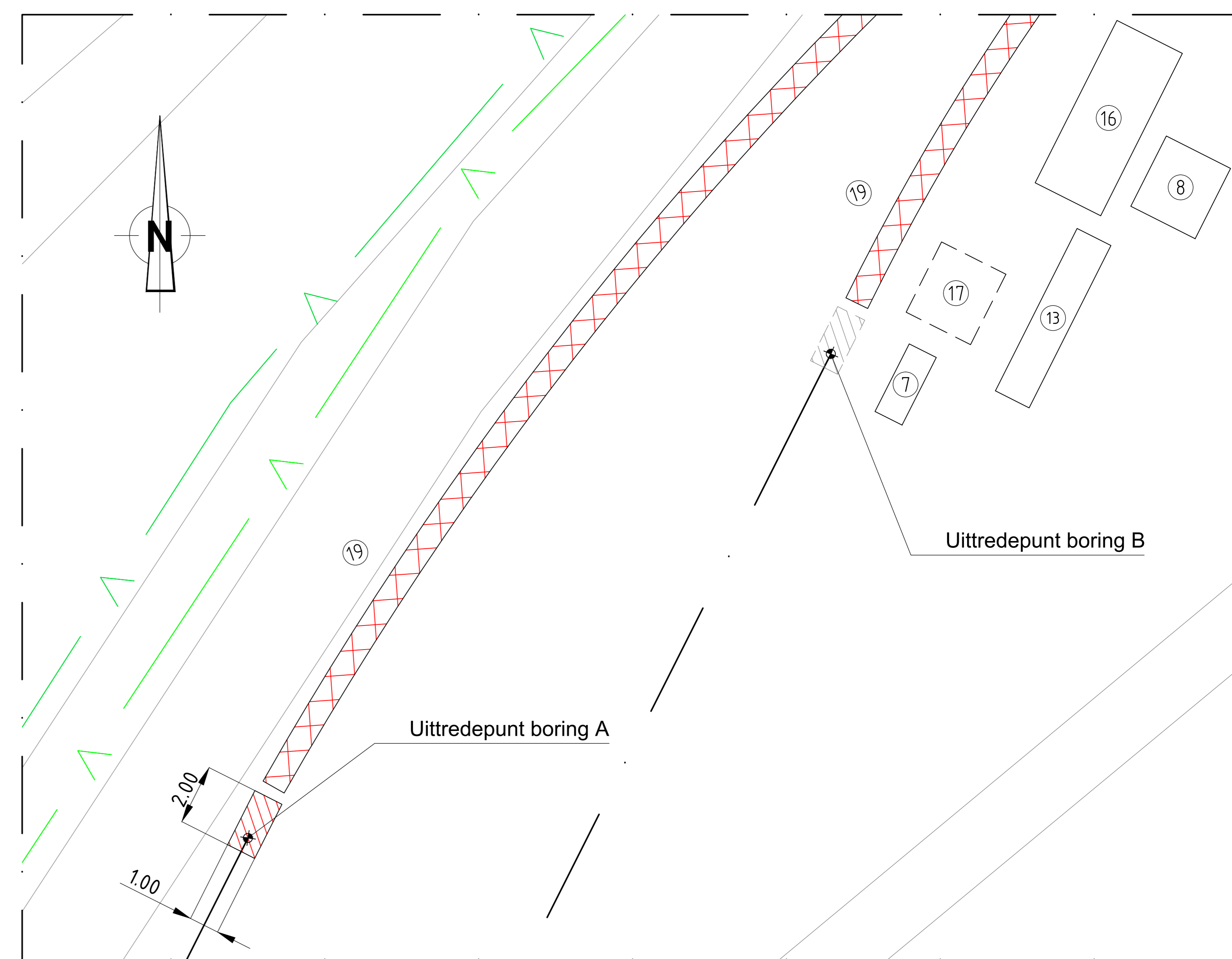
Uitlegruimte mantelbuizen lg=1380m



Ovezicht uitlegruimte mantelbuizen



Detail 1  
schaal 1:100

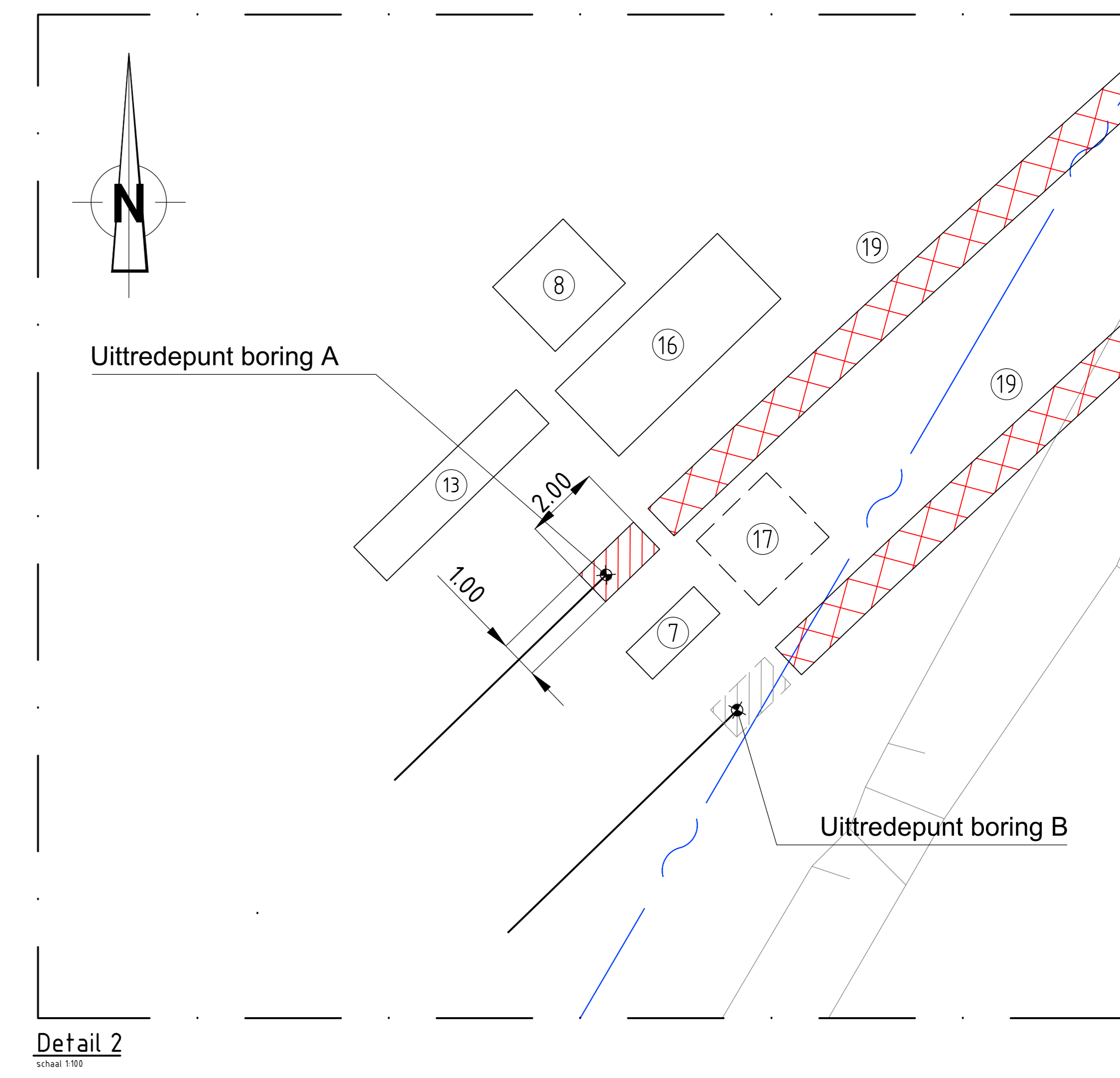
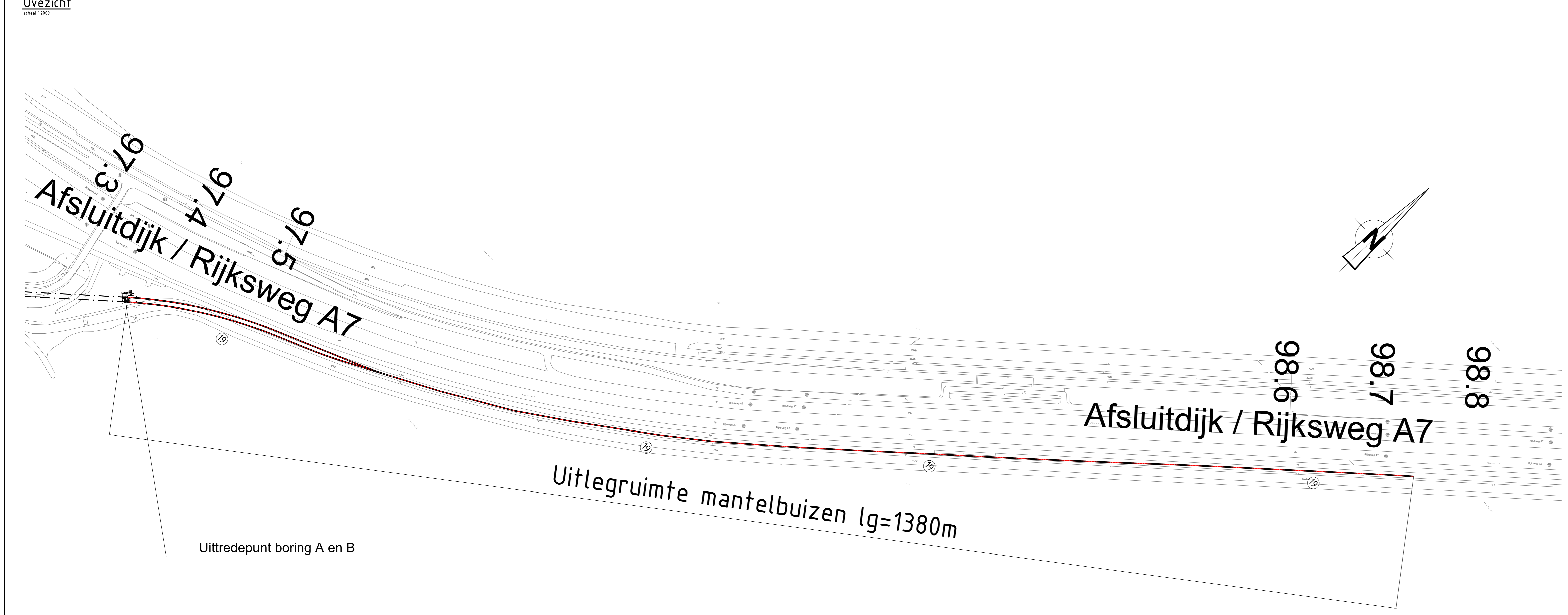
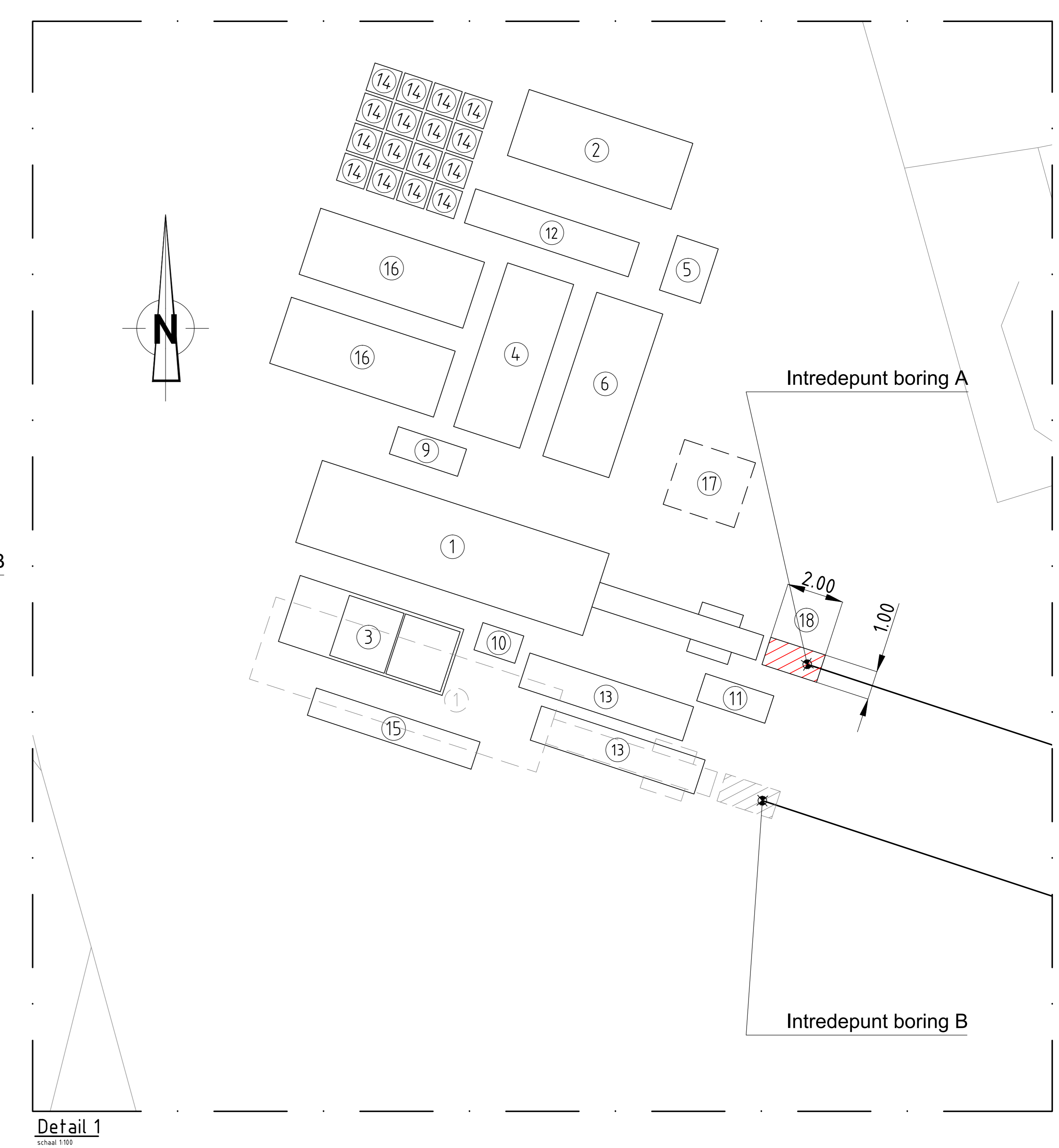
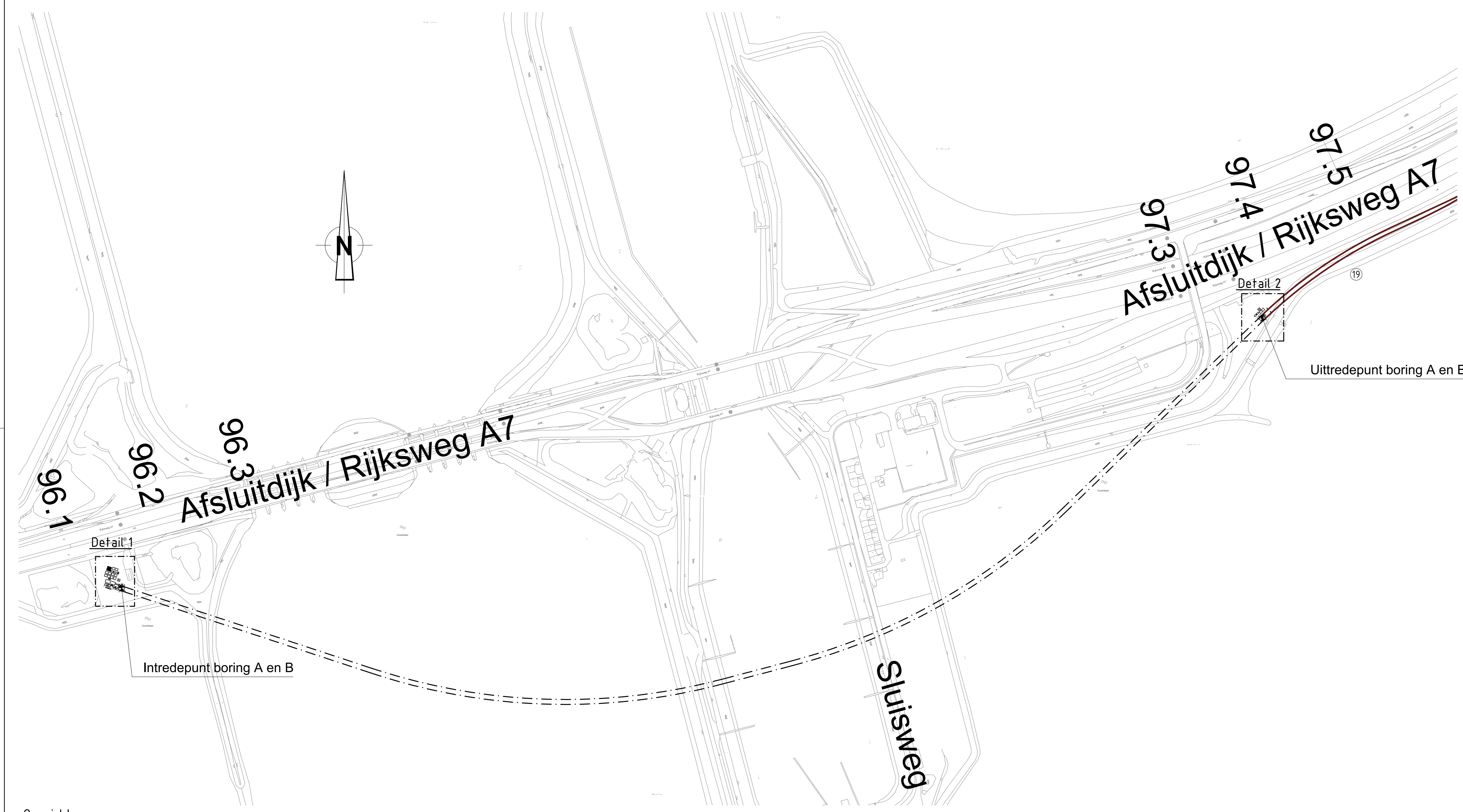


Detail 2  
schaal 1:100

1. HANDEL 100 TON
2. SCHAFFENPLAATSCONTAINER
3. ONTANINGSINSTALLATIE 12000 L/MIN
4. BENTONIT MOBIELINSTALLATIE
5. VULLOFTANER
6. HD-BENTONITPOMP 12500 L/MIN
7. BENTONITPOMP
8. ONTANINGSINSTALLATIE
9. AGGREGAAT 150 KW
10. AGGREGAAT 75 KW
11. POMP 500 TORQUE
12. GASOLETANK
13. BENTONIT
14. REX VOOR SLANDE+RPE BUZEN
15. BUISCONTAINER 18 V. BOORSPILING
16. MOBIEL KRAN
17. WERKPLAAT 2.50m x 1.00m x 1.00m
18. Uitlegruimte voor mantelbuizen

ONTWERP : R. Berger	GETEKEND : P. Buskiesen	DATUM : 27-08-2015
PROJ.NR. : 482.15.2.039	SCHAAL : 1:2000 / 1:1000 / 1:100	FORMAAT : A0
<b>Ventolines</b>		
Windpark Fryslan Breezandijk Rijksweg A7 / Sluisweg km 86.581 - 87.091		
Opstellingstekening bouwlocatie boring 106 (A) en 106 (B)		
TEKENING NR. : 482.15.2.039-202		

Breedtebeeld: 482.15.2.039-202\_A0.dwg - Layer: 482.15.2.039-202\_Plot - 482.15.2.039-202\_Scherm en A0.dwg 2015/08/27 10:00:00



Overzicht  
schaal 1:2000

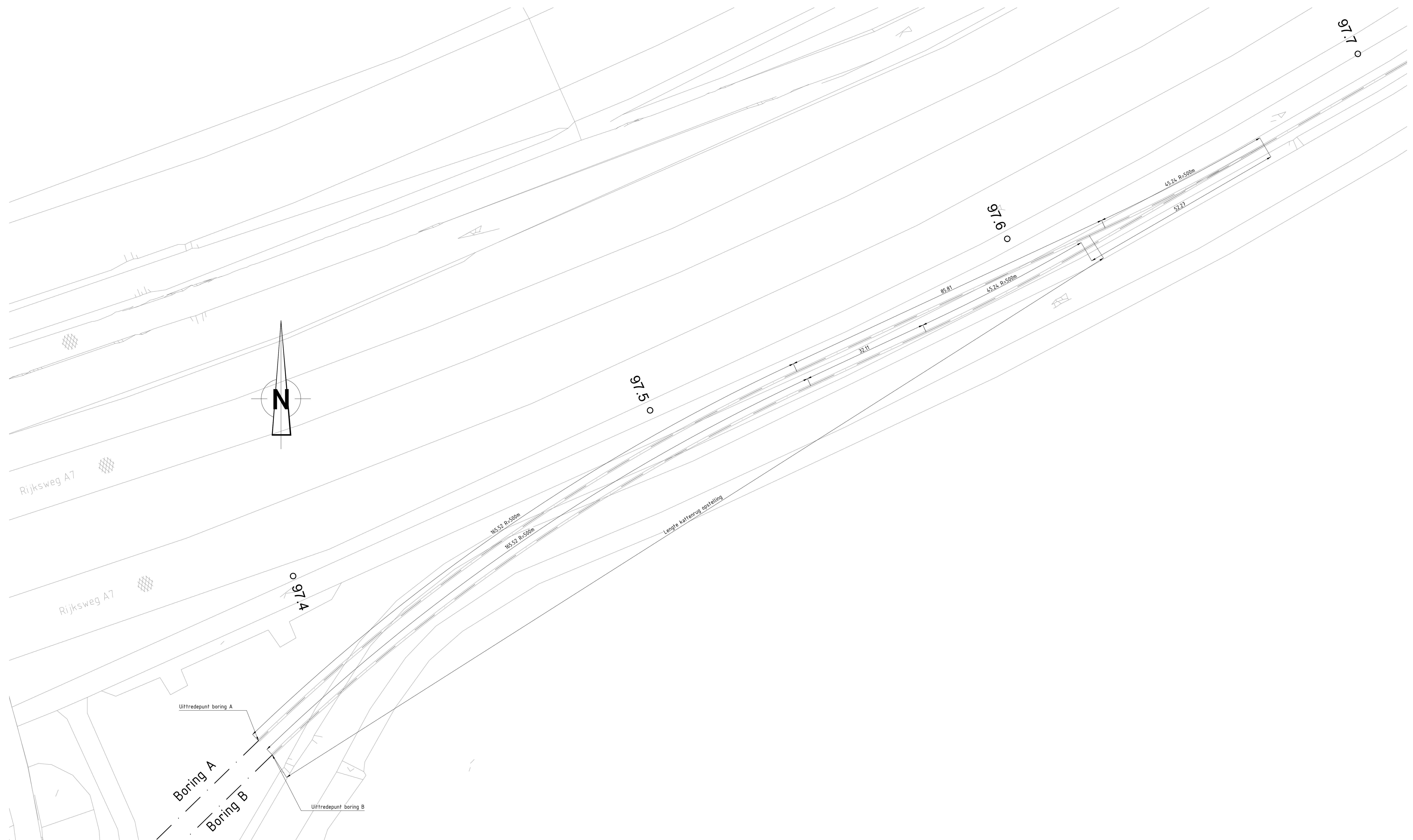
Detail 1  
schaal 1:100

Detail 2  
schaal 1:100

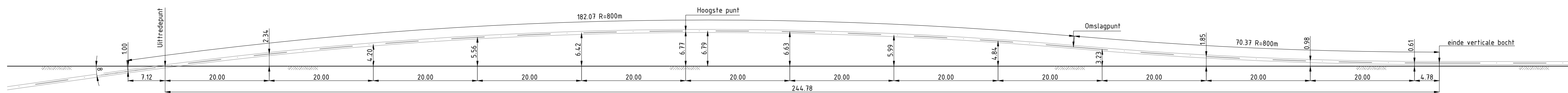
Overzicht uitlegruimte mantelbuizen  
schaal 1:2000

- 1. HANDELING 100 TON
- 2. SCHAFFENPLAATSCONTAINER
- 3. ONTZANINGSINSTALLATIE 12500 L/1000
- 4. BENTONIT MOBIELINSTALLATIE
- 5. VULLOFTANER
- 6. HD-BENTONITPOMP 12500 L/1000
- 7. BENTONITPOMP
- 8. ONTZANINGSINSTALLATIE
- 9. AGGREGAAT 150 KW
- 10. AGGREGAAT 75 KW
- 11. POMP 500 L/1000
- 12. GASOLETANK
- 13. BENTONIT
- 14. REX VOOR SLANEN+HOPPE BUZEN
- 15. BUISCONTAINER 18 V. BOORSPILING
- 16. MOBIEL KRAN
- 17. MOBIEL KRAN
- 18. WERKPLAAT 2.50m x 1.00m x 1.00m
- 19. Uitlegruimte voor mantelbuizen

ONTWERP : R. Berger	GETEKEND : A. Lamersen	DATE : 26-08-2015
PROJ. NR. : 482.15.2.039	SCHAAL : 1:2000 / 1:100	FORMAAT : A0
<b>Ventolines</b>		
Windpark Fryslan		
Afsluitdijk		
Rijksweg A7 / Sluisweg km 96.148 - 98.715		
Opstellingstekening bouwlocatie boring 100 (A) en 101 (B)		
TEKENING NR. : 482.15.2.039-200		



Ovezicht  
schaal 1:500



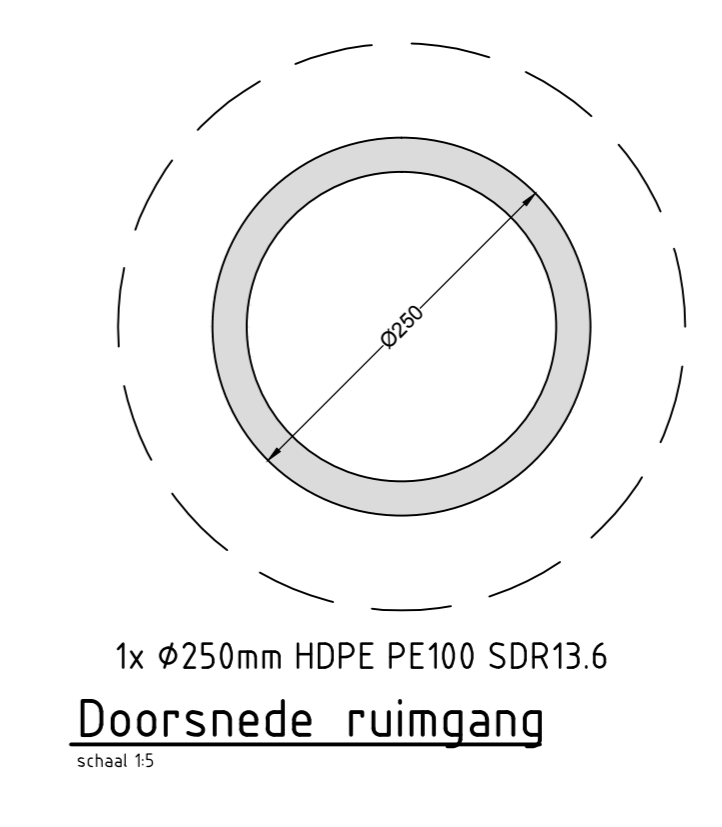
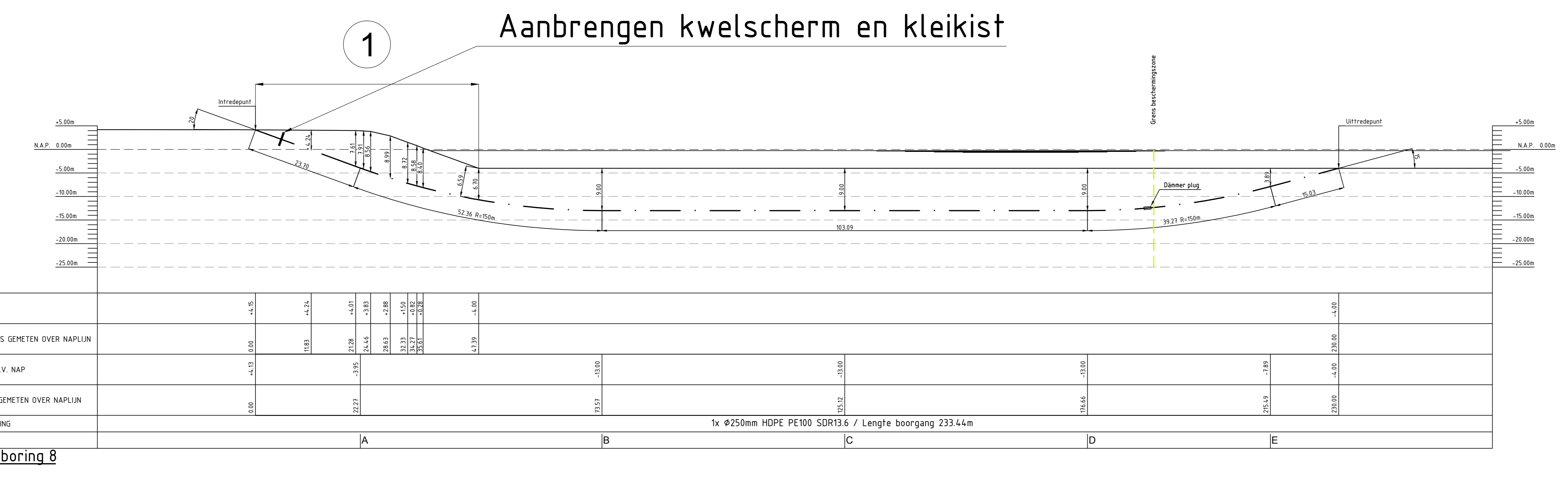
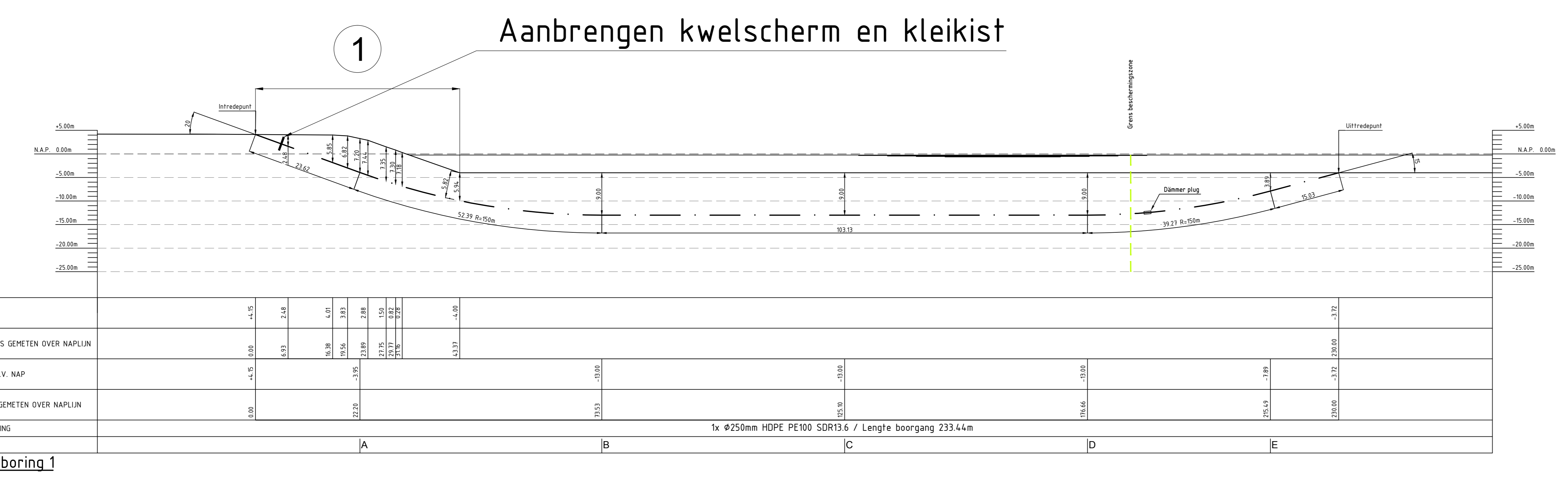
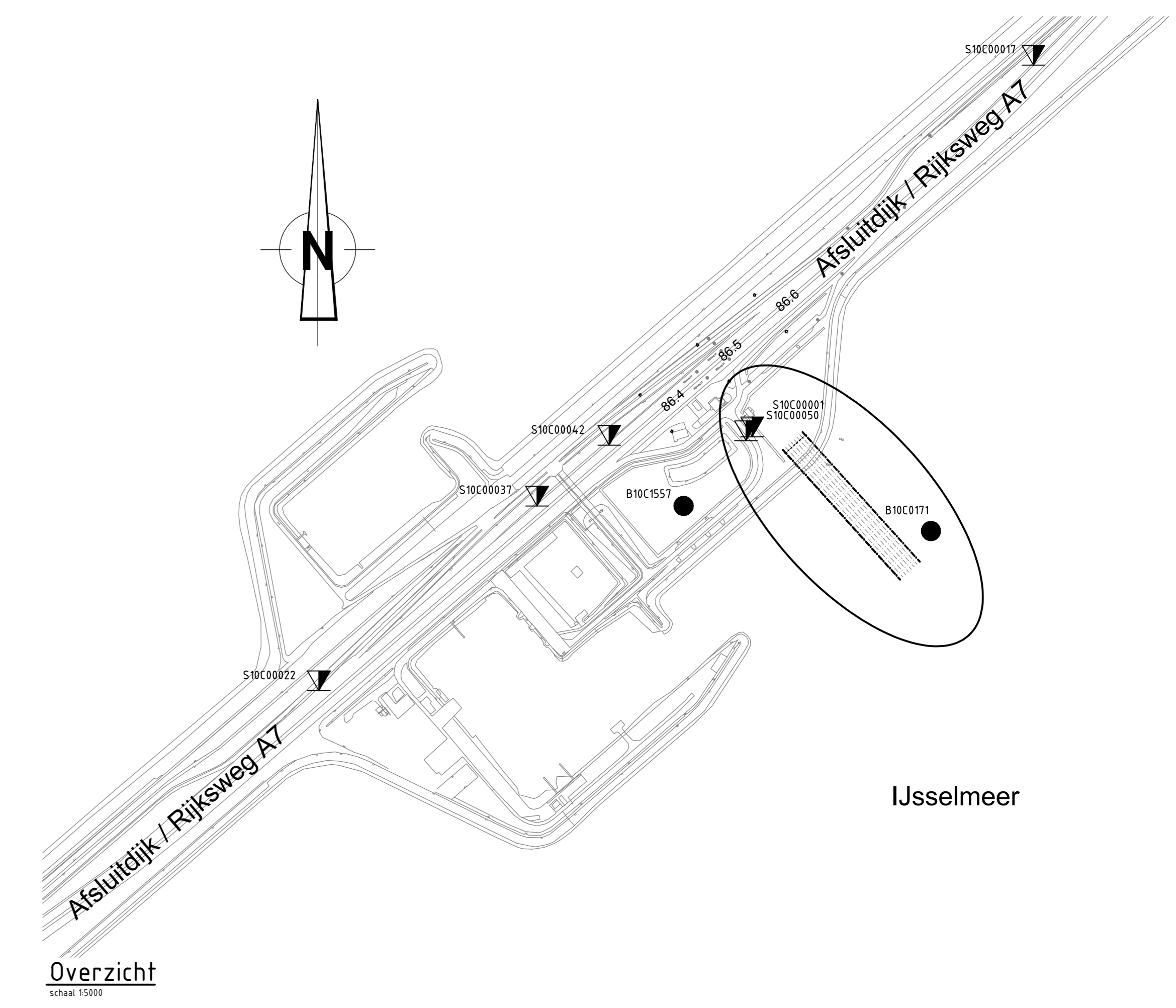
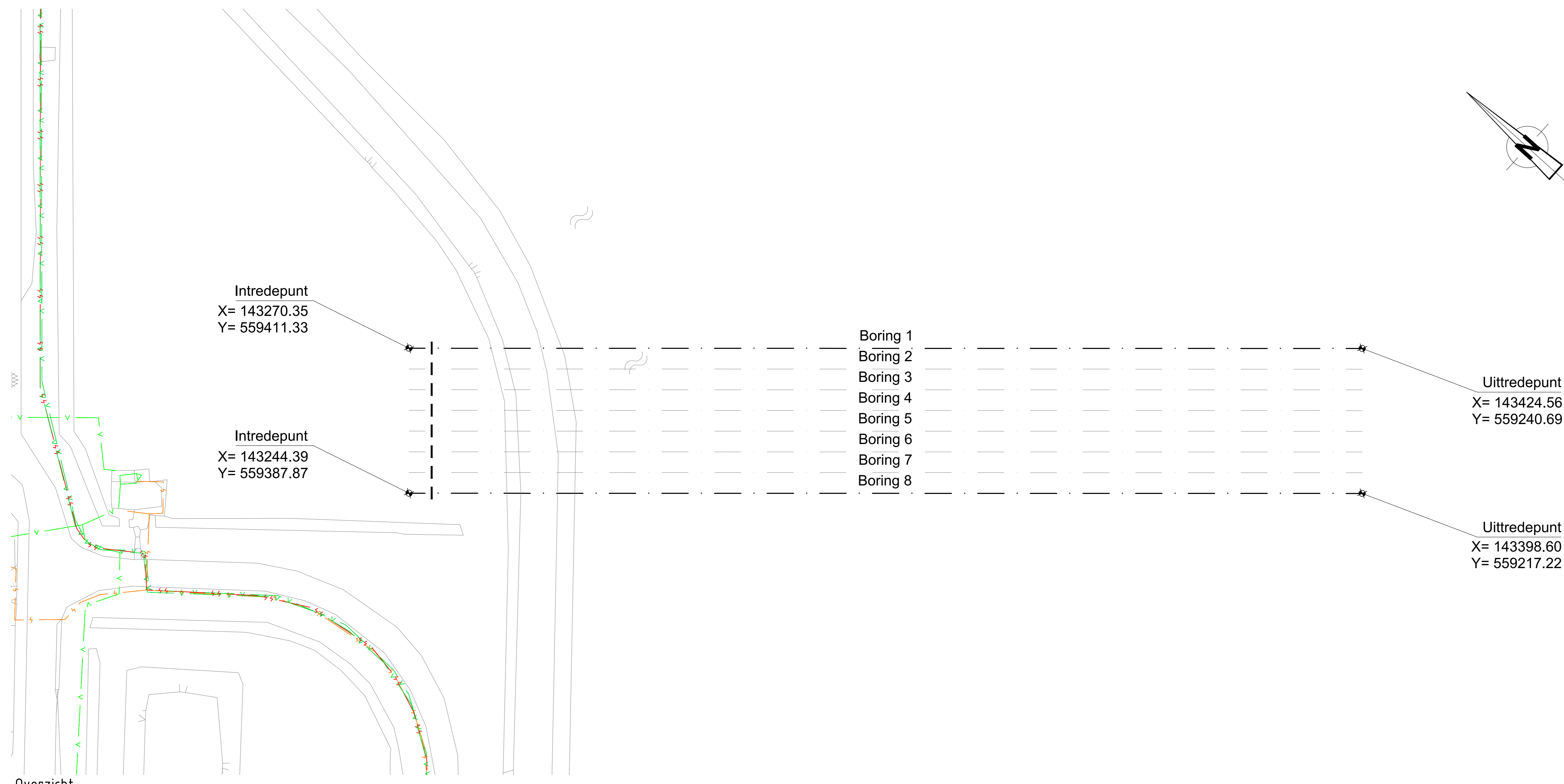
Detail kattenrug  
schaal 1:500

0	26-08-2015	AL	RB	Voor vergunningaanvraag
Rev	Datum	Get	Gez	WIJZIGING
ONTWERP	: R. Berger	GETEKEND	: A. Lammersen	DATUM : 26-08-2015
PROJNR	: 482.15.2.039	SCHAAL	: 1:500	FORMAAT : A0
PROJEC	Windpark Fryslan			
ONDERWERP	Afsluitdijk			
	Rijksweg A7 / Sluisweg km 97.360 - 97.620			
	Kattenrug boring 100 (A) en 101 (B)			
TEKENING NR.				482.15.2.039-201

Deze tekening is eigendom van a.h.k B.V. Zonder haar toestemming mag niet uit deze tekening worden getekend, gekopieerd of aan derden ter beschikking worden gesteld.

B:\Fransman\482.15.2.039-201\_20.dwg Layout: 482.15.2.039-201\_Plot.dwg 14-07-2015 Saved as: AardCAD.R2004





	Coördinaten intredepunt		Coördinaten uitredepunt	
	X	Y	X	Y
<b>Boring 2</b>	143266.64	559407.98	143420.85	559237.34
<b>Boring 3</b>	143262.93	559404.63	143417.14	559233.98
<b>Boring 4</b>	143259.22	559401.27	143413.44	559230.63
<b>Boring 5</b>	143255.51	559397.92	143409.73	559227.28
<b>Boring 6</b>	143251.80	559394.57	143406.02	559223.93
<b>Boring 7</b>	143248.10	559391.22	143402.31	559220.58

Coördinaten boring 2 t/m 7

**Legenda bestaande K&L**

- Co
- CO2 leiding
- Electra LS
- Electra HS
- L3 gasleiding
- H2 gasleiding
- Gasolie leiding
- Drukvoorziening
- Drukwatervoorziening
- Diverse Telecom (GPE, Eurofiber, Tele2, etc.)
- Waterleiding
- Transport waterleiding
- Warmeris 5V
- Boring
- Grondbooring

**Ventolines**

ONTWERP : R. Berger  
PROJ. NR. : 482.15.2.039  
ONDERWERP : **Locatie 1 kweleberekening**

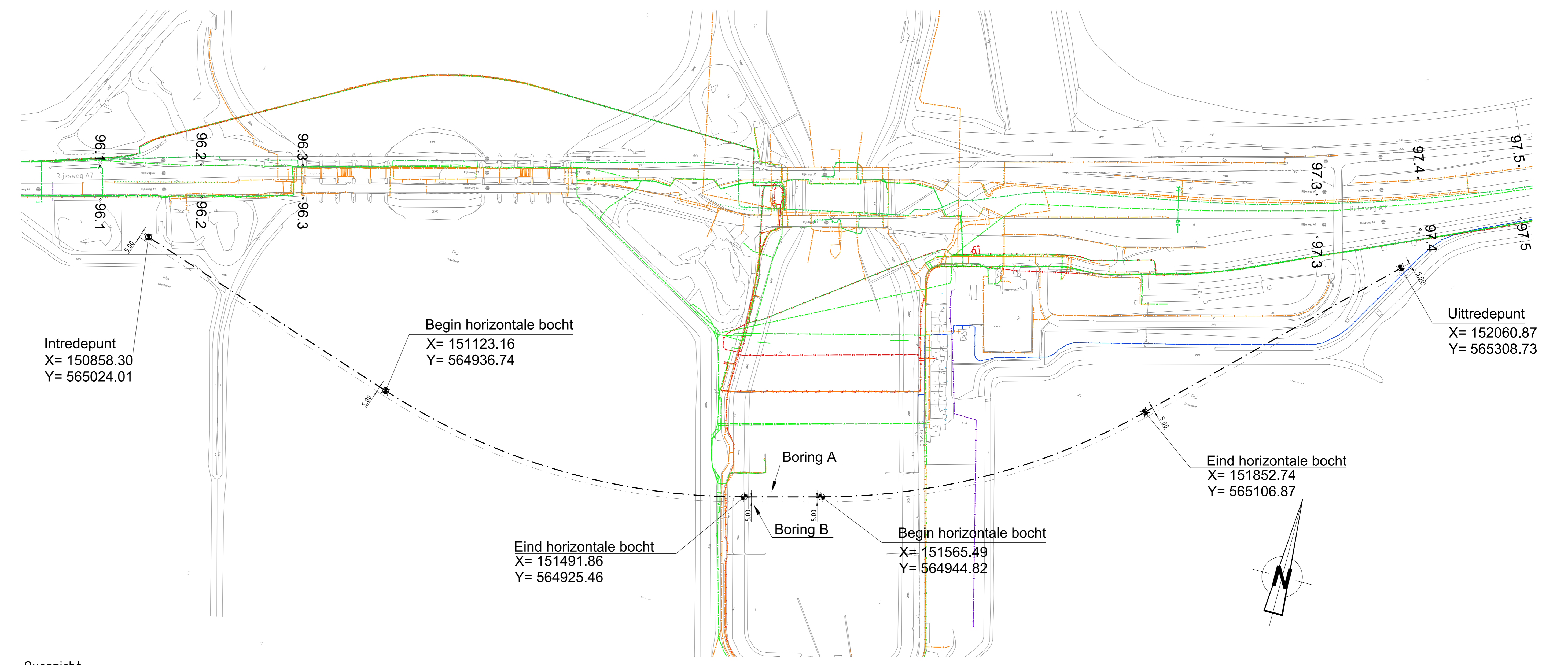
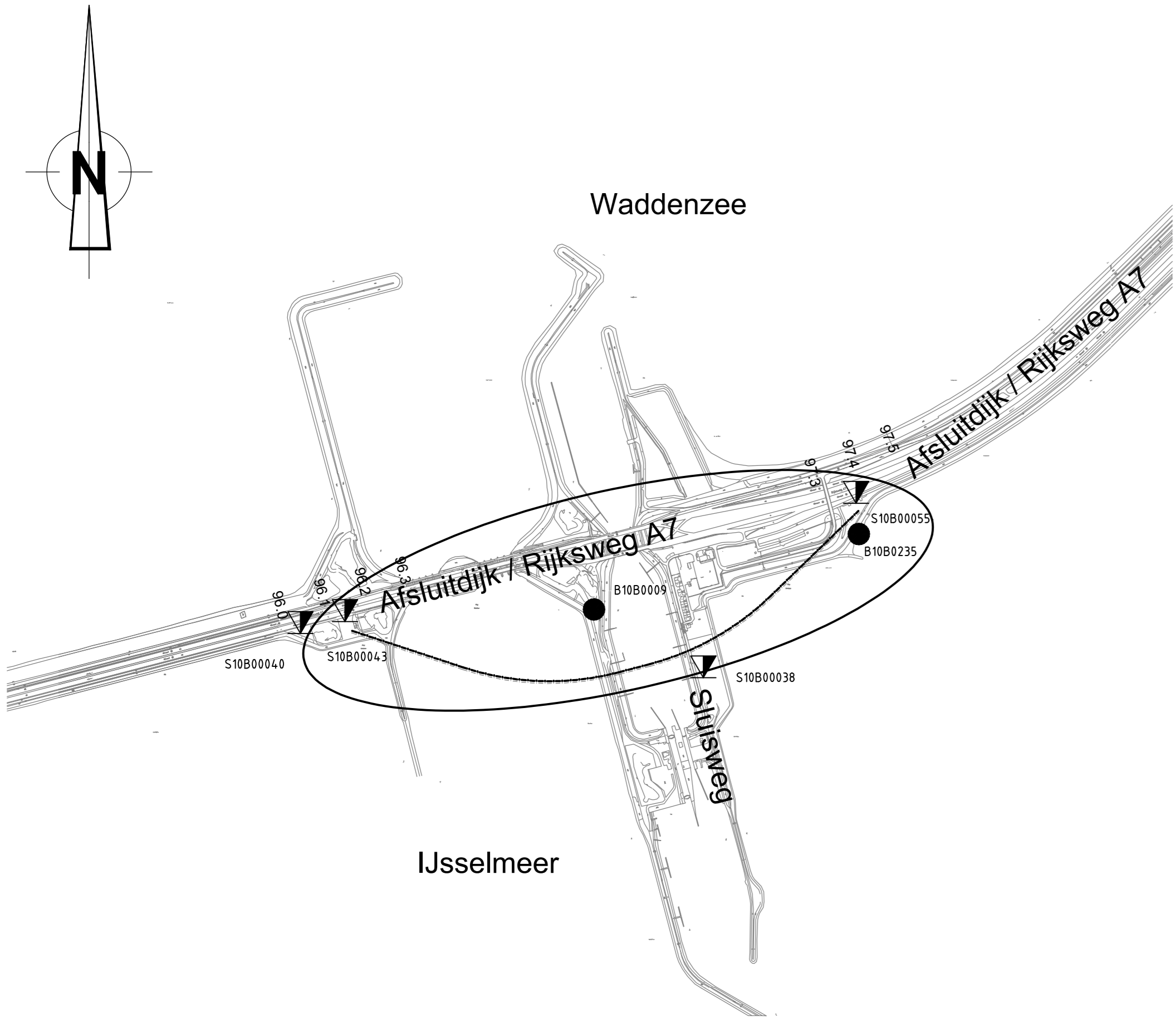
GETEKEND : P. Buissonen  
SCH. NR. : 15000 / 1500 / 15  
TEK. NR. : 482.15.2.039-132

DATUM : 21-08-2015  
FORMAAT : A3

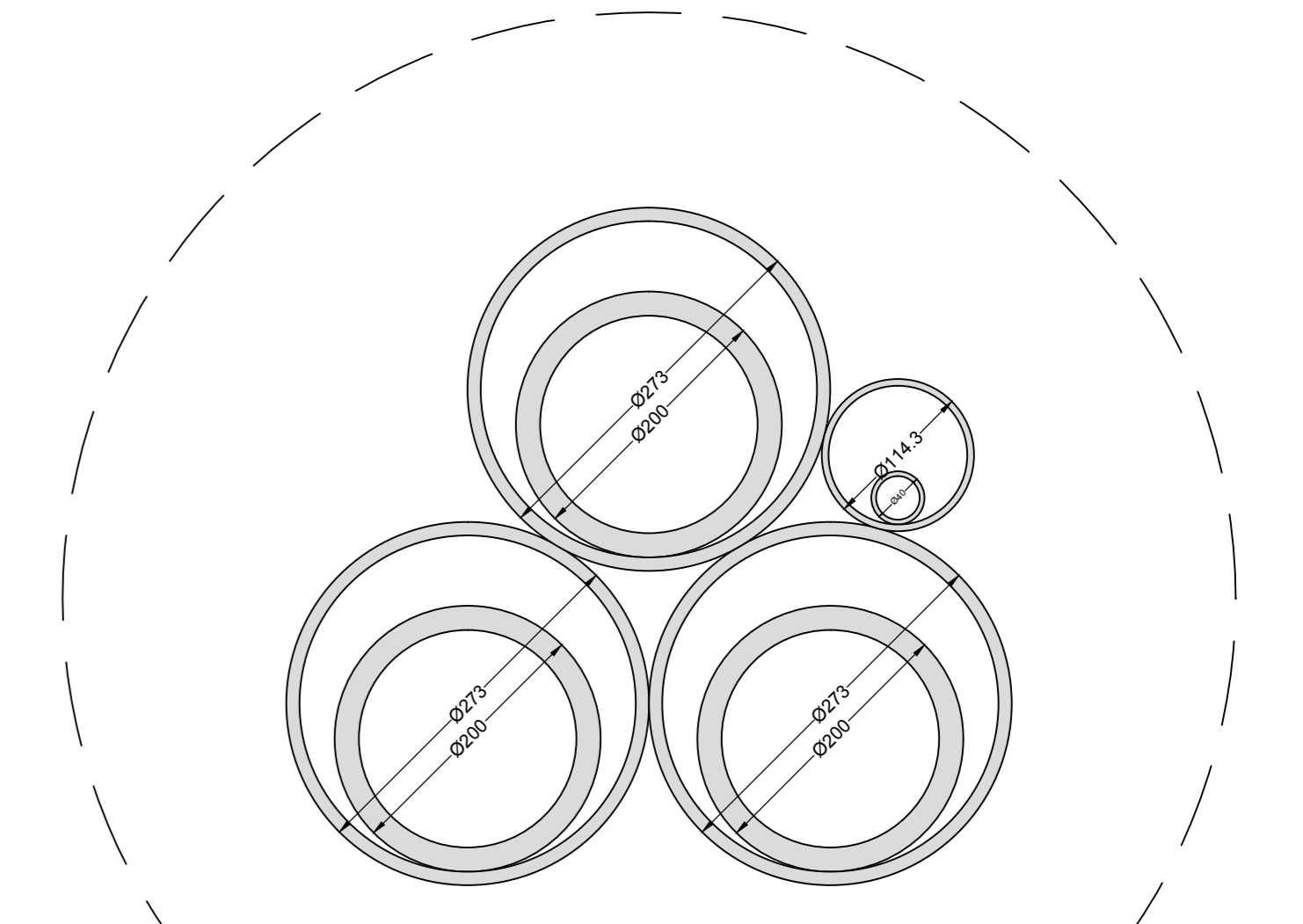
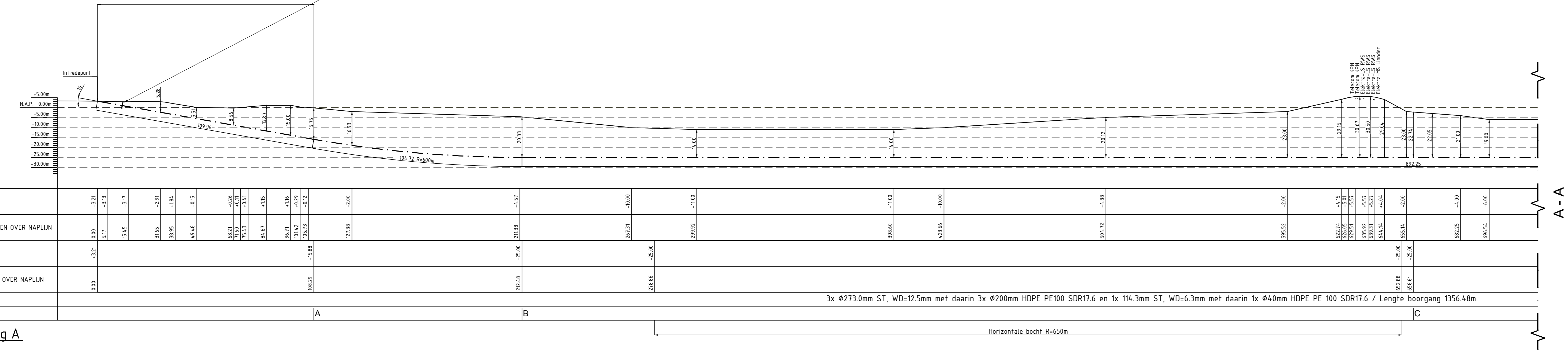
Voor vergoedingsaanvraag  
Get. Gez. WJZ/SGN

Windpark Fryslan  
Locatie Breezandijk  
Boring 1 t/m 8  
Locatie 1 kweleberekening

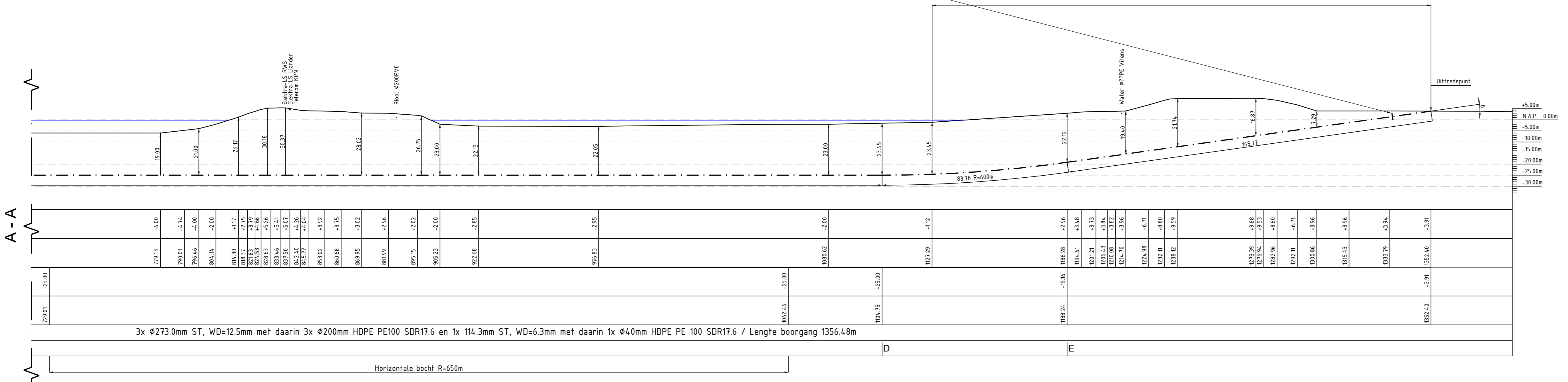
TEKENING NR. : 482.15.2.039-132



### 1 Aanbrengen kwelscherm en kleikist



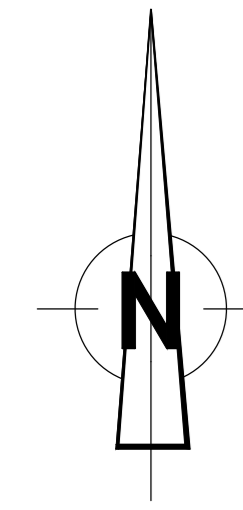
### 2 Aanbrengen kwelscherm en kleikist



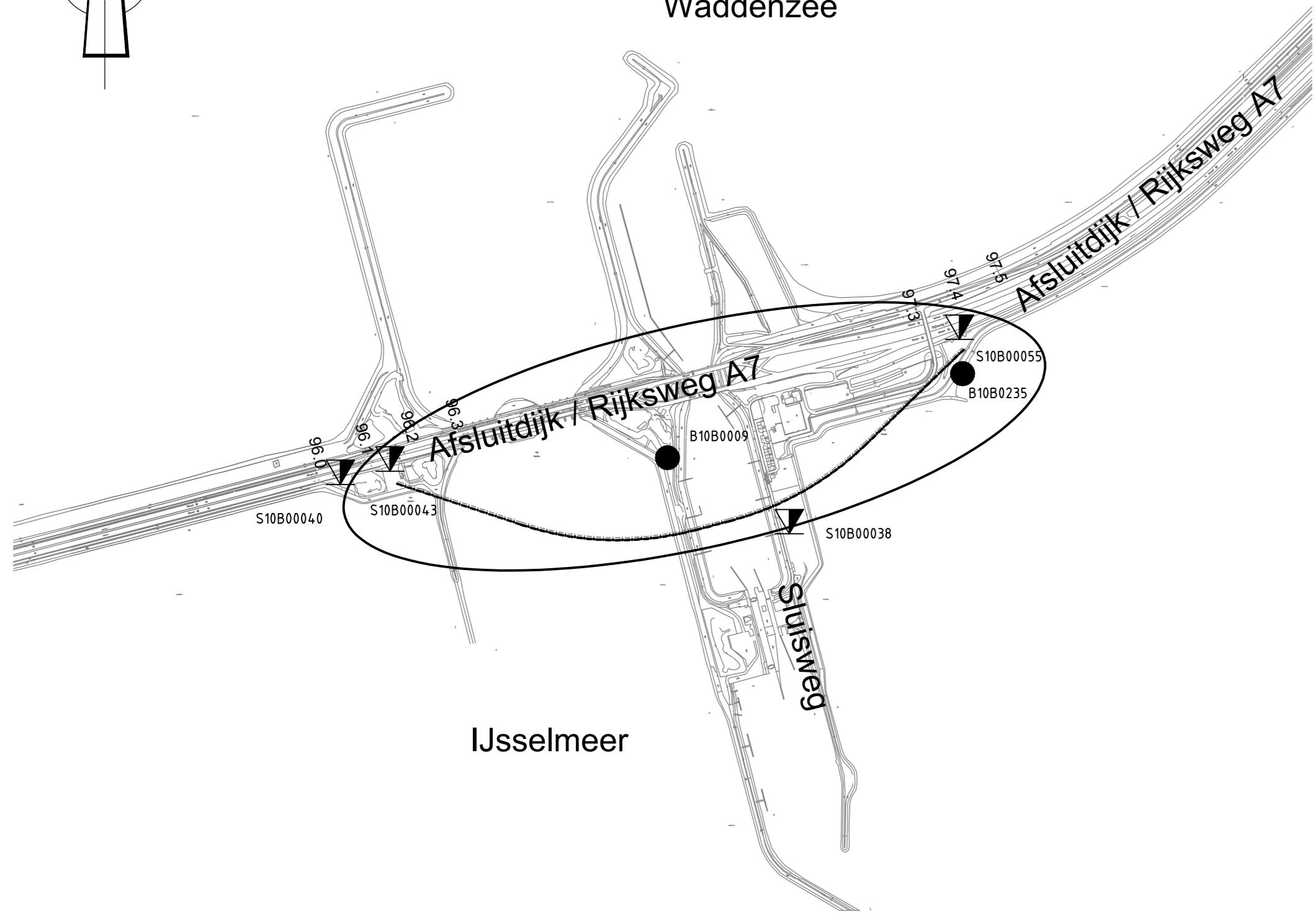
Legenda bestaande K&L

—	Ge
—	CO2 leiding
—	Electra LS
—	Electra MS
—	Electra HS
—	LD gasleiding
—	HD gasleiding
—	Opbouw leiding
—	Drainage
—	Roof
—	Waterleiding
—	Diverse Telecon (HFC, Eurofiber, Tele2, end)
—	KPI
—	Waterleiding
—	Transport waterleiding
—	Warste SV
—	Sondering
—	Grondbooring

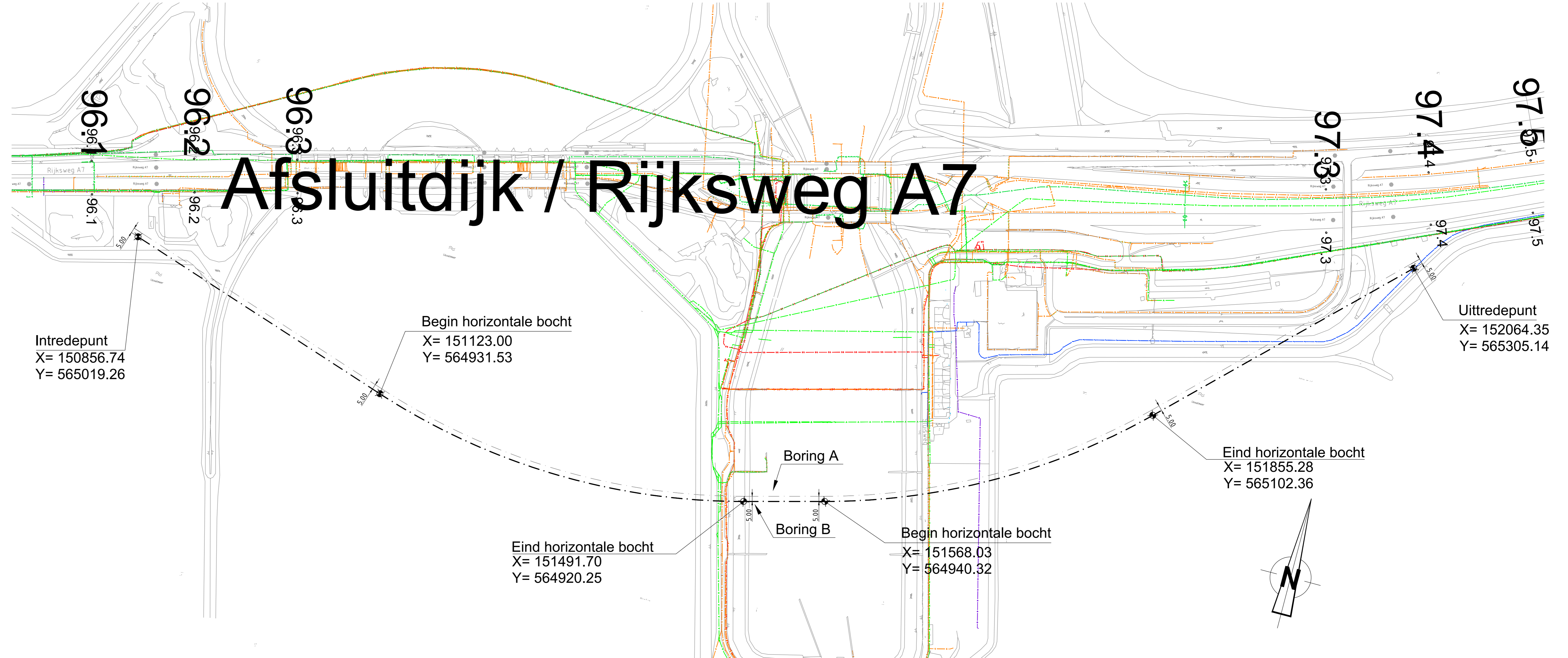
Ø	21-08-2015	AL	RB	Voor vergoedingaanvraag	
Rev.	Datum	Get.	Gez.	WUZIGANG	
<b>Ventolines</b>					
ONTWERP :	R. Berger	GETEKEND :	A. Lanmensen	DATEM :	21-08-2015
PROJECT :	Windpark Fryslan	SCHAAL :	1:10000/1:2000/1:1000/1:5	FORMAAT :	A0
ONDERWERP :	Afsluitdijk Rijksweg A7 / Sluisweg km 96.148 - 97.378	TEKENING NR. :	482.15.2.039-130		
Locatie 1 en 2 Kwelwegberekening					



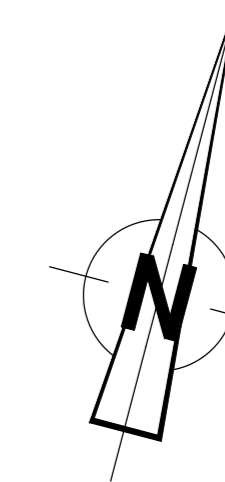
Waddenze



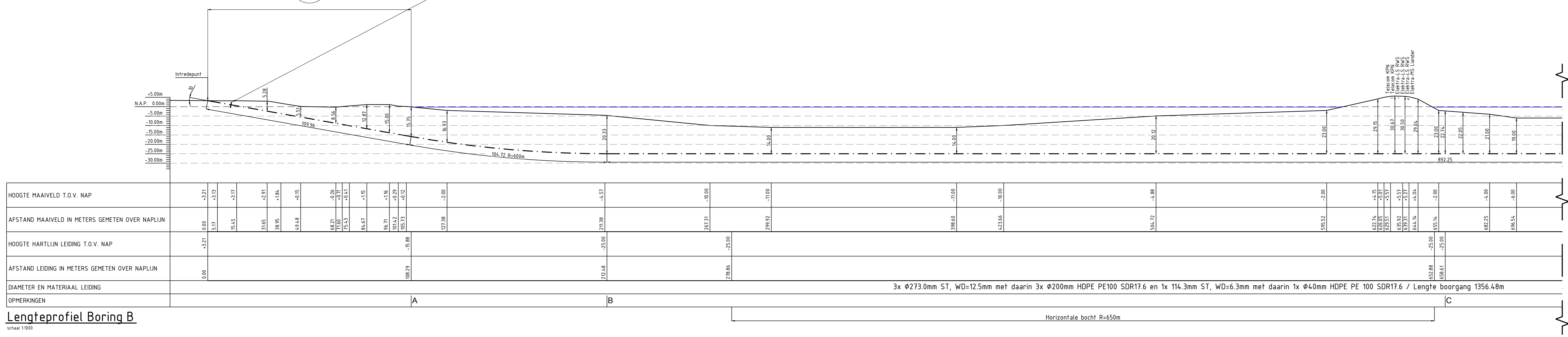
Overzicht  
schaal 1:500



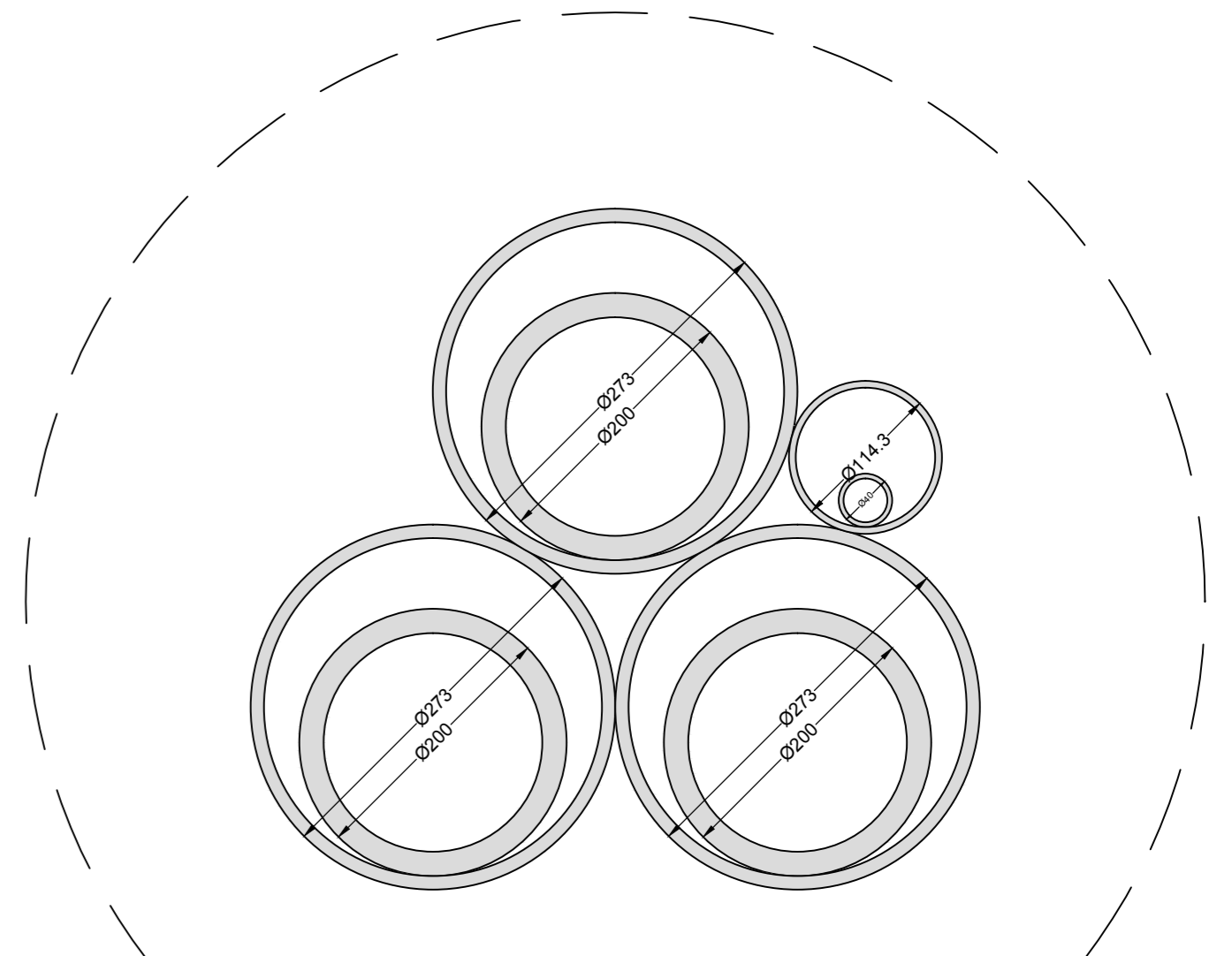
Overzicht  
schaal 1:2000



## 1 Aanbrengen kwelscherm en kleikist



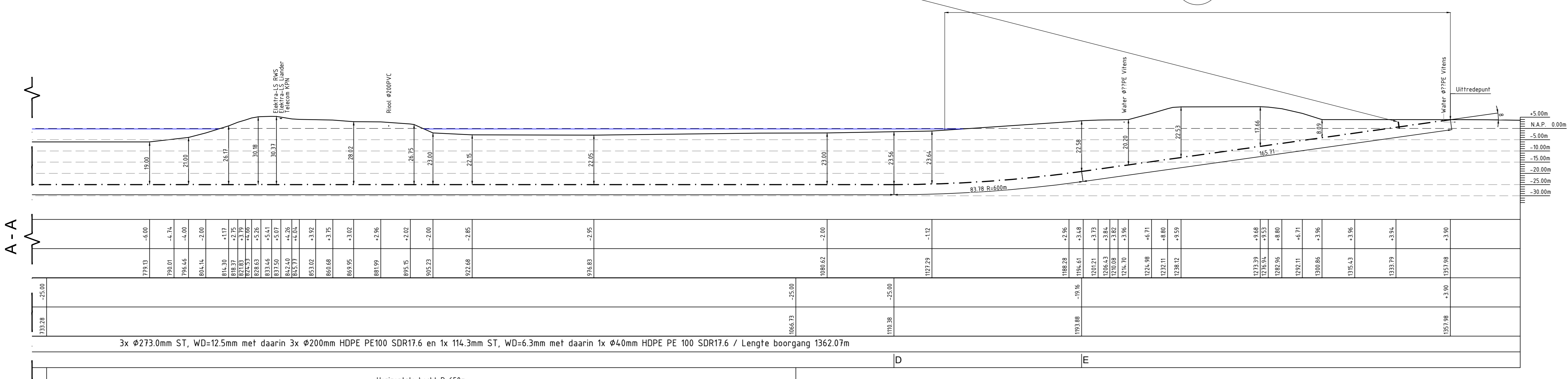
Lengteprofiel Boring B  
schaal 1:100



3x 273.0mm ST, WD=12.5mm  
Met daarin:  
3x 200mm HDPE PE100 SDR17.6 en  
1x 114.3mm ST, WD=6.3mm  
Met daarin:  
1x 40mm HDPE PE100 SDR17.6

Doorsnede bundel  
schaal 1:5

## 2 Aanbrengen kwelscherm en kleikist



Lengteprofiel Boring B  
schaal 1:100

Legenda bestaande K&L

	Gr
	CO2 leiding
	Electra LS
	Electra MS
	Electra HV
	Gasleiding
	LIJ gasleiding
	HS gasleiding
	Opbouw leiding
	Overstroom
	Drainage
	Roof
	Diverse Telecon (SFP, Eurofiber, Tele2, encl)
	KPI
	Warmteleiding
	Transport waterleiding
	Warmte SV
	Sondering
	Grondbooring

#	D	Z	A	R	Voor vergoedingaanvraag
1	21-08-2015	AL	R		
2		Get	Gez	W	WU/ZGNG

ONTWERP : R. Berger  
PROJ: 482.15.2.039  
ONDERWERP : Windpark Fryslan Afsluitdijk Rijksweg A7 / Sluisweg km 96.148 - 97.378 Locatie 1 en 2 Kwelwegberekening

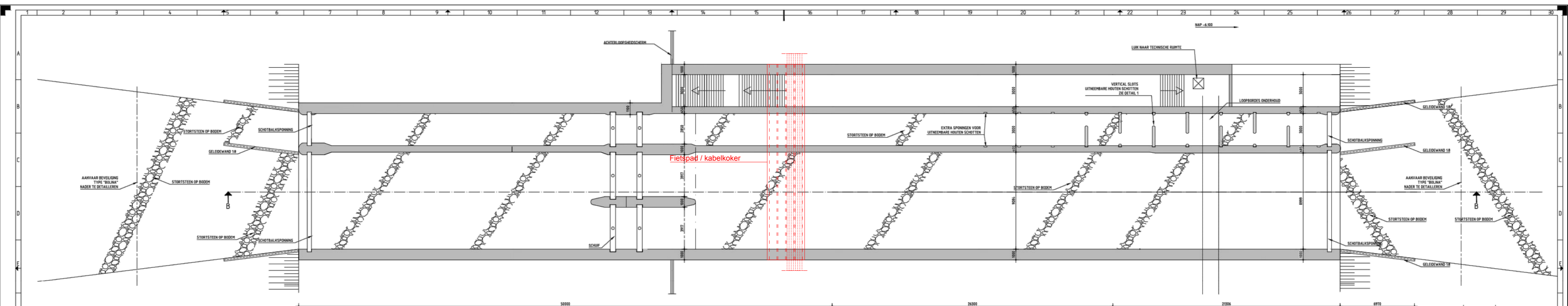
GETEKEND : A. Lanemsen  
SCHAA: 1:10000 / 1:2000 / 1:1000 / 1:5  
TEKENING NR.: 482.15.2.039-131

DATUM : 21-08-2015  
FORMAAT : A3

TEKENING NR.: 482.15.2.039-131

Deze tekening is auteursrechtelijk beschermd door de Nederlandse Staat. Het is niet toegestaan deze tekening of de inhoud daarvan te kopiëren, verspreiden of openbaar te maken.



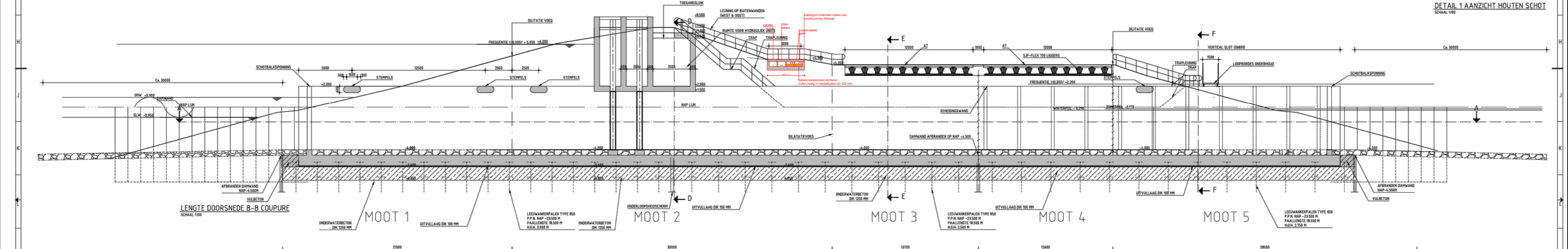


HORIZONTALE DOORSNEDE A-A COUPURE  
SCHAAFL 1:100

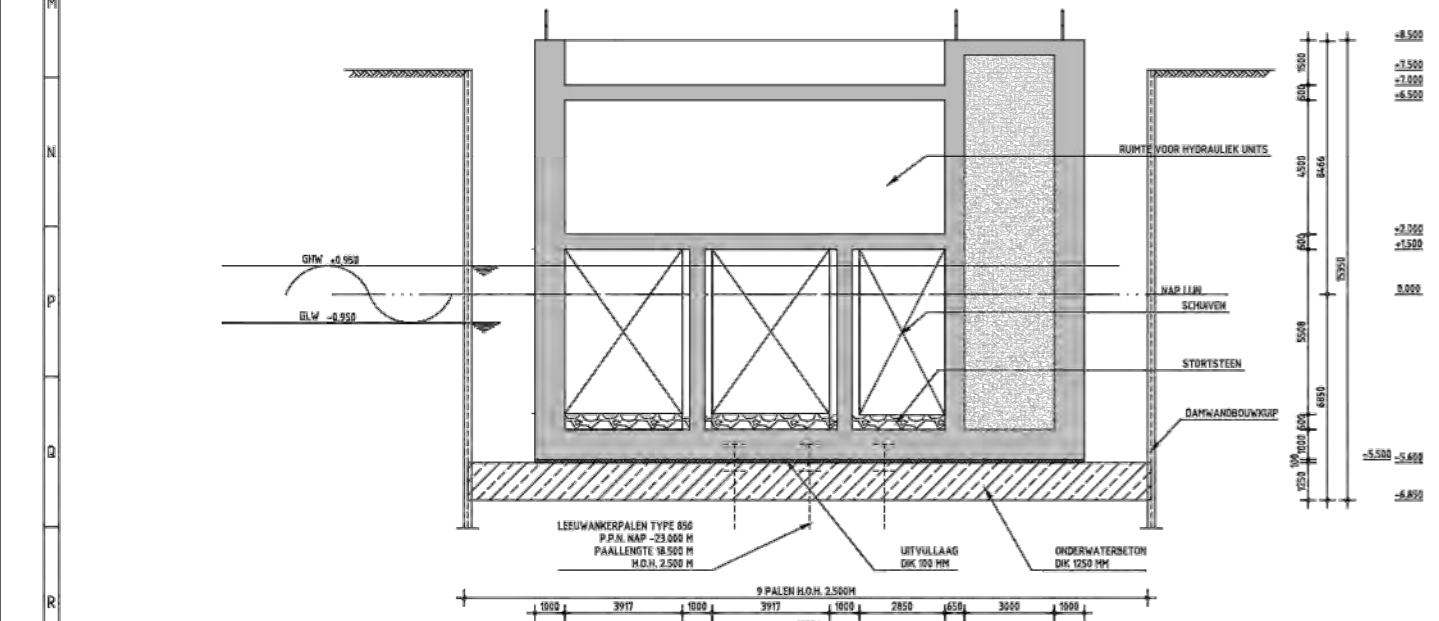
CONCEPT  
INTERFACE COUPURE VMR - KABELS WPF



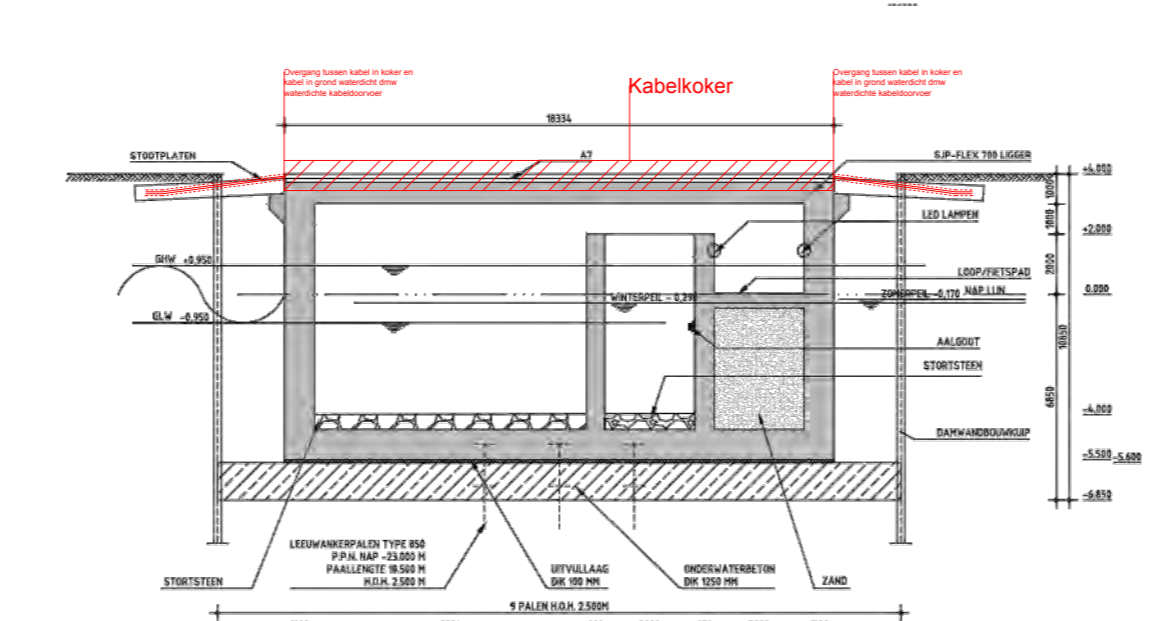
DETAIL 1 AANZICHT HOUTEN SCHOT  
SCHAAFL 1:100



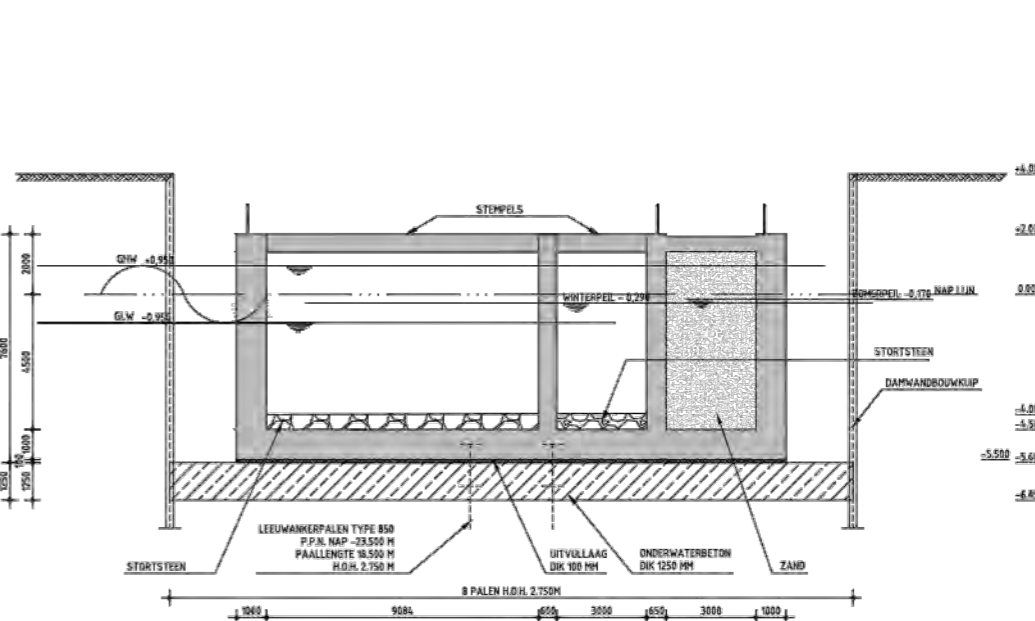
LENGTE DOORSNEDE B-B COUPURE  
SCHAAFL 1:100



DOORSNEDE D-D SCHUIF  
SCHAAFL 1:100



PRINCIPEDOORSNEDE E-E NABIJ WEG  
SCHAAFL 1:100



PRINCIPEDOORSNEDE F-F COUPURE  
SCHAAFL 1:100

**OPMERKINGEN**  
HATEN IN NH  
HOOGTEWATEN IN H TOV NAP  
HEKKEN AANGEGEVEN IN 400 GRADEN STELSEL

**LEGENDA**

- GEWAPEND BETON
- STORTSTEEN
- ONDERWATERBETON
- UTVULLAAG
- ZAND
- VULBETON
- ZETSTEEN

**DEFINITIEF**

PROVINCIE FRIESLAND  
DEFINITIEF ONTWERP VISMIGRATIERIVIER AFSLUITDUK KORNWERDERZAND  
DOORLAATMIDDEL AFSLUITDUK, VERSIE 1 ZONDER REGELWERK  
PROFIELEN COUPURE

Ontwerper	DE B&T	Architect	DE B&T	Scale	1:100	Blad	9	Van	4
Datum	2024	Project	DE B&T	Scale	1:100	Blad	9	Van	4
Client	DE B&T	Project	DE B&T	Scale	1:100	Blad	9	Van	4
Project	DE B&T	Project	DE B&T	Scale	1:100	Blad	9	Van	4

Grontmij



# Aanvulling waterwetvergunning

29-10-2015







Rijkswaterstaat Midden-Nederland (IJsselmeergebied)  
T.a.v. Mike van de Velde  
Postbus 2232  
3500 GE Utrecht

Betreft : Aanvulling aanvraag waterwetvergunning windpark Fryslân  
Datum : 29 oktober 2015  
Bijlagen : 1  
Kenmerk : 709026/ME/01

Geachte heer Van de Velde,

Op 14 juli 2015 heeft Windpark Fryslân b.v. een aanvraag ingediend voor een waterwetvergunning (RWS-2015/31477) voor de realisatie van Windpark Fryslân. Onderdeel van de aanvraag was het Milieueffectrapport (MER) Windpark Fryslân.

Bij het indienen van de stukken is een omissie opgetreden. Bijlage 2 van bijlage 12 bij het MER is per abuis niet opgenomen bij het betreffende document. Het betreft een onderzoek van TNO naar het onderwatergeluid bij heiwerkzaamheden voor Windpark Fryslân.

In bijlage 1 bij deze brief vind u de aangepaste bijlage 12 bij het MER. Bijlage 2 van de dit document betreft een aanvulling op het MER, behorende bij de aanvraag voor een waterwetvergunning van 14 juli 2015. De bijlage 12 vervangt daarmee de bijlage 12 uit de oorspronkelijk aanvraag.

Wij vertrouwen erop u hiermee voldoende geïnformeerd te hebben. In geval van inhoudelijke vragen of onduidelijkheden kunt u contact op nemen met onze adviseur, de heer M. ten Klooster van Pondera Consult.

Namens Windpark Fryslân B.V.

Met vriendelijke groet,



Dhr. J.F.W. Rijntalder  
Directeur Pondera Consult



## Bijlage D-12 Effecten onderwatergeluid





# Memo

**Aan:** Martijn ten Klooster (Pondera Consult)

**Van:** Floor Heinis

**CC:**

**Datum:** 27 oktober 2014

**Betreft:** Effecten offshore windpark Fryslân op onderwaterleven

---

## 1 Inleiding

Onderwatergeluid dat vrijkomt bij menselijke activiteiten kan een invloed hebben op het onderwaterleven; in het geval van het IJsselmeer met name op vissen. Onderwatergeluid kan afhankelijk van de geluidsniveaus verstoringen of directe schadelijke effecten veroorzaken. Hierdoor zouden beschermde soorten en de instandhoudingsdoelen voor soorten van het Natura 2000-gebied IJsselmeer en mogelijk ook die van de Waddenzee negatief beïnvloed kunnen worden.

Het ecologisch netwerk Natura 2000 moet de betrokken natuurlijke habitats en leefgebieden van soorten in hun natuurlijke verspreidingsgebied in een gunstige staat van instandhouding behouden of in voorkomend geval herstellen. Onder het begrip “instandhouding” wordt een geheel van maatregelen verstaan die nodig zijn voor het behoud of herstel van natuurlijke habitats en populaties van wilde dieren en plantensoorten in een gunstige staat van instandhouding. Ingevolge artikel 4, vierdelid, Habitatrichtlijn worden bij aanwijzing als Habitatrichtlijngebied “tevens de prioriteiten vast[gesteld] gelet op het belang van de gebieden voor het in een gunstige staat van instandhouding behouden of herstellen van een type natuurlijke habitat [...] van een soort [...] alsmede voor de coherentie van Natura 2000 en gelet op de voor dat gebied bestaande dreiging van achteruitgang en vernietiging”.

Deze bepaling is in artikel 10a, tweede lid, van de Natuurbeschermingswet 1998 nader uitgewerkt. Op grond van dit artikel bestaat de verplichting om in een aanwijzing doelstellingen ten aanzien van de instandhouding van leefgebieden van vogelsoorten dan wel doelstellingen ten aanzien van de instandhouding van natuurlijke habitats of populaties van de in het wild levende dier- en plantensoorten op te nemen. Om die reden zijn voor elk Natura 2000-gebied instandhoudingsdoelstellingen ontwikkeld, waarbij per habitatype en per soort is uitgegaan van landelijke doelen en de bijdrage die een gebied redelijkerwijs kan leveren voor het bereiken van een gunstige staat van instandhouding op landelijk niveau.

De aanleg van het windpark Fryslân gaat gepaard met de productie van onderwatergeluid ten gevolge van scheepvaartbewegingen, heien en de aanleg van kabels. Ook in de exploitatiefase zal het in werking zijn van de turbines en het uitvoeren van onderhoud tot geluidsemisies leiden. De uiteindelijke verwijdering van de turbines zal eveneens leiden tot scheepvaart en werkzaamheden die onderwatergeluid produceren. Aan het windpark gerelateerde emissie van onderwatergeluid vindt dus tijdelijk (door aanleg en verwijdering) dan wel semi-permanent plaats (door exploitatie en onderhoud). De aard en het niveau van het onderwatergeluid verschilt per activiteit en is variabel binnen de activiteiten.

Onderstaande Tabel 1-1 geeft een overzicht van de optredende onderwatergeluidemissies vanuit de verschillende fasen van het windpark en de bijbehorende relevante activiteiten.

Tabel 1-1 Bron van onderwatergeluid in de verschillende fasen van het windpark

Fase	Bron van onderwatergeluid
Aanleg	1. Scheepvaartbewegingen
	2. Heien monopile-funderingen voor de turbines
	3. Aanleg kabel
Exploitatie	4. Onderwatergeluid t.g.v. draaiende turbines
	5. Onderhoud en reparatie: scheepvaartbewegingen
Ontmanteling	6. Scheepvaartbewegingen
	7. Afzagen monopiles

### Leeswijzer

In deze notitie worden de mogelijk effecten van onderwatergeluid dat optreedt bij de aanleg, exploitatie en verwijdering van het windpark Fryslân beschreven en geanalyseerd. Achtereenvolgens komen de mogelijke effecten aan de orde (hfdst 2), worden de geluidsniveaus die optreden bij het heien van monopiles beschreven en de omvang van het beïnvloede gebied (hfdst, 3), en worden de mogelijke effecten op relevante soorten en de instandhoudingsdoelstellingen van het Natura 2000-gebied IJsselmeer geanalyseerd en beoordeeld (hfdst 4). Hoofdstuk 5 bevat de hieruit samengevatte conclusies. Het memo wordt afgesloten met een literatuurlijst en een tweetal bijlagen.

## 2 Mogelijke effecten van onderwatergeluid bij windpark Fryslân

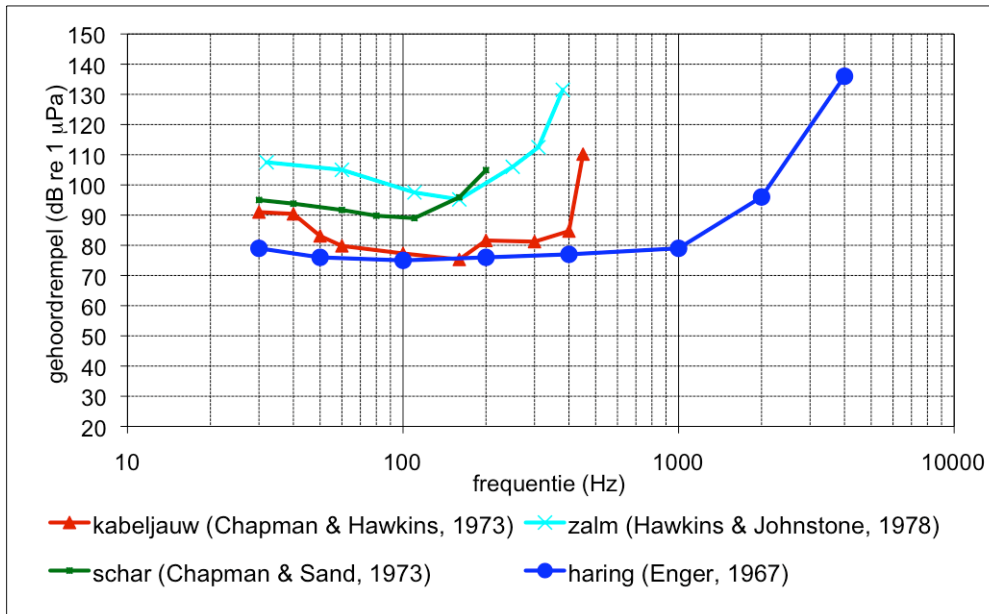
### 2.1 Algemeen

#### Gevoeligheid van vissen en zeehonden voor onderwatergeluid

Onderwatergeluid kan mariene organismen al naar gelang het geluidsdrukniveau en de frequentie op verschillende manieren beïnvloeden (e.g. Richardson e.a., 1995; Kastelein e.a., 2008). In de literatuur worden meestal zones van geluidsbeïnvloeding onderscheiden, lopend van een zone waarbij het geluid wordt gehoord, maar waarin het dier niet reageert tot aan een zone waarin ernstige fysieke schade of dood optreedt. Daartussen liggen zones van gedragsbeïnvloeding, waarin het dier van het geluid wegzwemt of erdoor wordt aangetrokken en een zone waarbij een tijdelijke of permanente verhoging van de gehoordrempel optreedt (TTS = *temporary threshold shift* en PTS = *permanent threshold shift*). Daarnaast kan voor sommige dieren maskering een rol spelen. Dit is de situatie waarin het niet-natuurlijke geluid een vergelijkbaar frequentiebereik en een vergelijkbare geluidsterkte heeft als de door de dieren zelf of hun prooien of predatoren geproduceerde geluiden. Zeehonden lokaliseren hun prooien met hun snorharen en op zicht, maar mogelijk ook op het gehoor. Het is niet ondenkbaar dat zeehonden de laagfrequente geluiden die vissen maken kunnen horen en deze informatie gebruiken bij het lokaliseren van hun prooien.

In tegenstelling tot zoogdieren hebben vissen geen extern gehoororgaan. Geluid – in de vorm van drukverschillen onder water – kan door vissen op verschillende manieren worden waargenomen (Thomsen e.a., 2006):

- het zijlijnsysteem, waarmee dichtbij de geluidsbron laag frequente geluiden (als langzame waterstromen langs het lichaam) worden gedetecteerd. In relatie tot het geluid van windturbines is deze vorm van “horen” echter niet belangrijk; het akoestische veld kan namelijk alleen maar zeer dicht bij de geluidsbron worden waargenomen;
- het binnenoor (met de zogenaamde gehoorsteentjes), dat in essentie op beweging reageert. Een vis neemt geluiden waar via het lichaam, dat beweegt door kleine veranderingen in de geluidsdruk en/of via drukveranderingen in de zwemblaas die al dan niet via speciale structuren worden doorgegeven aan het gehoororgaan.



Figuur 2-1 Audiogrammen van kabeljauw (gehoorspecialist met gesloten zwemblaas), schar (gehoorgeneralist zonder zwemblaas), zalm (gehoorgeneralist met zwemblaas) en haring (gehoorspecialist met gesloten zwemblaas).

Wat betreft gevoeligheid voor onderwatergeluid zijn bij vissen drie categorieën te onderscheiden: de generalisten zonder zwemblaas (bodenvissen als schol, bot e.d.), de generalisten met een open zwemblaas (o.a. zalm, forel) en de echte specialisten (o.a. haring, kabeljauw, voorn, karper). Bij de laatste categorie is zijn speciale structuren aanwezig die voor een efficiënte geluidsoverdracht zorgen. Soorten met een gesloten zwemblaas kunnen bij hoge omgevings(geluids)druk de lucht in de zwemblaas niet snel kwijtraken en zijn daarom relatief gevoelig voor eventuele schadelijke gevolgen van onderwatergeluid. Soorten met een open zwemblaas kunnen eventuele overdruk makkelijk en snel via de slokdarm en mond kwijtraken, waardoor zij minder gevoelig zijn voor ernstige schade als gevolg van onderwatergeluid. Figuur 2-1 geeft voor een viertal representatieve vissoorten de gehoorgevoeligheid in afhankelijkheid van de frequentie weer.

### Drempelwaarden voor effecten op vissen

In verschillende studies worden de effecten van heiwerk voor windturbineparken en met name de effecten van heien op vissen beschreven. In een studie naar heien in Zuid-Californië werden effecten op vissen in een experimentele opstelling onderzocht door vissen op verschillende afstanden bloot te stellen aan het door de heivibraties veroorzaakte geluid (Caltrans, 2004 in: Hastings & Popper, 2005). Op afstanden tot 12 m van de bron resulteerde dat in de onmiddellijke dood van de vissen. Tot op 1 km afstand werden vissen aangetroffen met dussdanige verwondingen dat ze daaraan op korte termijn zouden doodgaan. Mede op basis van deze waarnemingen zijn door de Amerikaanse Fisheries Hydroacoustic Working Group (FHWG) op grond van een aantal 'worst case' aannamen drempelwaarden voor tijdelijke gehoorschade bij grotere vissen (> 2 g versgewicht) en kleine vissen (< 2 g versgewicht) van respectievelijk SEL 187 en 183 dB re  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$  voorgesteld (Oestman e.a., 2009).

Recent zijn echter twee publicaties verschenen waaruit blijkt dat vissen na blootstelling aan zeer hoge niveaus van met heiklappen overeenkomend pulsgeluid nog geen gehoor- of andere fysieke schade oplopen (Halvorsen e.a., 2012). Bij *Trinectes maculatus*, een (Amerikaanse) platvissoort zonder zwemblaas werden bij een cumulatieve SEL van 216 dB re  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$  geen effecten gevonden. Vissen met een zwemblaas bleken gevoeliger, maar ook deze vissen (meerdere soorten en grootten) bleken aan een cumulatieve SEL van ca. 207 dB re  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$  te kunnen worden blootgesteld zonder schade op te lopen. Halvorsen e.a. (2012) concluderen op grond van deze resultaten dat de door de FHWG (Oestman e.a., 2009) voorgestelde criteria te conservatief zijn en stellen voor voortaan van een drempelwaarde voor SEL<sub>CUM</sub> van 207 dB re  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$  uit te gaan. De resultaten van het onderzoek zijn dermate overtuigend dat er in het voorliggende effectenonderzoek van is uitgegaan dat vissen die aan een SEL<sub>CUM</sub> van 207 dB re  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$  of minder zijn geen blootgesteld geen (gehoor)schade oplopen. Op grond van dezelfde studies van Halvorsen e.a. is als drempelwaarde voor het optreden van effecten waarvan niet is uit te sluiten dat zij tot de dood van vissen met een zwemblaas zullen leiden een SEL<sub>CUM</sub> van 216 dB re  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$  gehanteerd. Uit een recente publicatie van Debusschere e.a. (2014) blijkt dat juveniele zeebaarsen die onder veldomstandigheden vlakbij de he-installatie aan een SEL<sub>CUM</sub> van 215 –

222 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$  werden blootgesteld een vergelijkbare sterfte vertoonden als de niet aan deze niveaus blootgesteld dieren. De blootgestelde en niet blootgestelde dieren werden vervolgens in het laboratorium verder opgekweekt en ook na 14 dagen was er nog geen verschil tussen de twee groepen te zien.

### Drempelwaarden voor effecten op zeehonden

In het kader van effectenstudies voor windparken op zee zijn begin 2013 door een door Rijkswaterstaat geïnitieerde werkgroep Onderwatergeluid<sup>1</sup> drempelwaarden voor het optreden van effecten bij zeehonden afgeleid. Hiervoor is zoveel mogelijk uitgegaan van recente 'peer reviewed' literatuur. Als dit niet mogelijk was of als uiteenlopende waarden beschikbaar waren, dan zijn op grond van een deskundigenoordeel gemotiveerde inschattingen gemaakt. In de werkgroep is voor het optreden van een permanente verhoging van de gehoordrempel (permanent threshold shift = PTS)<sup>2</sup> bij zeehonden een drempelwaarde van SEL<sub>CUM</sub> 186 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$  vastgesteld.

## 2.2 Bronnen van onderwatergeluid en relevantie ervan

Deze paragraaf bevat een analyse van de aard en omvang van de emissie van onderwatergeluid die de in Tabel 1-1 opgenomen activiteiten veroorzaken. Bij de beoordeling van de relevantie van deze emissies voor het onderwaterleven gaat het vooral om de mate waarin het aan het windpark gerelateerde onderwatergeluid zich onderscheidt van de nu al in het gebied optredende geluidsniveaus.

Onderstaande Tabel 2-1 bevat opnieuw het overzicht van de optredende onderwatergeluidemissies, maar nu is op grond van de na de tabel opgenomen analyse ook aangeduid of de emissies voor wat betreft aard en niveau vergelijkbaar zijn met de nu al optredende emissies. Indien dit het geval is kan ervan uitgegaan worden dat door de beoogde activiteiten geen (extra) effecten op het onderwaterleven zullen optreden. De conclusie is dat dit het geval is voor de scheepvaartbewegingen en de het geluid dat samenhangt met de aanleg van de kabel. Het geluid van draaiende turbines en het afzagen van de monopiles bij de ontmanteling van het windpark is voor wat betreft de aard van het geluid anders dan de geluiden die nu al in het gebied optreden. Op basis van de na Tabel 2-1 opgenomen analyse kan echter wel gesteld worden dat ook dit onderwatergeluid niet tot negatieve effecten zal leiden.

*Tabel 2-1 Emissies van onderwatergeluid in relatie tot windpark Fryslân vergeleken met de huidige situatie en autonome ontwikkeling; een onderbouwing van het oordeel over de mogelijkheid van een negatief effect op het onderwaterleven volgt ná de tabel.*

Fase en bron van onderwatergeluid	Aard en omvang geluid t.o.v. huidige situatie en (autonome ontwikkeling)	mogelijk negatief effect t.g.v. activiteit
Aanleg		
1. Scheepvaartbewegingen	Vergelijkbaar met huidige situatie	nee
2. Geluid door heien monopiles	Niet vergelijkbaar met huidige situatie	ja
3. Aanleg kabel	Vergelijkbaar met huidige situatie	nee
Exploitatie		
4. Geluid door draaiende turbines	Niet vergelijkbaar met huidige situatie	nee
5. Scheepvaartbewegingen	Vergelijkbaar met huidige situatie	nee
Ontmanteling		
6. Scheepvaartbewegingen	Vergelijkbaar met huidige situatie	nee
7. Afzagen monopiles	Niet vergelijkbaar met huidige situatie	nee

### Scheepvaartbewegingen

In alle fasen van het windpark zijn bij de benodigde werkzaamheden schepen betrokken. Het gaat om scheepvaartbewegingen bij aanleg, bij onderhoud en reparatie en bij ontmanteling van het park. Het is niet bekend hoeveel geluid deze schepen exact produceren en bij welke frequenties. Op basis van Richardson e.a. (1995, tabel 6.9) kan worden aangenomen dat het bronniveau voor de gebruikte schepen in het frequentiebereik 45 – 890 Hz tussen 140 en 185 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$  zal liggen. Moderne (grotere) koopvaardij schepen maken wat meer geluid: Arveson en Vendittis (2000) maten een maximaal bronniveau van ongeveer 186 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$  bij (tertsband)frequenties tussen 50 en 100 Hz en een breedbandniveau van 184 en 190 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$  bij snelheden van respectievelijk 12 en 14 knopen. Tijdens de aanleg van Maasvlakte 2 zijn uitgebreide metingen aan het door baggerschepen gegenereerde onderwatergeluid verricht (Dreschler e.a., 2009; De Jong e.a., 2010). Maximale bronniveaus van (snel) varende baggerschepen bedroegen ongeveer 195 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$ . De voor het windpark Fryslân

<sup>1</sup> De Werkgroep Onderwatergeluid is op initiatief van Rijkswaterstaat Dienst Noordzee (thans Rijkswaterstaat Zee en Delta) begin 2013 opgericht. Deelnemers zijn afkomstig van Rijkswaterstaat, Directoraat-generaal Ruimte en Water, TNO, SEAMARCO, IMARES, Arcadis en HWE. De werkgroep stelt zich tot doel op grond van de meest recente inzichten uit onderzoek te komen tot een breed gedragen redeneerlijn voor het inschatten van effecten van heigeluid op zeezoogdieren.

<sup>2</sup> Als een dier PTS oploopt, houdt dat in dat het dier in een bepaald frequentiegebied minder goed zal kunnen horen. De frequentie waarbij de verhoging plaatsvindt, ligt in de buurt van de frequentie van het geluid dat de PTS heeft veroorzaakt.



ingezette schepen zijn kleiner dan de hier gemeten schepen en zullen minder hoge snelheden halen. De genoemde niveaus kunnen daarom als een 'worst case' worden beschouwd.

Hoewel het windpark wat scheepvaart betreft in een relatief rustig deel van het IJsselmeer wordt aangelegd, is het aantal werkschepen dat in de diverse fasen van het windpark wordt ingezet dermate gering dat de relatieve toename van het aantal scheepvaartbewegingen ten opzichte van het huidige scheepvaartverkeer verwaarloosbaar is. Weliswaar kan de activiteit in de aanlegfase korte tijd intensief zijn, maar omdat slechts aan één of hooguit enkele turbines tegelijk gewerkt zal worden, onderscheidt het zich voor wat betreft geluidsemissies niet wezenlijk van het nu al optredende onderwatergeluid door scheepvaart. Indien enkele schepen voor aanleg, onderhoud etc. tegelijkertijd ingezet wordt (hetgeen al niet vaak zal voorkomen, normaal wordt slechts één schip voor onderhoud ingezet) dan is dit vergeleken met het aantal schepen dat dagelijks het IJsselmeer bevaart een verwaarloosbare extra activiteit. Gezien het incidentele karakter en de beperkte omvang in vergelijking met de vele andere schepen die zich in het IJsselmeer bevinden, kunnen eventuele effecten van het onderwatergeluid op vissen als gevolg van de aanwezigheid van werkschepen in het windpark alleen al op grond van de aanwezigheid ervan als verwaarloosbaar worden ingeschat.

Ook als naar het door schepen veroorzaakte geluidsniveau wordt gekeken, kunnen effecten op vissen worden uitgesloten. Uit de resultaten van het onderzoek rond de aanleg van Maasvlakte 2 kan worden afgeleid dat de SEL<sub>CUM</sub> drempelwaarde van 207 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$  in het zeer druk bevaren gebied rond Maasvlakte 2 vrijwel nergens wordt overschreden, als er 'worst case' van wordt van uitgegaan dat de vissen gedurende 24 uur op dezelfde locatie verblijven en dus niet van het geluid wegzwemmen (zie Heinis e.a. 2013, Figuren 10 en 11). Als zij dat wel zouden doen, zal de totale blootstelling nog lager zijn.

### **Aanleg kabels**

Bij de aanleg van de kabels is het door de daarbij gebruikte schepen gegenereerde onderwatergeluid maatgevend. Uit het onderzoek rond de aanleg van Maasvlakte 2 is namelijk gebleken dat het door baggerende schepen veroorzaakte onderwatergeluid niet is te onderscheiden van varende schepen (zie Heinis e.a. 2013 voor een samenvatting van het onderzoek). Eventuele effecten van het met de aanleg van de kabel samenhangende onderwatergeluid kunnen daarom om vergelijkbare redenen als hiervoor zijn gegeven voor de andere scheepvaartbewegingen als verwaarloosbaar worden ingeschat.

### **Draaiende turbines**

De laatste jaren is op grond van de resultaten van veldstudies rond operationele windparken op zee duidelijk geworden dat het met draaiende windturbines gepaard gaande onderwatergeluid geen waarneembare invloed heeft op de aanwezigheid van mariene organismen, waaronder vissen en ook een aantrekkende werking kan hebben (zie bijvoorbeeld Van Hal e.a., 2012). Dit is geheel in lijn met de conclusies die in het effectenonderzoek voor windpark Noordoostpolder op grond van theoretische overwegingen zijn getrokken (Pondera Consult & HWE, 2009). De tekst uit het MER Noordoostpolder is opgenomen in Bijlage 1 van deze notitie (Effecten van onderwatergeluid door draaiende windturbines).

### **Ontmanteling – verwijderen van monopiles**

Van eventuele tijdelijke effecten tijdens de ontmantelingfase zijn nog geen gegevens vanuit de praktijk voorhanden. Algemeen wordt echter aangenomen dat deze fase tot dezelfde typen verstoring als tijdens de aanlegfase leidt, met uitzondering van de effecten van heien. De geluidsniveaus blijven beperkt en zijn vergelijkbaar met de niveaus die ontstaan bij scheepvaart, baggeren en dergelijke. Het doorzagen/-snijden van de monopiles gebeurt onder bodemniveau (vanuit de binnenzijde van de paal) en zal naar verwachting geen hoge geluidsniveaus veroorzaken; hiervan worden derhalve geen negatieve effecten verwacht.

### **Heien van monopile-funderingen**

Uit metingen rond diverse heilocaties blijkt dat het heien van de monopile-funderingen tot zeer hoge geluidsniveaus onder water leidt. Het meest intensieve meetprogramma is uitgevoerd bij de aanleg van het windpark Q7/Prinses Amalia (De Jong & Ainslie, 2012). Bij de hier gebruikte funderingen bedroeg de paaldiameter 4 m en werd geheid met een maximale energie van 800 kJ. Bij de aanleg van dit windpark bedroeg het geschatte, over de frequentie gesommeerde bronniveau SL<sub>E</sub> per heiklap maximaal 221 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$ . De laagste schattingen van de uit de diverse meetpunten was 215 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$  (zie Bijlage 2).

Volgens Kastelein e.a. (2008) kunnen dergelijke hoge geluidsniveaus tot de volgende effecten op vissen leiden:

- Verwondingen bij vissen die zich tijdens de start van het heien binnen een straal van 150 m van de heiplaats bevinden;
- Een tijdelijke verhoging van de gehoordrempel (TTS) tot op 6 km van de geluidsbron;

- Mogelijk optreden van schrikreacties tot op afstanden van tientallen kilometers van de heiplaats. Of dit ook tot het mijden van het gebied zal leiden, is niet bekend.

De hierboven genoemde waarden en afstanden hebben betrekking op de specifieke situatie op de Noordzee bij de aanleg van Q7/Windpark Prinses Amalia. In het IJsselmeer zijn andere omstandigheden en vooral waterdiepten aan de orde. Om een betere inschatting van effecten te kunnen maken zijn door TNO daarom specifieke berekeningen uitgevoerd, waarvan de belangrijkste resultaten hierna in paragraaf 3 worden besproken. Voor een meer uitgebreide beschrijving van de uitgevoerde berekeningen wordt verwezen naar de integraal als Bijlage 2 bij deze notitie opgenomen memo van TNO.

### **Conclusie ten aanzien van mogelijk relevant onderwatergeluid**

Er kan op basis van bovenstaande analyse van de activiteiten voor het windpark en de daarbij optredende geluidsniveaus van worden uitgegaan dat voor het inschatten van effecten van de geluidstoename, het geluid als gevolg van heiwerkzaamheden voor het in de waterbodem verankeren van de funderingen, maatgevend is. Alleen dit geluid zou tot een relevant effect op vissen kunnen leiden. In de volgende paragraaf wordt ingegaan op geluidsniveaus die bij het heien van turbinefunderingen in het IJsselmeer kunnen optreden en de mogelijke effecten daarvan op het onderwaterleven.

## **3 Onderwatergeluid bij het heien van funderingen en effecten**

### **3.1 Grootheden en eenheden onderwatergeluid**

Bij de beschrijving van het onderwatergeluid, waaraan dieren kunnen worden blootgesteld, worden verschillende grootheden en eenheden onderscheiden. In deze notitie en bijbehorende bijlagen zijn de volgende akoestische grootheden met bijbehorende eenheden gebruikt:

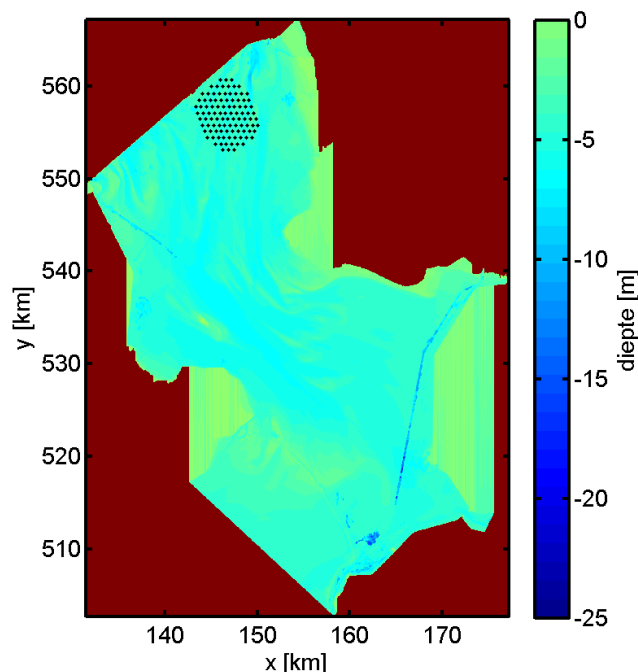
- Bronniveau (Source Level): het geluidsdrukniveau (Sound Pressure Level) in tertsbanden op 1 meter van de geluidsbron; eenheid: dB re  $1 \mu\text{Pa}^2\text{m}^2$  (in oudere literatuur ook wel dB re  $\mu\text{Pa}$  op 1m of dB re  $\mu\text{Pa-m}$ );
- Breedband geluidsdrukniveau (broadband Sound Pressure Level): het, over de tijd gemiddelde kwadratische geluidsdrukniveau voor continue geluiden (zoals scheepsgeluid) of het over de pulsduur gemiddelde geluidsdrukniveau voor pulsgeluiden (zoals heigeluid); eenheid: dB re  $1 \mu\text{Pa}^2$ ;
- Geluidblootstellingsniveau (Sound Exposure Level): het totale, over een bepaalde tijdsduur geïntegreerde kwadratische geluidsdrukniveau; wordt als grootheid zowel bij continue als bij pulsgeluiden gebruikt; eenheid: dB re  $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$ .

### **3.2 Uitgangspunten bij de bepaling van het brongeluid en de verspreiding ervan**

Voor de fundering van het windpark Fryslân zal gebruik worden gemaakt van monopiles, die door heien in de bodem van het IJsselmeer zullen worden verankerd. Andere fundatieopties worden overwogen, maar daarbij zal bij het heien een lager geluidsniveau optreden, omdat sprake is van kleinere heipalen waarvoor een lagere slagenergie is vereist. De benodigde hei-energie voor het heien van monopiles is maximaal 2.000 kJ per heiklap. Dit is meer dan de 800 kJ die bij de aanleg van het Prinses Amalia windpark is gebruikt. Bij de berekeningen voor windpark Fryslân is aangenomen dat een vast percentage van de klapenergie wordt omgezet in geluidenergie en dat uit de verhouding tussen de gebruikte klapenergieën van de twee windparken en het voor windpark Prinses Amalia berekende bronniveau dus het bronniveau voor windpark Fryslân kan worden bepaald. Het betekent dat het over de frequentiebanden gesommeerde bronniveau bij de aanleg van windpark Fryslân per heiklap ongeveer 4 dB groter zal zijn en maximaal 225 dB re  $1 \mu\text{Pa}^2\text{m}^2$  zal bedragen (zie memo TNO in Bijlage 2).

Voor het bepalen van de voortplanting van het onderwatergeluid als gevolg van het heien voor windpark Fryslân is er verder van uitgegaan dat voor het heien van één paal 2.000 (gelijke) heiklappen nodig zijn en dat het 2-3 uur duurt om één fundering tot op 32 m diepte te heien. Door TNO zijn met het zelf ontwikkelde model AQUARIUS berekeningen van de verspreiding van het heigeluid uitgevoerd voor gemiddelde windcondities en voor windstilte ('worst case'). Voor parameters als de geluidssnelheid in het water en de bodem en de bodemabsorptie zijn realistische waarden gekozen (zie verder de bij deze notitie als bijlage 2 gevoegde memo van TNO). Complicerende factor voor de berekeningen vormde het feit dat de bovenste ca. 5 m van de bodem uit klei bestaat en AQUARIUS geen rekening houdt met gelaagdheid van het bodem. Omdat klei bij lagere frequenties min of meer transparant kan zijn voor geluid – m.a.w. zich als water gedraagt – zijn 'worst case' berekeningen uitgevoerd waarbij de kleilaag is vervangen door water. De waterdiepte wordt daarmee in feite 5 m groter. Daarnaast zijn ook berekeningen uitgevoerd waarbij de kleilaag door zand is vervangen om zo inzicht te krijgen in de invloed van de bodemparameters op de berekeningsresultaten.

Het windpark Fryslân zal maximaal uit 100 windturbines van 4 MW bestaan. Het heien van één windturbinefundering zal 2-3 uur duren. Dat betekent dat er in het bouwseizoen 200 – 300 uur wordt geheid. Onderstaande figuur geeft de lay-out van het windpark weer waarvan in de berekeningen is uitgegaan, evenals de variatie in de waterdiepte die een belangrijke factor vormt bij de verspreiding en uitdoving van onderwatergeluid.



*Figuur 3-1 Bathymetrie van het IJsselmeer met de geplande locaties van de windturbines weergegeven als zwarte stippen*

### 3.3 Onderwatergeluidkaarten

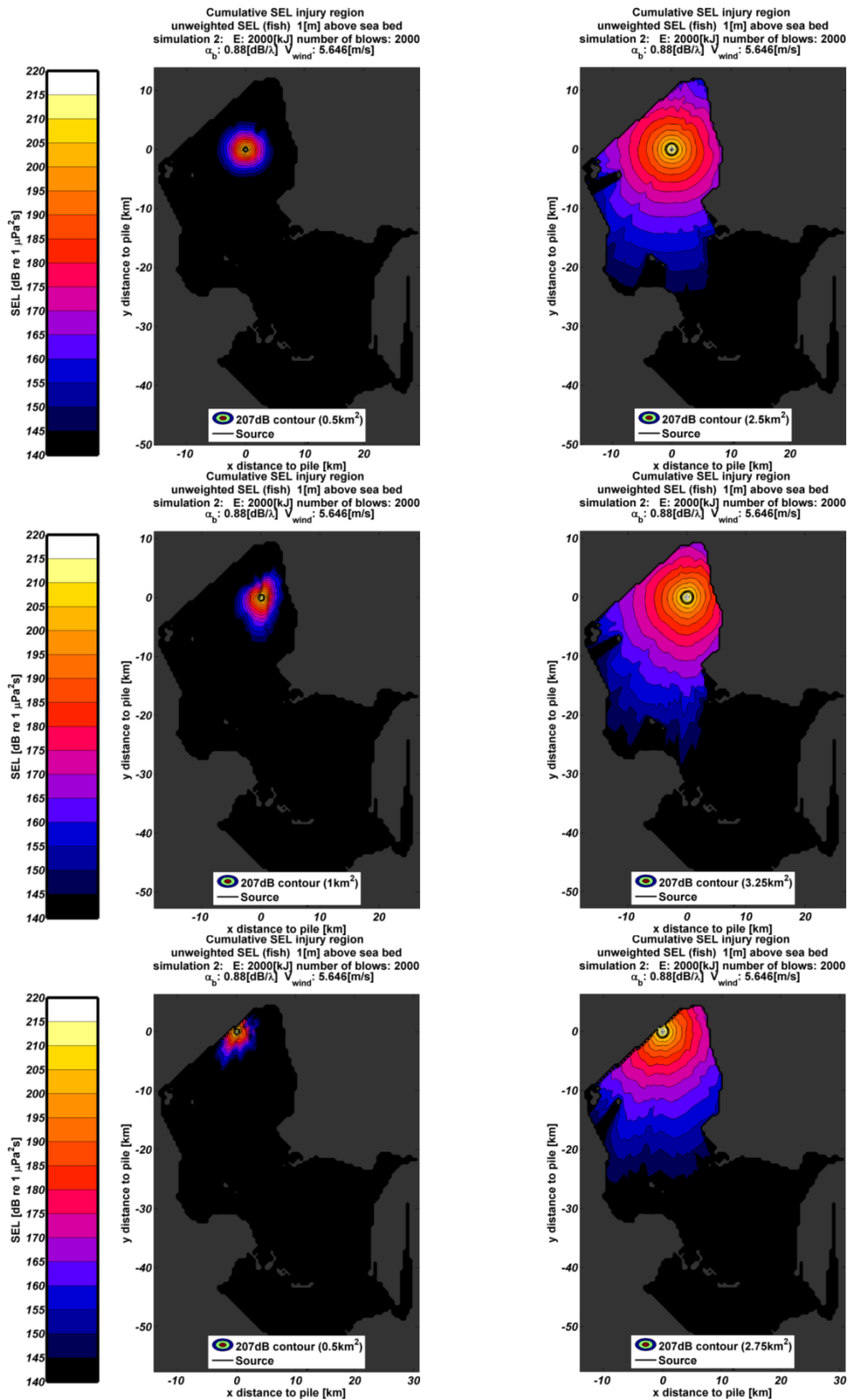
Er zijn 12 scenario's doorgerekend voor het bepalen van de effectafstanden van het onderwatergeluid bij het heien voor de windturbinefundaties voor het Windpark Fryslân:

- Voor 3 heilocaties, voor de meest noordelijke, zuidelijke en oostelijke turbines;
- Voor 2 windsnelheden (0 m/s en 5,6 m/s);
- Voor 2 bodemdieptes (de bovenste laag van 5 m van het sediment gemodelleerd als zand of water).

In Figuur 3-2 zijn voor de 6 scenario's met gemiddelde windomstandigheden de resultaten van de berekeningen weergegeven in de vorm van onderwatergeluidkaarten. In de kaarten is de cumulatieve geluidsbelasting ( $SEL_{cum}$ ) van het heien van één turbinefundering weergegeven, zoals deze door statische<sup>3</sup> dieren in de omgeving van de heilocatie (aangegeven met een kruisje) op 1 m boven de waterbodem wordt ontvangen. In de linkerpanelen staat de situatie voor de drie heilocaties waarbij de 5 m dikke kleilaag is vervangen door zand en in de rechterpanelen dezelfde situatie, maar dan met een kleilaag die is vervangen door water. Voor de overige 18 kaarten, te weten de 6 scenario's op 1 m boven zeebodem bij windstilte en de 12 scenario's bij 1 m onder de waterspiegel, wordt verwezen naar het in bijlage 2 opgenomen memo van TNO.

In de figuren is te zien dat alleen bij het heien van de noordelijkste paal in het scenario dat de kleilaag is vervangen door water de contour (op 1 m boven de bodem) de Afsluitdijk raakt. Dit betekent dat, als er al sprake is van enige geluidsoverdracht door de Afsluitdijk dit zeker niet tot negatieve effecten op vissen in de Waddenzee zal leiden. Op de mogelijkheid dat zeehonden effecten zouden kunnen ondervinden wordt hierna in paragraaf 3.5 ingegaan.

<sup>3</sup> 'Statisch' betekent dat de dieren voor de duur van het heien van de fundering (2 – 3 uur) op dezelfde plaats verblijven en dus niet van de geluidbron wegzwemmen.



Figuur 3-2 Berekende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid op 1 m boven de bodem bij het heien voor turbinefunderingen voor windpark Fryslân op de meest zuidelijke (boven), oostelijke (midden) en noordelijke (onder) locatie en bij gemiddelde windcondities. De linkerpanelen geven de situatie waarbij in het model de 5 m dikke kleilaag is vervangen door zand en de rechterpanelen die waarbij de kleilaag is vervangen door water. In de legenda staat de oppervlakte die binnen de in zwart weergegeven 207 dB contourlijn valt.

### 3.4 Grootte van het effectgebied voor vissen tijdens heien van turbinefunderingen

Voor elk van de berekeningen is de oppervlakte bepaald die binnen de contour voor de drempelwaarde  $SEL_{CUM} = 207$  dB re  $1 \mu Pa^2 s$  valt. Vanwege de ruimtelijke resolutie is de nauwkeurigheid van de oppervlakteschatting ongeveer  $\pm 0,25$  km<sup>2</sup>. Tabel 3-1 bevat een overzicht van de berekende effectoppervlakten voor de 6 scenario's waarbij is uitgegaan van gemiddelde, meest waarschijnlijke windcondities. Voor de resultaten van de 6 scenario's waarbij is uitgegaan van windstilte wordt verwezen naar Bijlage 2 (memo TNO).

Uit de in Tabel 3-1 weergegeven resultaten is af te leiden dat de maximale berekende oppervlakte waarbinnen vissen (die tijdens het heien niet wegzwemmen) enige gehoorschade zouden kunnen oplopen 3,25 km<sup>2</sup> bedraagt. Hierbij is er 'worst case' van uitgegaan dat de vissen zich nabij de waterbodem bevinden en in de bovenste 5 m van de bodem geen geluid wordt geabsorbeerd. Deze oppervlakte komt overeen met 0,29% van het Natura 2000-gebied IJsselmeer. Als wordt uitgegaan van windstille omstandigheden zou de maximale effectoppervlakte 3,75 km<sup>2</sup> bedragen (= 0,33% van het IJsselmeer). Voor vissen die dicht bij het wateroppervlak zwemmen zijn de effectoppervlakten met een maximum van 0,5 km<sup>2</sup> veel geringer (= 0,04% van de oppervlakte van het IJsselmeer).

Tabel 3-1 Berekende effectoppervlakte ( $\pm 0,25$  km<sup>2</sup>) voor 3 turbineposities en gemiddelde windcondities met de 5 m dikke kleilaag vervangen door zand (3 linkerkolommen) en door water (3 rechterkolommen)

Kleilaag vervangen door:	Oppervlakte binnen effectcontour (km <sup>2</sup> )					
	Zand			Water		
Locatie	Zuid	Oost	Noord	Zuid	Oost	Noord
1 m onder waterspiegel	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
1 m boven waterbodem	0,5	1	0,5	2,5	3,25	2,75

### 3.5 Geluidsoverdracht naar de Waddenzee en mogelijke effecten op zeehonden

Het door TNO gebruikte model AQUARIUS leent zich niet voor het berekenen van de overdracht van geluid door de Afsluitdijk heen naar de Waddenzee. Zeker is dat de geluidafname door het dijklichaam aanzienlijk groter zal zijn dan in het water. Daarom is op grond van het feit dat de effectcontouren voor vissen de Afsluitdijk alleen voor de meest noordelijk heillocatie raken hiervoor in paragraaf 3.4 geconcludeerd dat effecten op vissen kunnen worden uitgesloten. De grenswaarde waarbij permanente effecten op het gehoor van zeehonden kunnen optreden, ligt echter aanzienlijk lager dan die van vissen ( $SEL_{CUM}$  186 dB re  $1 \mu Pa^2 s$  i.p.v. 207 dB re  $1 \mu Pa^2 s$ ). Zoals gezegd zal het heigeluid naar verwachting grotendeels worden gedempt door het dijklichaam. Indicatieve berekeningen laten zien dat, ook als geen rekening wordt gehouden met de demping door het dijklichaam, het effectgebied waar zeehonden, *als zij tijdens het heien niet wegzwemmen*, PTS zouden kunnen oplopen relatief gering is, te weten respectievelijk 2 (kleilaag = zand) en 9 km<sup>2</sup> (kleilaag = water) voor de meest noordelijke paal onder gemiddelde windomstandigheden. De effectcontour voor zeehonden van de twee andere paallocaties komt in geen van de onderzochte scenario's niet voorbij de Afsluitdijk. Uit de waarneming dat in de periode 2008 – 2012 slechts 0,5 – 1,5% van de populatie zeehonden uit de Nederlandse Waddenzee in het telgebied ten noorden van de Afsluitdijk is gezien, kan worden afgeleid dat dit gebied geen specifieke betekenis heeft als foerageergebied. Daarnaast vertoont de populatie een stijgende trend. Op grond van deze feiten en vanwege het relatief geringe 'worst case' effectoppervlak als gevolg van het heien op een beperkt aantal locaties wordt geconcludeerd dat significante effecten op zeehonden in de Waddenzee kunnen worden uitgesloten.

## 4 Effectenanalyse en beoordeling

### 4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bevat een nadere analyse van de mogelijke effecten van heigeluid bij de aanleg van windpark Fryslân op vissen en de betekenis daarvan voor de instandhoudingsdoelstellingen van het Natura 2000-gebied IJsselmeer. Dit gebeurt door na te gaan wat de gevolgen van het onderwatergeluid zijn voor de in het IJsselmeer voorkomende relevante vissoorten (§ 4.2) en vervolgens te beoordelen of deze het bereiken van de instandhoudingsdoelstellingen in de weg staan (§ 4.3).

### 4.2 Relevante soorten en mogelijke effecten

In het MER is beschreven welke vissoorten in het plangebied voorkomen en relevant zijn voor de m.e.r. van windpark Fryslân. Het betreft enerzijds beschermde soorten (al dan niet met een instandhoudingsdoelstelling) en anderzijds soorten die van belang zijn, omdat zij als voedsel dienen voor

vogels waarvoor instandhoudingsdoelstellingen gelden. Uit de beschrijving kan worden afgeleid dat in relatie tot mogelijke effecten van heigeluid een achttal soorten relevant is, omdat zij in het door het heigeluid beïnvloede gebied kunnen voorkomen. De overige, in het betreffende hoofdstuk beschreven soorten komen niet of nauwelijks in het gebied voor of ondervinden geen negatieve effecten van het onderwatergeluid, omdat het oevergebonden soorten betreft. In de oevers zal het relatief laag frequente heigeluid vanwege de zogenaamde 'low frequency cut off' zich niet meer voorplanten<sup>4</sup>.

In Tabel 4-1 zijn de 8, mogelijk beïnvloede soorten weergegeven. Van de betreffende soorten is ook aangegeven of zij over een zwemblaas beschikken en zo ja, of deze open of gesloten is (zie ook § 2.1). Aan de hand daarvan kan een eerste inschatting worden gemaakt van het daadwerkelijke risico op fysiologische (gehoor)schade als gevolg van heigeluid bij de aanleg van het windpark. Soorten met een gesloten zwemblaas zijn gevoeliger dan soorten met een open zwemblaas. Soorten zonder zwemblaas zijn vrijwel ongevoelig voor hoge geluidsdrumniveaus. In de tabel is te zien dat van de 8 relevante soorten Baars en Pos vanwege het feit dat zij een gesloten zwemblaas hebben naar alle waarschijnlijkheid het slechtst bestand zijn tegen te hoge geluidsniveaus. Met uitzondering van de Zeeprík hebben de andere soorten allemaal een open zwemblaas. Dit betekent dat zij beter voor eventuele overdruk in de zwemblaas kunnen compenseren via slokdarm en mond.

Tabel 4-1 Mogelijk door heigeluid beïnvloede soorten

Soort	Status	Zwemblaas		
		geen	open	gesloten
Aal	beschermd		x	
Fint	beschermd		x	
Zeeprík	beschermd	x		
Houting	beschermd		x	
Spiering	voedsel		x	
Baars	voedsel			x
Blankvoorn	voedsel		x	
Pos	voedsel			x

Van de beschermde vissoorten ondervinden alleen Aal, Fint en Houting mogelijk negatieve effecten van het heigeluid tijdens de aanleg van Windpark Fryslân. De Zeeprík, waarvoor het IJsselmeer als doortrekgebied naar de paaigebieden in rivieren fungeert, is vrijwel ongevoelig voor hoge niveaus van onderwatergeluid. In het onderzoek van Halvorsen e.a. (2012) bleken soorten zonder zwemblaas bij zeer hoge SEL<sub>CUM</sub> waarden van 216 dB re 1 µPa<sup>2</sup>s namelijk nog geen schade op te lopen. Dergelijke waarden worden alleen op zeer korte afstand van de heillocatie bereikt (ca. 30 m). De andere drie beschermde soorten Aal, Fint en Houting zijn weliswaar gevoeliger voor onderwatergeluid, maar ook voor deze soorten geldt dat vrijwel kan worden uitgesloten dat zodanige effecten optreden dat dieren zullen sterven. Tot sterfte leidende schade zou hoogstens op zeer korte afstand van de heillocatie kunnen optreden. De kans dat een individu gedurende de 2 tot 3 uur dat het heien van één fundering duurt op dezelfde locatie binnen enkele tientallen meters van de heillocatie verblijft, is verwaarloosbaar. Negatieve effecten van de tijdelijke verhoging van het onderwatergeluid door het heien op de staat van instandhouding van de vier relevante beschermde soorten Aal, Fint, Zeeprík en Houting kunnen dan ook worden uitgesloten.

Spiering, Baars, Blankvoorn en Pos hebben zelf geen separate wettelijke status binnen de natuurwetgeving maar vormen een voedselbron voor visetende vogels. Deze soorten zijn relatief gevoelig voor onderwatergeluid (zie Tabel 4-1) Dit geldt vooral voor Baars en Pos, omdat zij een gesloten zwemblaas hebben die bij zeer hoge geluids(druk)niveaus zou kunnen scheuren. Het is niet geheel uitgesloten dat geluidsniveaus waarbij dit zou kunnen gebeuren bij het heien worden geproduceerd. De kans op het optreden van schade die tot sterfte bij vissen met een gesloten zwemblaas leidt, neemt toe bij SEL<sub>CUM</sub> waarden van 216 dB re 1 µPa<sup>2</sup>s en hoger. Eerder is aangegeven dat de kans dat een vis aan een dergelijke hoge geluidsdosis wordt blootgesteld verwaarloosbaar is, aangezien dat alleen kan als het tijdens de hele periode van het heien van een fundering op zeer korte afstand van de heillocatie verblijft (en dus niet wegzwemt). Omdat er niet meer dan één fundering tegelijk zal worden geheid, beslaat de oppervlakte waarbinnen de drempelwaarde van SEL<sub>CUM</sub> 207 dB re 1 µPa<sup>2</sup>s voor het optreden van tijdelijke of niet dodelijke effecten op vissen op een bepaald moment wordt overschreden niet meer dan 0,3% van het Natura 2000-gebied IJsselmeer. Het betreft een tijdelijk effect dat alleen optreedt tijdens de relatief korte periode van de aanleg van de funderingen; er vindt geen blijvende aantasting van het habitat plaats.

<sup>4</sup> Ter illustratie: op een diepte van 3 m dringt geluid met een frequentie lager dan ca. 770 Hz niet meer door. Zoals uit Figuur 2 van Bijlage 2 (memo TNO) is op te maken, zit de meeste energie van het heigeluid bij lagere frequenties.

De conclusie is dat de populaties van deze soorten niet substantieel worden beïnvloed door de heiwerkzaamheden bij de aanleg van het windpark en dat significant negatieve effecten op visetende vogels daarom kunnen worden uitgesloten. Eventuele effecten van onderwatergeluid beslaan namelijk een zeer geringe oppervlakte van het IJsselmeer en treden uitsluitend op in de korte perioden dat daadwerkelijk wordt geheid.

#### **4.3 Beoordeling effecten in relatie tot instandhoudingsdoelstellingen**

Bij de beoordeling in het kader van Natura 2000 gaat het om de vraag of het windpark Fryslân negatieve effecten zou kunnen hebben op het bereiken van de instandhoudingsdoelstellingen voor het Natura 2000-gebied IJsselmeer. Instandhoudingsdoelstellingen zijn geformuleerd op algemeen niveau en voor het habitatype dat voorkomt in het IJsselmeer. Voor wat betreft het optreden van onderwatergeluid vindt geen beïnvloeding van deze doelen plaats. Daarnaast zijn doelen geformuleerd op het niveau van soorten (paragraaf 4.4 Habitatrictlijn: soorten (bijlage II), ontwerpbesluit IJsselmeer). Relevant in dit kader kunnen vissoorten zijn, alsmede visetende vogelsoorten.

In de vorige paragraaf zijn de mogelijk relevante vissoorten reeds besproken en is geconcludeerd dat geen belangrijke negatieve effecten of verstoringen verwacht worden. Aangezien geen belangrijke effecten te verwachten zijn op de visstand is eveneens uitgesloten dat het onderwatergeluid een belangrijk negatief effect op visetende vogels kan hebben. Significant negatieve effecten alsmede aantasting van instandhoudingsdoelstellingen met betrekking tot soorten ten gevolge van het optreden van onderwatergeluid bij aanleg, exploitatie en verwijdering van het windpark Fryslân zijn derhalve uitgesloten.

## **5 Conclusies**

In deze notitie zijn de mogelijke effecten van onderwatergeluid dat optreedt bij de aanleg, exploitatie en verwijdering van het windpark Fryslân beschreven en geanalyseerd.

Achtereenvolgens zijn aan de orde gekomen:

- De activiteiten en omstandigheden waarbij onderwatergeluid vrijkomt, zoals scheepvaartverkeer, heien van de funderingen (monopiles), het draaien van de turbinerotor en het verwijderen van de funderingen;
- De mogelijke effecten van dit onderwatergeluid, algemeen en specifiek voor het windpark Fryslân, waarbij geconcludeerd is dat alleen het heien van de funderingen tot relevante effecten kan leiden;
- De geluidsniveaus die optreden bij het heien van monopiles en de omvang van het beïnvloede gebied;
- De analyse en beoordeling van de effecten van het onderwatergeluid van heien op relevante soorten (inclusief zeehonden in de Waddenzee) en op de instandhoudingsdoelstellingen van het Natura 2000-gebied IJsselmeer.

De conclusies van het effectenonderzoek zijn:

- Alleen bij het heien van de monopiles voor de funderingen kunnen geluidsniveaus optreden die tot relevante negatieve effecten op vissen en zeehonden zouden kunnen leiden. Daarbij treden geluidsniveaus op die de drempelwaarde voor het optreden van geringe, niet dodelijke schade bij vissen overschrijden.
- Bij het heien van een turbinefundering wordt deze drempelwaarde in een gebied met een oppervlakte van ten hoogste 0,33% van het IJsselmeer overschreden.
- Effecten op zeehonden die ten noorden van de Afsluitdijk foerageren kunnen worden uitgesloten.
- Uit de inventarisatie van mogelijk beïnvloede vissoorten komt naar voren dat een achttal vissoorten mogelijk relevant is. Voor deze soorten is aan de hand van de uitkomsten van de modelberekeningen van de optredende geluidsniveaus nagegaan of en in welke mate effecten optreden.
- Het heien van de monopiles leidt niet tot het optreden van belangrijke verstoringen of negatieve effecten op de als relevant aangemerkte vissoorten in het IJsselmeer.
- Aangezien geen negatieve populatie-effecten optreden op vissen is het eveneens uitgesloten dat visetende vogels een negatief effect ondervinden.
- Significant negatieve effecten op de instandhoudingsdoelstellingen van de Natura 2000-gebieden IJsselmeer en Waddenzee zijn, gezien het bovenstaande uitgesloten zowel voor wat betreft de algemene doelstellingen als voor de doelstellingen ten aanzien van habitattypen en soorten.

## 6 Literatuur

- Arveson, P.T. & D.J. Vendittis, 2000. Radiated noise characteristics of a modern cargo ship. *J. Acoust. Soc. Am.* 107: 118-129.
- Chapman, C.J. & A.D. Hawkins, 1973. A field study of hearing in the Cod *Gadus morhua* L. *Journal of comparative physiology*, 85: 147-167.
- Chapman, C.J. & O. Sand, 1974. Field studies of hearing in two species of flatfish *Pleuronectes platessa* L. and *Limanda limanda* L. (family *Pleuronectidae*). *Comp. Biochem. Physiol.* 47A: 371-385.
- De Jong, C., M. Ainslie, J. Dreschler, E. Jansen, E. Heemskerk & W. Groen, 2010. Underwater noise of Trailing Suction Hopper Dredgers at Maasvlakte 2: Analysis of source levels and Background noise. Commissioned by Port of Rotterdam. TNO report TNO-DV 2010 C335.
- De Jong, C.A.F & M.A. Ainslie, 2012. Underwater sound due to piling activities for Prinses Amaliawindpark. Update of the TNO report MON-RPT-033-DTS-2007-03388. TNO report 2012 R10081.
- Debusschere, E, B. De Coensel, A. Bajek, D. Botteldooren, K. Hostens, J. Vanaverbeke, S. Vandendriessche, K. Van Ginderdeuren, M. Vincx, S. Degraer, 2014. *In Situ* Mortality Experiments with Juvenile Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) in Relation to Impulsive Sound Levels Caused by Pile Driving of Windmill Foundations. *PLOS ONE*, October 2014, Volume 9, Issue 10, e109280.
- Dreschler, J., M.A. Ainslie & W.H.M. de Groen, 2009. Measurements of underwater background noise Maasvlakte 2. Commissioned by Port of Rotterdam. TNO report TNO-DV 2009 C212.
- Enger, P., 1967. Hearing in herring. *Comp. Biochem. Physiol.* 22: 527-538.
- Halvorsen, M.B., B.M. Casper, F. Matthews, T.J. Carlson & A.N. Popper, 2012b. Effects of exposure to pile-driving sounds on the lake sturgeon, Nile tilapia and hogchoker. *Proc. R. Soc. B* doi:10.1098/
- Hastings, M.C. & A.N. Popper, 2005. Effects of sound in fish. Commissioned by: California Department of Transportation Contract No. 43A0139, Task Order 1.
- Hawkins, A.D. & Johnstone, A.D.F. (1978). The hearing of the Atlantic salmon, *Salmo salar*. *J. Fish. Biol.*, 13:655-673.
- Heinis, F., C. De Jong, M. Ainslie, W. Borst & T. Vellinga, 2013. Monitoring programma for Maasvlakte 2, Part III – The effects of underwater sound. *Terra et Aqua* 132: 21 – 32.
- Kastelein, R.A., W.C. Verboom, J.M. Terhune, N. Jennings & A. Scholik, 2008. Towards a generic evaluation method for wind turbine park permis requests: assessing the effects of construction, operation and decommissioning noise on marine mammals in the Dutch North Sea. SEAMARCO report no. 1-2008. Commissioned by Deltares.
- Oestman, R., D. Buehler, J.A. Reyff & R. Rodkin, 2009. Technical Guidance for Assessment and Mitigation of the Hydroacoustic Effects of Pile Driving on Fish. Prepared for California Department of Transportation. [http://www.dot.ca.gov/hq/env/bio/files/Guidance\\_Manual\\_2\\_09.pdf](http://www.dot.ca.gov/hq/env/bio/files/Guidance_Manual_2_09.pdf) (last accessed 11 October 2011).
- Pondera Consult & HWE, 2009. Offshore windturbinepark Noordoostpolder en mogelijke effecten van onderwatergeluid, 24 september 2009.
- Richardson, W.J., C.R. Greene Jr., C.I. Malme & D.H. Thomson, 1995. *Marine Mammals and Noise*. Academic Press. San Diego.
- Thomsen, F., K. Lüdemann, R. Kafemann & W. Piper, 2006. Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish. Biola, Hamburg, Germany. On behalf of COWRIE Ltd.
- Van Hal, R., B. Couperus, S. Fassler, S. Gastauer, B. Griffioen, N. Hintzen, L. Teal, O. van Keeken & E. Winter, 2012. Monitoring- and Evaluation Program Near Shore Wind farm (MEP-NSW). Fish community. Commissioned by Noordzeewind. IMARES Report C059/12.



## BIJLAGEN

## Bijlage 1 Effecten van onderwatergeluid door draaiende windturbines

In de exploitatiefase ontstaat geluid ten gevolge van de draaiende rotor; dit geluid straalt via de turbinevoet onderwater uit. Dit is een andere geluidsbron dan in de huidige situatie aan de orde is met scheepvaart en dergelijke (hoewel de aard van het geluid - draaiende mechanische delen - niet anders is dan dat van scheepvaart).

Het inzicht in de mogelijke omvang van de onderwatergeluidemissies neemt snel toe naarmate meer ervaring met windturbineparken in het mariene milieu wordt opgedaan (met de daarbij behorende monitoringsprogramma's). De beschikbare metingen van het door het gebruik van windturbines veroorzaakte geluid onder water hebben overwegend betrekking op windturbines met een relatief gering vermogen (< 2,3 MW). Het betreft metingen aan offshore windparken in Deense en Zweedse wateren (Lindell, 2003; ISD, 2007). Uit de resultaten van de diverse uitgevoerde geluidsmetingen is af te leiden dat door draaiende offshore windturbines de geluidsdruk onder water overwegend in de lagere frequenties tot ongeveer 800 Hz toeneemt (Degn, 2000; Lindell, 2003; ISD, 2007). Bij hogere frequenties is het achtergrondgeluid bepalend voor het totale geluidsdrukniveau. De door de draaiende turbines veroorzaakte laagfrequente trillingen hangen samen met de passage van de rotorbladen langs de mast, de onbalans van de rotor, de mechanische draaiende delen in de gondel, de eigen trilling van de mast en golven die tegen de mast slaan. Er worden in de mast ook geluiden met hogere frequenties geproduceerd, maar die dringen slechts gedeeltelijk door onder het wateroppervlak en doven vervolgens relatief snel uit als gevolg van absorptie en verstrooiing (o.a. Richardson *et al*, 1995). Van alle mogelijke vormen van geluidsoverdracht zijn het vooral de in de gondel optredende trillingen die via de mast naar het water afstralen die verantwoordelijk zijn voor de toename van de geluidsdruk onder water (o.a. Lindell, 2003).

Bij de voorspellingen van effecten van het door de draaiende windturbines veroorzaakte geluid op vissen worden de volgende fysische en biologische uitgangspunten gehanteerd:

- Voor de bepaling van de bronsterkte is gebruik gemaakt van referentiegetallen voor windturbines van 2 en 2,3 MW op stalen monopiles (Horns Rev en Paludans Flak), zoals weergegeven in ISD (2007). Het is niet bekend in hoeverre draaiende windturbines met een hoger vermogen (bijvoorbeeld 5 á 6 MW) ook tot grotere geluidsdrukniveaus onderwater zullen leiden. Uit een vergelijking van metingen aan de trillingen in palen van 550 kW en 2 MW kan worden afgeleid dat een toename is te verwachten bij frequenties lager dan ongeveer 125 Hz (figuur 7 in Degn, 2000). Aan de andere kant is het zo dat de tandwielfrequenties in grotere turbines lager zijn, als gevolg waarvan de geluidsoverdracht minder efficiënt verloopt (Betke *et al*, 2004). Om, ondanks de hiervoor geconstateerde leemte in kennis, toch een inschatting van de effecten te kunnen maken van draaiende windturbines met hogere vermogens is hier (worst-case) aangenomen dat het onderwatergeluid door draaiende turbines van 6 MW (dit is een groter vermogen dan waaraan in het voorkeursalternatief voor windpark IJsselmeer gedacht wordt, dit leidt derhalve tot een worst case benadering) ten opzichte van dat van gemeten waarden van 2 MW en 2,3 MW turbines evenredig toeneemt met het vermogen<sup>5</sup>. Verder is aangenomen dat de geluidsspectra vergelijkbaar zijn met die van windturbines met lagere vermogens;
- Geluid dat zich onder water voortplant, dooft op den duur uit. De afstand waarover geluid zich kan voortplanten hangt o.a. af van de frequentie van het geluid, de waterdiepte en de eigenschappen van de bodem. Hoe het geluid op de locatie van het windturbinepark zal uitdoven, is niet bekend. Beschikbare meetgegevens hebben betrekking op de resultaten van metingen op een enkele afstand (ISD, 2007), zijn te weinig representatief voor windparken in het IJsselmeer of geven geen goed beeld van maximale geluidsniveaus omdat de metingen bij relatief lage windsnelheden zijn uitgevoerd (Nedwell *et al*, 2007). Effecten op vissen zijn daarom alleen gekwantificeerd voor een afstand van 100 m van maximaal belaste windturbines, omdat hiervoor betrouwbare meetgegevens beschikbaar zijn. Voor effecten dichterbij en verder weg van de turbines zijn kwalitatieve inschattingen gemaakt.
- Voor het bepalen van effecten op vissen zijn de in ISD (2007) weergegeven gegevens van het offshore windpark Paludans Flak gebruikt. Hiervoor zijn de gemeten geluidsspectra bewerkt tot zogenaamde gewogen geluidsspectra, wat betekent dat de spectra zijn gecorrigeerd voor het gehoorfilter van vissen. Hierbij is uitgegaan van beschikbare audiogrammen. Voor de '0-waarde' is uitgegaan van de gehoordrempel bij de frequentie van de hoogste gevoeligheid.

---

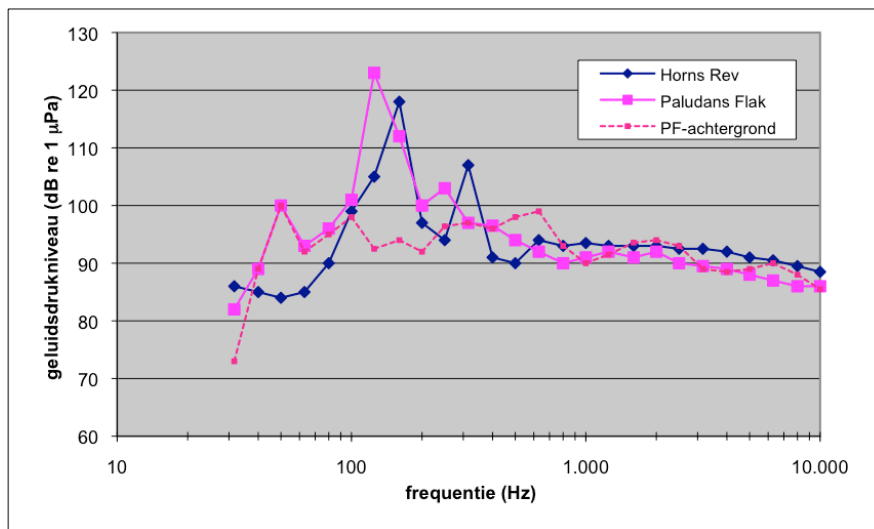
<sup>5</sup> De relatieve toename wordt berekend door het nemen van de logaritme van het verhoudingsgetal en deze te vermenigvuldigen met 10 (vanwege de logaritmische schaal van de eenheid voor geluid). De relatieve toename van een 6 MW t.o.v. een 2 MW turbine is dus:  $10 \cdot \log(6/2) = 4,8$  dB

In ISD (2007) worden de geluidsniveaus gegeven voor windturbines van verschillend vermogen en op verschillende locaties voor de Deense en Zweedse kust. Voor alle windparken betreft het resultaten van metingen bij verschillende windsterkten (en dus door de turbine geleverde vermogens) op een afstand van ongeveer 100 m van de turbine. In Tabel 1 zijn beschrijvingen van de meetomstandigheden en enkele kenmerken van de gemeten geluidsspectra in twee windparken opgenomen.

Tabel 1 Karakteristieken van onderwatergeluid in de bedrijfsfase van twee windparken (naar ISD, 2007)

Windpark	Horns Rev	Paludans Flak
Type windturbine	Vestas V80, 2 MW	Bonus, 2,3 MW
Fundering	monopile	monopile
Waterdiepte (m)	7-8	12
Aantal gemeten spectra	5	5
Gemeten range in belasting van windturbine (%)	11-100	0-100
Max. gemeten geluidsdruk niveau op 100 m (dB re 1 $\mu$ Pa per tertsband)	118	122
(Tertsband) frequentie met max. geluidsniveau (Hz)	160	125
Geschat maximaal bronniveau op 1 m (dB re 1 $\mu$ Pa) <sup>6</sup>	147 $\pm$ 5	153 $\pm$ 5

De resultaten van de metingen waarin per windpark het maximale geluidsdruk niveau is waargenomen, zijn weergegeven in Figuur 1. In de figuur zijn voor een van de windparken ook de resultaten van metingen van het achtergrondgeluid zonder draaiende windturbines gegeven. In de figuur is te zien dat voor beide windparken geldt dat op 100 m afstand van de turbine de toename van het onderwatergeluid bij relatief lage frequenties plaatsvindt. De gemeten geluidsdruk niveaus liggen bovendien in dezelfde orde van grootte. Vergelijking van de geluidsdruk niveaus met en zonder draaiende windturbines laat voor Paludans Flak zien dat de draaiende windturbines alleen bijdragen aan het geluid in frequenties lager dan circa 200 Hz. Voor het windturbinepark Horns Rev is dit ca. 400 Hz (niet in de figuur weergegeven, zie ISD, 2007).



Figuur 1 In twee windparken gemeten, in tertsbanden weergegeven geluidsspectra; metingen op ca. 100 m van de windturbine (naar ISD, 2007); zie ook Figuur 1; de gestippelde curve (PF-achtergrond) geeft het spectrum in Paludans Flak weer bij een windsnelheid van minder dan 2 m/s terwijl alle windturbines zijn uitgeschakeld.

## Effecten op vissen

<sup>6</sup> Voor afstanden van 3 tot ongeveer 10 maal de gemiddelde waterdiepte vanaf de bron kan voor een zandbodem en laagfrequent geluid (boven de cut-off frequentie) met een onzekerheid van +/- 5 dB uitgegaan worden van (Marsh & Schulkin, 1962):

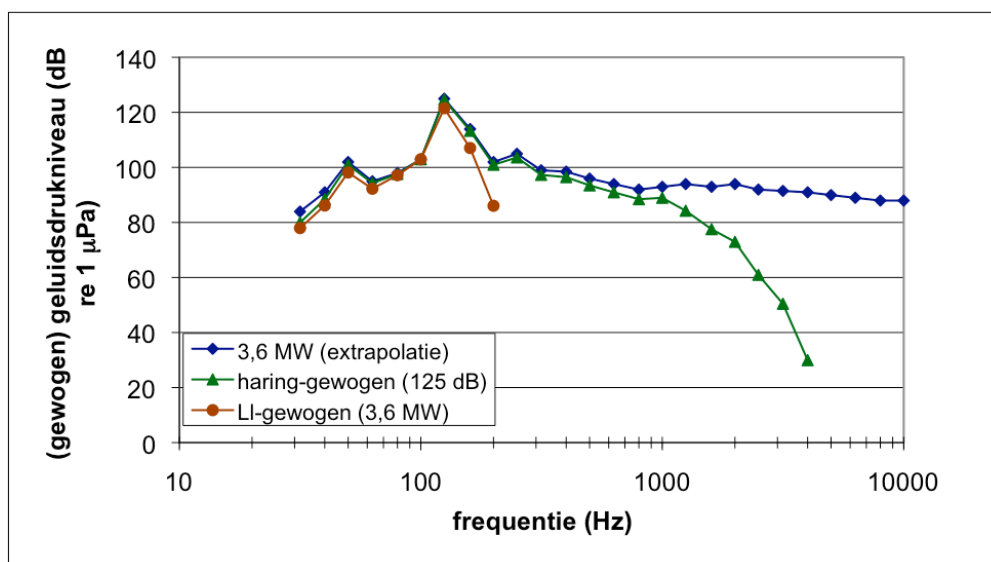
$$PL = 10 * \log(H) + 10 * \log(r),$$

waarbij PL = propagatieverlies (dB re 1 m<sup>2</sup>), H = waterdiepte (m) en r = afstand (m). Deze relatie is gebruikt om het bronniveau voor de parken Paludans Flak en Horns Rev te schatten (laatste regel in Bijlagentabel 1).

De gevoeligheid van vissen is het grootst bij relatief lage frequenties van 30 Hz tot ongeveer 1 kHz. Dit betekent dat de meeste vissen de geluiden die door draaiende windturbines worden gegenereerd relatief goed kunnen horen. In Figuur 2 is de gevoeligheid van haring (gehoorspecialist) en schar (gehoorgeneralist) voor het geluid van draaiende, maximaal belaste grote windturbines (6 MW) weergegeven (gegevens voor typische IJsselmeer vissoorten zijn niet voorhanden maar er is geen aanleiding te veronderstellen dat deze een wezenlijk ander beeld te zien zullen geven dan de hier geanalyseerde vissoorten).

Uit de figuur is af te leiden dat de maximale gevoeligheid van deze twee voorbeeldsoorten in hetzelfde frequentiebereik ligt als het van de windturbines afkomstige geluid. De soorten verschillen in het frequentiebereik van hun gehoor (haring heeft een groter bereik) en de hoogte van de gehoordrempel, die bij schar hoger ligt.

Voor een inschatting van het effect van draaiende windturbines op vissen is het ongewogen<sup>7</sup> spectrum tussen de (tertsband)frequenties van 31,5 en 10.000 Hz gesommeerd en vergeleken met de door Kastelein *et al.* (2008) afgeleide waarden voor een theoretische vissoort. Op 100 m van een maximaal belaste turbine ligt het breedbandgeluidsniveau boven het geluidsniveau waarbij volgens Kastelein *et al.* (2008) een schrikreactie optreedt (dit ligt volgens hen op 120 dB). Het ligt echter ver onder het niveau waarbij tijdelijke gehoorschade optreedt. Dit betekent dat relatief goed horende vissen als de Haring het geluid van de turbine op deze afstand zeker zullen horen, maar geen (tijdelijke) gehoorschade of andere negatieve fysieke effecten ondervinden.



Figuur 2 Op metingen in het windturbinepark Paludans Flak gebaseerde ongewogen en audiogram gewogen geluidsdruk niveaus in tertsbanden op 100 m van de windturbine; Ch = Haring (*Clupea harengus*); LI = schar (*Limanda limanda*)

De gehoorsafstand zegt echter nog niets over een eventuele gedragsrespons bij vissen. Wahlberg & Westenberg (2005) schatten dat vissen pas op een afstand van 4 m van draaiende windturbines worden afgeschrikt. Dit zou betekenen dat een relatief zeer gering deel van het windturbinepark door vissen zal worden gemeden. Daarnaast is in de Bio-wind studie gevonden dat sommige vissoorten juist worden aangetrokken door de beschikbaarheid van prooi op en rondom de funderingen van de windturbines (Judd *et al.*, 2003). Het door de betreffende windturbines geproduceerde geluid wordt dus blijkbaar niet als hinderlijk ervaren. Uit de resultaten van monitoring in de Deense windturbineparken Horns Rev en Nysted zijn geen verschillen gebleken tussen de samenstelling van de visgemeenschappen binnen en buiten de windturbineparken. Dit zou betekenen dat de in deze wateren voorkomende vissoorten de windturbineparken blijkbaar niet mijden (DONG Energy, 2006). Tot de aangetroffen soorten behoorde ook de relatief gevoelige Haring. Hierbij kan nog opgemerkt worden dat vissen ter plaatse van de kust van de Noordoostpolder gewend zijn aan het voortdurend voorkomen van hoge geluidsniveaus door de intensieve scheepvaart in het gebied.

<sup>7</sup> Voor de Haring, de gevoeligste soort waarvan gegevens beschikbaar zijn, maakt het niet uit omdat bij deze soort over de hele breedte van het windturbinegeluid het gehoor op zijn gevoeligst is. Kastelein *et al.* (2008) geven uitsluitend ongewogen geluidsniveaus.

Uit de bovenstaande analyse kan afgeleid worden dat geen negatieve effecten te verwachten zijn van het onderwatergeluid van de draaiende turbines op vissen.

**Bijlage 2 Memo TNO – Berekeningen onderwatergeluid voor heiwerkzaamheden Offshore  
Windpark Fryslân**

Notitie

**Aan**

PONDERA CONSULT BV (Martijn ten Klooster & Florentine van der Wind)

**Van**

Christ de Jong & Bas Binnerts

**Onderwerp**

Berekeningen onderwatergeluid voor heiwerkzaamheden Offshore Windpark  
Fryslan (projectnr. 052.04254)

**Technical Sciences**

Oude Waalsdorperweg 63  
2597 AK Den Haag  
Postbus 96864  
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00

F +31 70 328 09 61

infodesk@tno.nl

**Datum**

November 2013

**Onze referentie**

DHW-TS-2014-0100105710

**E-mail**

christ.dejong@tno.nl

**Doorkiesnummer**

+31 88 866 80 34

**Doorkiesfax**

+31 88 866 65 75

## 1 Inleiding

Pondera Consult BV heeft TNO gevraagd om te assisteren bij de milieueffectrapportage op het gebied van onderwatergeluid voor het voorgenomen Windpark Fryslân, in het Friese deel van het IJsselmeer nabij de Afsluitdijk. Het betreft een berekening van de te verwachten onderwatergeluidbelasting rond het park tijdens de heiwerkzaamheden voor de windturbinefundaties in verband met de mogelijke effecten daarvan op vissen in het IJsselmeer.

Dit memorandum beschrijft de aanpak en geeft de resultaten van de berekeningen in de vorm van onderwatergeluidkaarten, waarin de totale geluidbelasting gedurende het heien voor één paal is weergegeven. De berekende geluidbelasting wordt vergeleken met een op dit moment beschikbare grenswaarde waarboven het geluidniveau effect zou kunnen hebben op vissen.

Bij het beoordelen van de berekende effectafstanden dient rekening gehouden te worden met de vele onzekerheden in berekeningen en grenswaarden. De berekeningsresultaten geven een indicatie van de orde van grootte van de afstanden tot de heipaal waarop het onderwatergeluid kan leiden tot fysiologische effecten bij vissen.

De berekeningen zijn beperkt tot het onderwatergeluid in het IJsselmeer. Met het AQUARIUS model kan de overdracht van geluid door de afsluitdijk heen naar de Waddenzee niet berekend worden. Uit de berekeningsresultaten voor het onderwatergeluid in het IJsselmeer (§9) in combinatie met de verwachting dat de geluidafname in het dijklichaam aanzienlijk groter zal zijn dan in het water kan worden geconcludeerd dat het onderwatergeluid in de Waddenzee ten gevolge van het heien voor Windpark Fryslân niet tot fysiologische effecten bij vissen zal leiden.

## 2 Inhoud

3	AQUARIUS .....	2
4	Windpark Fryslân: omgevingsparameters .....	3
5	Bronsterkte van het heigeluid.....	4
6	Heiscenarios .....	5
7	Drempelwaarden voor effecten op vissen .....	5
8	Berekeningen.....	6
9	Onderwatergeluidkaarten.....	6
10	Onzekerheden .....	8
11	Conclusie .....	8
12	Referenties.....	8
A.	Geluidverspreidingskaarten voor de meest zuidelijke heipaal .....	10
B.	Geluidverspreidingskaarten voor de meest noordelijke heipaal .....	12
C.	Geluidverspreidingskaarten voor de meest oostelijke heipaal.....	14

### Datum

November 2013

### Onze referentie

DHW-TS-2014-0100105710

### Blad

2/15

## 3 AQUARIUS

De onderwatergeluidkaarten zijn gemaakt met behulp van de huidige versie van het TNO rekenmodel AQUARIUS, dat is gebaseerd op de benaderingsmethode die is beschreven in [Weston 1971, 1976]. Dit model berekent de ruimtelijke verspreiding van het geluid, op basis van gegevens over de geluidbron, de bathymetrie, het sediment en de windsterkte.

De 'Ad-hoc European working group on Terminology for Underwater Sound' [AETUS 2011] kwam in 2011 tot de conclusie dat het waarschijnlijk niet mogelijk is om een bruikbare definitie van een akoestische bronniveau ('Source Level') van offshore heiwerkzaamheden te formuleren. De modellering van de onderwatergeluidverspreiding bij offshore heiwerkzaamheden is nog in ontwikkeling. Het onlangs door TNO ontwikkelde hybride model [Zampolli 2013] waarmee het heigeluid wordt berekend uit gedetailleerde gegevens van heipaal, heihamer en omgeving is nog niet gereed en behoeft nog nadere validatie.

Om toch een schatting van de geluidverspreiding te kunnen geven nemen we hier voorlopig aan dat we het Aquarius-model kunnen gebruiken om het geluidveld vanuit de bestaande meetdata op afstand van de paal te extrapoleren naar grotere afstanden. Hoewel het Aquarius-model nog niet experimenteel gevalideerd is voor de geluidverspreiding van heigeluid over afstanden groter dan ca. 5,6 km (de maximale meetafstand in [de Jong & Ainslie 2012]), levert dit model naar verwachting een realistischer schatting van de geluidverspreiding dan modellen die geen rekening houden met de frequentie van het geluid, de bathymetrie, het sediment en de windsterkte.



#### 4 Windpark Fryslân: omgevingsparameters

De via Pondera Consult aangeleverde gegevens over de bathymetrie (waterdiepte) van het IJsselmeer en de geplande locaties van de turbines zijn weergegeven in Figuur 1.

Uit de aangeleverde gegevens over het sediment (ter plaatse van het park) blijkt dat de bovenste laag van ca. 5 m uit klei bestaat met daaronder zand. In de huidige implementatie van AQUARIUS wordt geen rekening gehouden met gelaagdheid van het sediment. Daarom is de volgende aanpak gehanteerd: Bij lagere frequenties kan de kleilaag min of meer transparant zijn voor het geluid. Om dat in rekening te brengen zijn 'worst case' berekeningen uitgevoerd waarbij de kleilaag door water is vervangen (in het model de bodemdiepte voor het hele IJsselmeer met 5 m vergroot). Daarnaast zijn ook berekeningen uitgevoerd waarbij de kleilaag door zand is vervangen, om inzicht te krijgen in de invloed van de bodemparameters op de berekeningsresultaten.

De bij de geluidberekeningen toegepaste parameters zijn samengevat in Tabel 1.

**Datum**

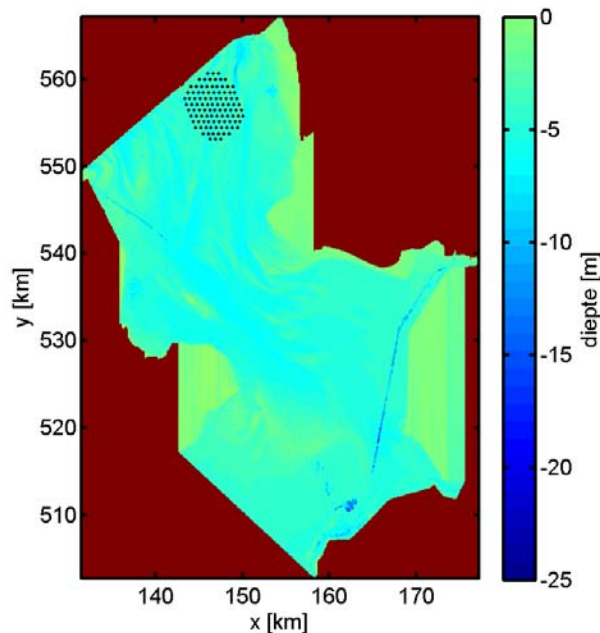
November 2013

**Onze referentie**

DHW-TS-2014-0100105710

**Blad**

3/15



**Figuur 1** Bathymetrie van het IJsselmeer, met de geplande locaties van de turbines voor Windpark Fryslân aangegeven als zwarte stippen.

**Datum**

November 2013

**Onze referentie**

DHW-TS-2014-0100105710

**Blad**

4/15

Bodem type [Ainslie 2010]	'medium sand'
Bodem geluidsnelheid	1785 m/s
Bodem dichtheid	2086 kg/m <sup>3</sup>
Bodem absorptie	0,88 dB/golflengte
Water geluidsnelheid	1490 m/s
Water dichtheid	1000 kg/m <sup>3</sup>
Water absorptie	Formule uit [Thorp 1967]
Windsnelheid (10 m hoogte)	0 m/s c.q. 5,6 m/s

**Tabel 1 omgevingsparameters voor de propagatieberekeningen**

Wind boven zee verstoort het wateroppervlak, waardoor geluid verstrooid en geabsorbeerd wordt. Daardoor neemt het propagatieverlies toe bij toenemende windsnelheid. Dat effect is vooral merkbaar bij windsnelheden (op 10 m boven het wateroppervlak) groter dan 3 tot 4 m/s. Bij de berekening van de geluidverspreiding wordt daarom uitgegaan van twee windsnelheden:

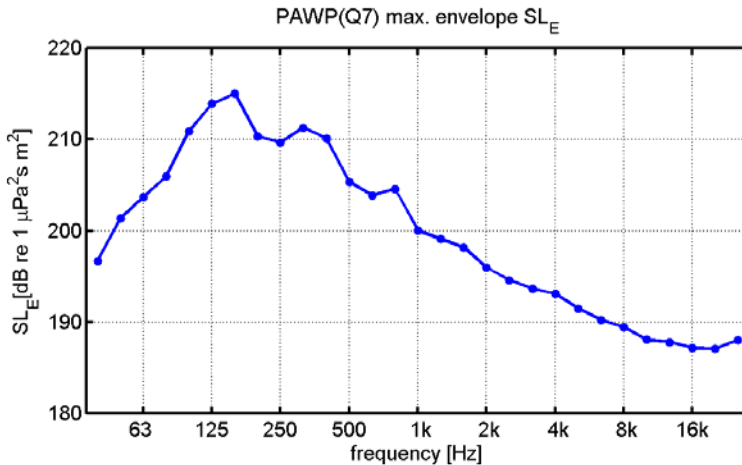
- i. 0 m/s, als 'worst case';
- ii. De verwachte gemiddelde windsnelheid in de de beoogde hei-maanden, op de beoogde planlocatie. Voor Windpark Fryslân is deze gelijk aan 5,6 m/s.

## 5 Bronsterkte van het heigeluid

Bi het bepalen van de mogelijke onderwatergeluidbelasting bij het heien voor Windpark Fryslân is uitgegaan van een door Pondera Consult aangeleverde 'worst case' configuratie:

- Heipaaldiameter 7.00 m
- Hamerenergie (per klap) 2000 kJ
- 2000 klappen, 32 m diepte, duur 2-3 uur.

We gaan er van uit dat het heigeluid zoals gemeten bij het Prinses Amaliawindpark (Q7) [de Jong & Ainslie 2012] als uitgangspunt gebruikt kan worden voor een schatting van de bij het heien opgewekte onderwatergeluidenergie. Met behulp van het Aquarius model is in [Ainslie et al 2012] een schatting gemaakt van het propagatieverlies PL van het geluid van een puntbron, midden in de waterkolom op de heilocatie, naar de verschillende meetlocaties voor Q7 (21 m waterdiepte, 'medium sand' sediment, 4,5 m/s wind op 10 m hoogte). Door het berekende propagatieverlies (PL) bij de gemeten geluidbelasting (SEL) op te tellen is een schatting gemaakt van de spectra van een energiebronsterkte  $SL_E = SEL + PL$  [TNO 2012] per heiklap voor de verschillende meetpunten. De maximale 'envelope' van deze schattingen (Figuur 1) wordt hier gebruikt als input voor de Aquarius berekening van de geluidverspreiding bij het heien voor Windpark Fryslân. De over de frequentiebanden gesommeerde  $SL_E$  per heiklap is 221 dB re 1  $\mu Pa^2 s m^2$ . De laagste schattingen van de  $SL_E$  uit de diverse meetpunten bij Q7 is 215 dB re 1  $\mu Pa^2 s m^2$ .



**Datum**  
November 2013

**Onze referentie**  
DHW-TS-2014-0100105710

**Blad**  
5/15

**Figuur 2** Geschatte bovengrens voor het energie bronniveau spectrum (1/3-octaf) voor het heigeluid, gebaseerd op de meetresultaten van Q7 (zie de tekst).

Aannemend dat een vast percentage van de klapenergie wordt omgezet in geluidenergie, zou het energiebronniveau bij een veronderstelde klapenergie van 2000kJ, 4 dB hoger<sup>1</sup> zijn dan het Q7 bronniveau. Bij gebrek aan meetgegevens nemen we voorsnog aan dat de spectrale verdeling niet verandert.

## 6 Heiscenarios

Voor de berekening van de cumulatieve blootstelling gaan we uit van een scenario van 2000 gelijke heiklappen. We beperken ons in deze studie tot fysiologische effecten op vissen zonder rekening te houden met gedragsbeïnvloeding (zie §7), waarbij we veronderstellen dat de cumulatieve onderwatergeluidblootstelling voor stationaire vissen everedig is met de totale energie die nodig is om een funderingspaal de grond in te krijgen. Deze energie is grotendeels onafhankelijk van de verdeling van de heienergie over de klappen, zodat een eventuele 'soft start' de berekende cumulatieve blootstelling niet zal veranderen.

## 7 Drempelwaarden voor effecten op vissen

De berekening van de geluidverspreiding heeft als doel in te kunnen schatten hoeveel vissen effecten kunnen ondervinden van de geluidbelasting tijdens het heien. Dat aantal hangt samen met het voorkomen van dieren binnen een afstand tot de heipaal waarbinnen het blootstellingsniveau een drempelwaarde overschrijdt waarbij die effecten mogelijk optreden. In dit memorandum rapporteren we het berekende blootstellingsniveau (een over alle heiklappen opgetelde cumulatief Sound Exposure Level (SEL<sub>cum</sub>)) en vergelijken dat met de in [Halvorsen et al 2012] voorgestelde drempelwaarde SEL<sub>cum</sub> = 207 dB re 1 µPa<sup>2</sup>s, waarboven fysiologische effecten in verschillende vissoorten zijn waargenomen.

<sup>1</sup> E.g. Een toename van de energie met een factor 2000/800 komt overeen met een toename van het energieniveau met  $10\log_{10}(2000/800) \approx 4$  dB.

**Datum**  
November 2013

**Onze referentie**  
DHW-TS-2014-0100105710

**Blad**  
6/15

### Gedragbeïnvloeding

Dieren kunnen op allerlei manieren reageren op onderwatergeluid en die reactie zal niet alleen afhangen van de karakteristieken van het geluid, maar ook van de omstandigheden (de 'context') waarin het waargenomen wordt. Niet alle reacties zijn ecologisch relevant. Het is dan ook vrijwel ondoenlijk om absolute criteria vast te stellen die aangeven of de blootstelling aan onderwatergeluid tot ecologische risico's leidt. Vanwege het ontbreken van bruikbare informatie over gedragbeïnvloeding van vissen door geluid is het zwemgedrag niet in rekening gebracht bij de berekening van de cumulatieve blootstelling aan geluid.

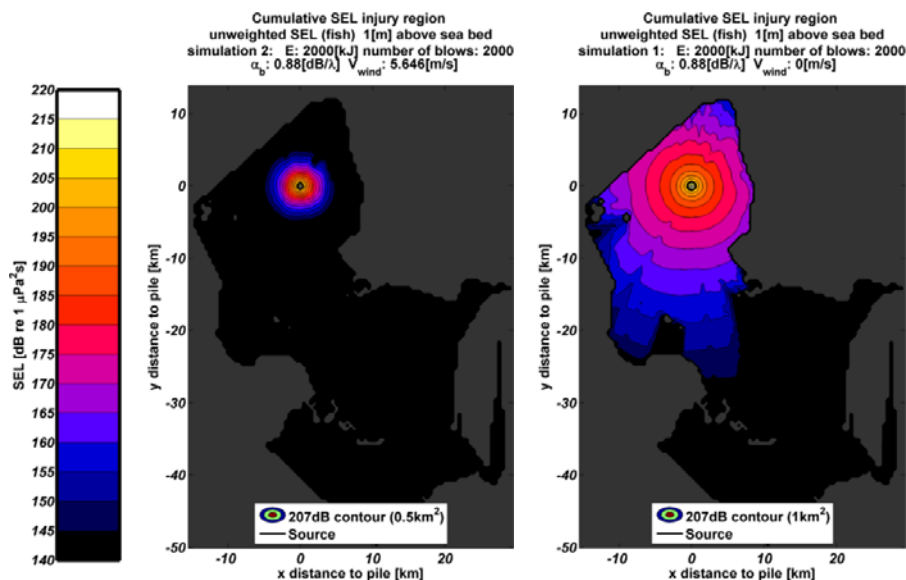
## 8 Berekeningen

Er zijn 12 scenario's doorgerekend voor het bepalen van de effectafstanden van het onderwatergeluid bij het heien voor de windturbinefundaties voor het Windpark Fryslân:

- Voor 3 heilocaties, voor de meest noordelijke, zuidelijke en oostelijke turbines.
- Voor 2 windsnelheden (0 m/s en 5,6 m/s)
- Voor 2 bodemdieptes (de bovenste laag van 5 m van het sediment gemodelleerd als zand of water)

## 9 Onderwatergeluidkaarten

Figuren 3 en 4 tonen voorbeelden van de berekende cumulatieve geluidbelasting ( $SEL_{cum}$ ) zoals die door statische dieren op 1 m van de bodem ontvangen wordt gedurende het heien voor de meest zuidelijke windturbinefundatie in Windpark Fryslân. De figuren tonen de resultaten voor vier berekeningen met verschillende invoergegevens voor de omgeving: met en zonder wind en voor de twee uiterste benaderingen voor de modellering van de kleilaag aan de bodem (zie §4). De geluidkaarten voor de overige rekenscenario's zijn verzameld in Appendix A tot C.



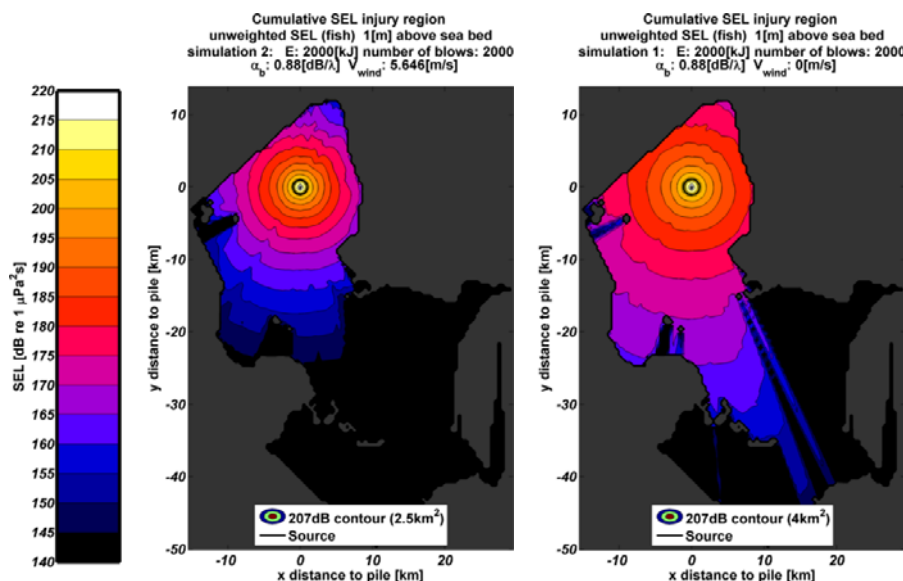
**Figuur 3** Berekende ontouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m boven de bodem) bij het heien voor de meest zuidelijke turbine van Windpark

Fryslân, uitgaande van een zandbodem (5 m kleilaag vervangen door zand), met (links) en zonder (rechts) verstoring van het wateroppervlak door wind. De legenda geeft het berekende oppervlakte binnen de 207 dB contourlijn ( $\pm 0.25 \text{ km}^2$ ).

Datum  
November 2013

Onze referentie  
DHW-TS-2014-0100105710

Blad  
7/15



**Figuur 4** Berekende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m boven de bodem) bij het heien voor de meest zuidelijke turbine van Windpark Fryslân, uitgaande van een 5 m diepere zandbodem (5 m kleilaag vervangen door water), met (links) en zonder (rechts) verstoring van het wateroppervlak door wind. De legenda geeft het berekende oppervlakte binnen de 207 dB contourlijn ( $\pm 0.25 \text{ km}^2$ ).

Voor elk van de berekeningen is het oppervlakte bepaald binnen de contour voor de drempelwaarde  $SEL_{cum} = 207 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$  (zie §7). Vanwege de ruimtelijke resolutie van de AQUARIUS berekening is de nauwkeurigheid van de oppervlakte schatting ongeveer  $\pm 0.25 \text{ km}^2$ . Tabel 2 geeft een overzicht van de berekende effectoppervlakten voor de 12 scenario's beschreven in §8.

SCENARIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Locatie (Zuid/Noord/Oost)	Z	Z	Z	Z	N	N	N	N	O	O	O	O
Kleilaag vervangen door Zand (Z) of Water (W)	Z	Z	W	W	Z	Z	W	W	Z	Z	W	W
windsnelheid (m/s)	5,6	0	5,6	0	5,6	0	5,6	0	5,6	0	5,6	0
<b>RESULTATEN:</b>												
Effectoppervlak 1 m boven zeebodem ( $\text{km}^2$ )	0,5	1	2,5	4	0,5	1,5	2,75	3,75	1	1	3,25	3,5
Effectoppervlak 1 m onder zeeoppervlak ( $\text{km}^2$ )	0,2	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,75	0,5	0,75	0,5	1

**Tabel 2:** Berekende effectoppervlakte ( $\pm 0.25 \text{ km}^2$ ) voor de 12 scenario's

Alleen in het meest extreme geval (de meest noordelijke paal, kleilaag vervangen door water en 1 m van de bodem) raakt de  $SEL_{cum} = 207 \text{ dB}$  contour de afsluitdijk.

Daarom kunnen we een eventuele geluidoverdracht door de afsluitdijk heen naar de Waddenzee buiten beschouwing laten in relatie tot het mogelijke effect op vissen.

**Datum**

November 2013

**Onze referentie**

DHW-TS-2014-0100105710

**Blad**

8/15

**10 Onzekerheden**

Er diverse bronnen van onzekerheid in de berekeningsresultaten:

- Bij de modellering van de heipaal als onderwatergeluidbron kon nog geen gebruik gemaakt worden van de geavanceerdere modellen die bij TNO in ontwikkeling zijn.
- De gehanteerde bronsterkte van het heigeluid is geschaald ten opzichte van een bovengrens van de meetresultaten voor het PAWP(Q7) park. De ondergrens van die meetgegevens ligt ca. 6 dB lager.
- Het toegepaste geluidverspreidingsmodel AQUARIUS is nog niet experimenteel gevalideerd voor propagatie over afstanden groter dan 5,6 km.
- De huidige versie van AQUARIUS is niet geschikt voor berekeningen met een gelaagde bodem. Berekeningsresultaten voor twee verschillende benaderingen van de kleilaag op de IJsselmeerbodem laten een aanzienlijk verschil zien. Een betere beschrijving van de invloed van de gelaagde bodem op de geluidoverdracht is wellicht mogelijk maar niet binnen de scope van de huidige studie.

**11 Conclusie**

Dit memo geeft de resultaten van een berekening van de verspreiding van onderwatergeluid tijdens het heien voor Windpark Fryslân, en een schatting van het oppervlak waarbinnen dat geluid mogelijk effect kan hebben op vissen.

Bij het beoordelen van de berekende effectoppervlakten dient rekening gehouden te worden met de onzekerheden in berekeningen en grenswaarden. De berekeningsresultaten geven een indicatie van de orde van grootte van de afstanden tot de heipaal waarop het onderwatergeluid kan leiden tot fysiologische effecten.

**12 Referenties**

AETUS (2011) Ad hoc European working group on Terminology for Underwater Sound (AETUS), report TNO-DV 2011 C235 'Standard for measurement and monitoring of underwater noise, Part I: physical quantities and their units'. Available from [http://www.noordzeeloket.nl/ihtm/themas/Shortlist\\_Ecologische\\_Monitoring\\_Wind\\_op\\_Zee/Geluidsonderzoek/](http://www.noordzeeloket.nl/ihtm/themas/Shortlist_Ecologische_Monitoring_Wind_op_Zee/Geluidsonderzoek/)

Ainslie (2010) Principles of Sonar Performance Modeling. Springer-Praxis

Ainslie et al (2012) 'What is the source level of pile-driving noise in water?' In The Effects of Noise on Aquatic Life, edited by Popper & Hawkins (Springer), pp 445-448.

de Jong & Ainslie (2012) report TNO 2012 R10081 'Analysis of the underwater sound during piling activities for the Off-shore Wind Park Q7' (update of TNO report MON-RPT-033-DTS-2007-03388)

- Halvorsen MB, Casper BM, Matthews F, Carlson TJ and Popper AN (2012) Effects of exposure to pile-driving sounds on the lake sturgeon, Nile tilapia and hogchoker. *Proc. R. Soc. B* 2012 **279**. doi: 10.1098/rspb.2012.1544
- Thorp W (1967) 'Analytic description of the low-frequency attenuation coefficient', *J. Acoust. Soc. Am.* 42(1), 270
- Weston (1971) 'Intensity-range relations in oceanographic acoustics', *Journal of Sound and Vibration* 18(2), pp 271-287
- Weston (1976) 'Propagation in water with uniform sound velocity but variable-depth lossy bottom', *Journal of Sound and Vibration* 47(4), pp 473-483
- Zampolli et al (2013) 'Validation of finite element computations for the quantitative prediction of underwater noise from impact pile driving', accepted for the *Journal of the Acoustical Society of America* (in press)

**Datum**

November 2013

**Onze referentie**

DHW-TS-2014-0100105710

**Blad**

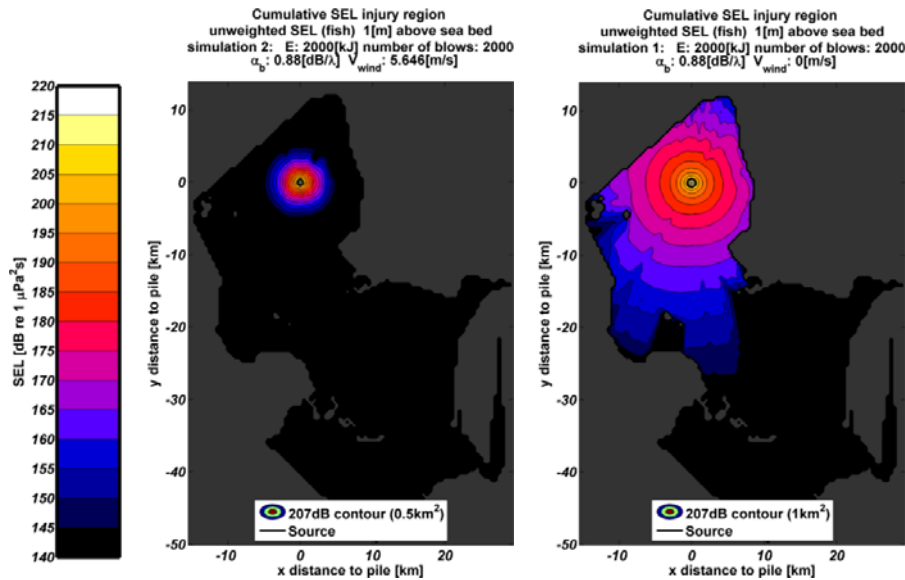
9/15

**A. Geluidverspreidingskaarten voor de meest zuidelijke heipaal**

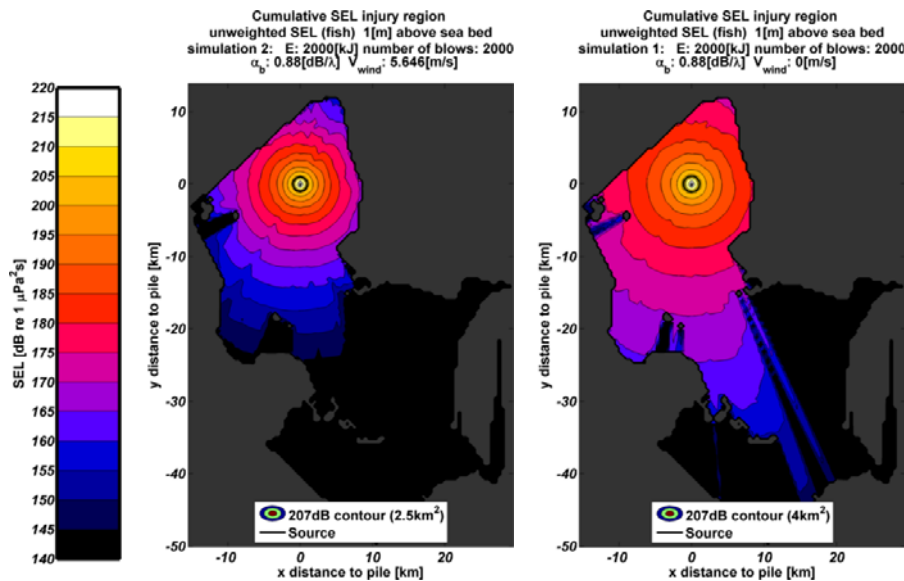
Datum  
November 2013

Onze referentie  
DHW-TS-2014-0100105710

Blad  
10/15



**Figuur A.1** Berekende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m boven de bodem) bij het heien voor de meest zuidelijke turbine van Windpark Fryslân, uitgaande van een zandbodem (5 m kleilaag vervangen door zand), met (links) en zonder (rechts) verstoring van het wateroppervlak door wind. De legenda geeft het berekende oppervlakte binnen de 207 dB contourlijn ( $\pm 0.5 \text{ km}^2$ ).



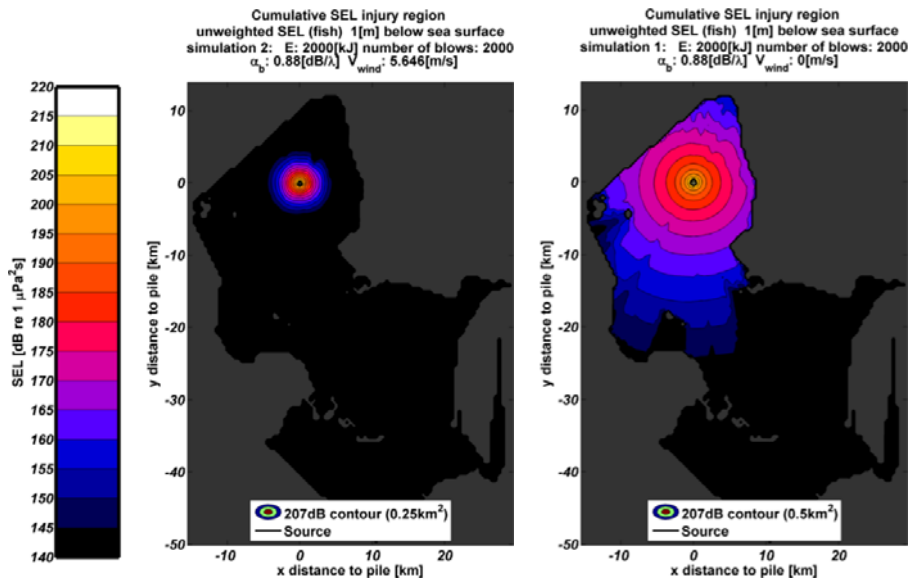
**Figuur A.2** Berekende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m boven de bodem) bij het heien voor de meest zuidelijke turbine van Windpark Fryslân, uitgaande van een 5 m diepere zandbodem (5 m kleilaag vervangen door water). Zie verder de legenda bij Figuur A.1.



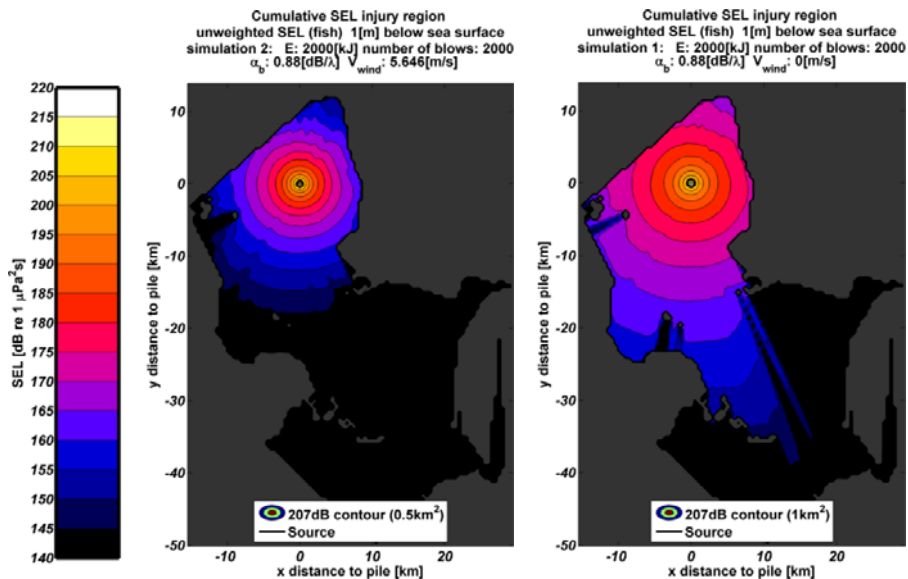
Datum  
November 2013

Onze referentie  
DHW-TS-2014-0100105710

Blad  
11/15



Figuur A.3 Berekende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m onder het wateroppervlak) bij het heien voor de meest zuidelijke turbine van Windpark Fryslân, uitgaande van een zandbodem (5 m kleilaag vervangen door zand). Zie verder de legenda bij Figuur A.1.



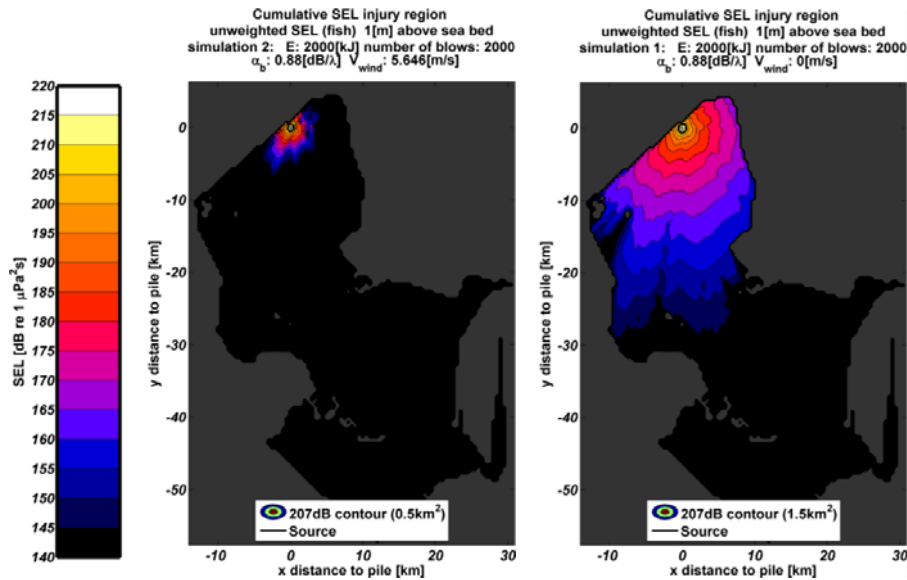
Figuur A.4 Berekende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m onder het wateroppervlak) bij het heien voor de meest zuidelijke turbine van Windpark Fryslân, uitgaande van een 5 m diepere zandbodem (5 m kleilaag vervangen door water). Zie verder de legenda bij Figuur A.1.

**B. Geluidverspreidingskaarten voor de meest noordelijke heipaal**

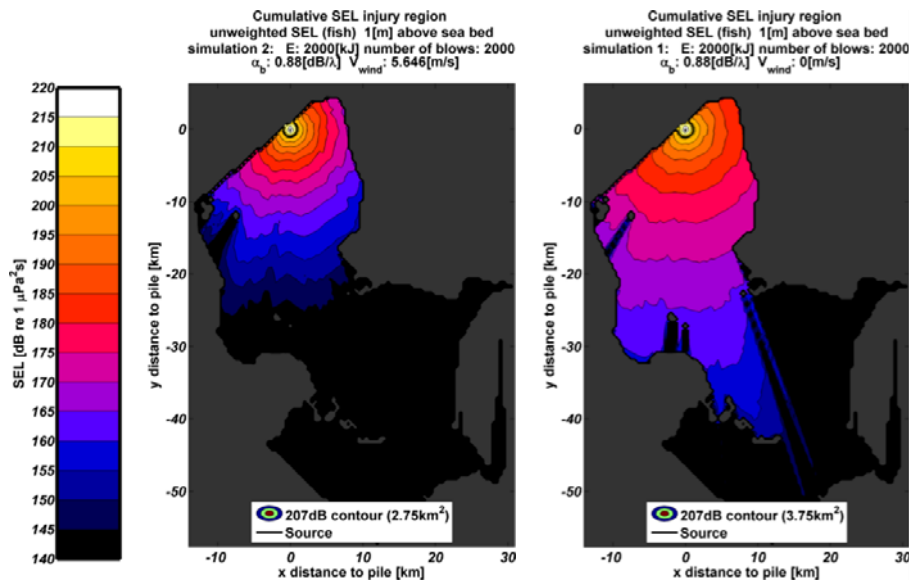
Datum  
November 2013

Onze referentie  
DHW-TS-2014-0100105710

Blad  
12/15



Figuur B.1 Berekende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m boven de bodem) bij het heien voor de meest noordelijke turbine van Windpark Fryslân, uitgaande van een zandbodem (5 m kleilaaq vervangen door zand), met (links) en zonder (rechts) versterking van het wateroppervlak door wind. De legenda geeft het berekende oppervlakte binnen de 207 dB contourlijn ( $\pm 0.5 \text{ km}^2$ ).

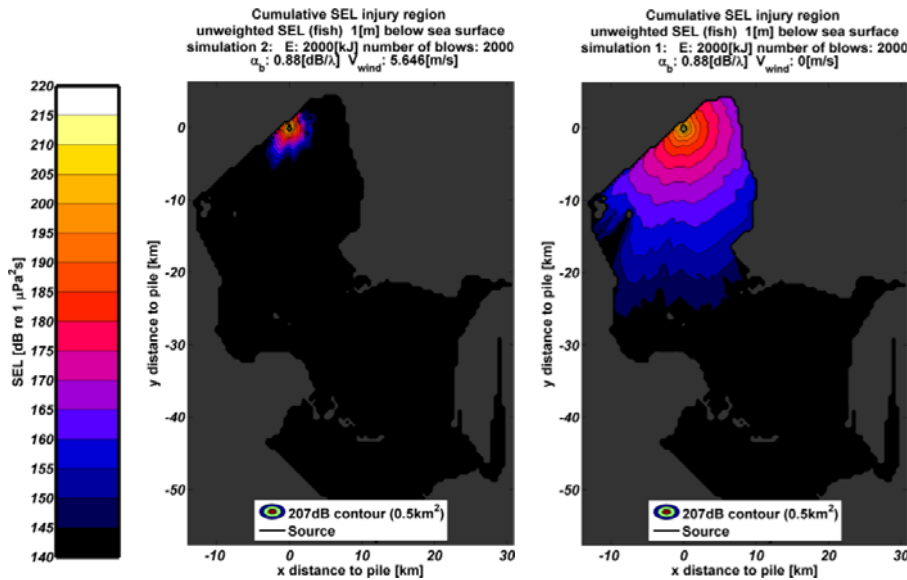


Figuur B.2 Berekende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m boven de bodem) bij het heien voor de meest noordelijke turbine van Windpark Fryslân, uitgaande van een 5 m diepere zandbodem (5 m kleilaaq vervangen door water). Zie verder de legenda bij Figuur B.1.

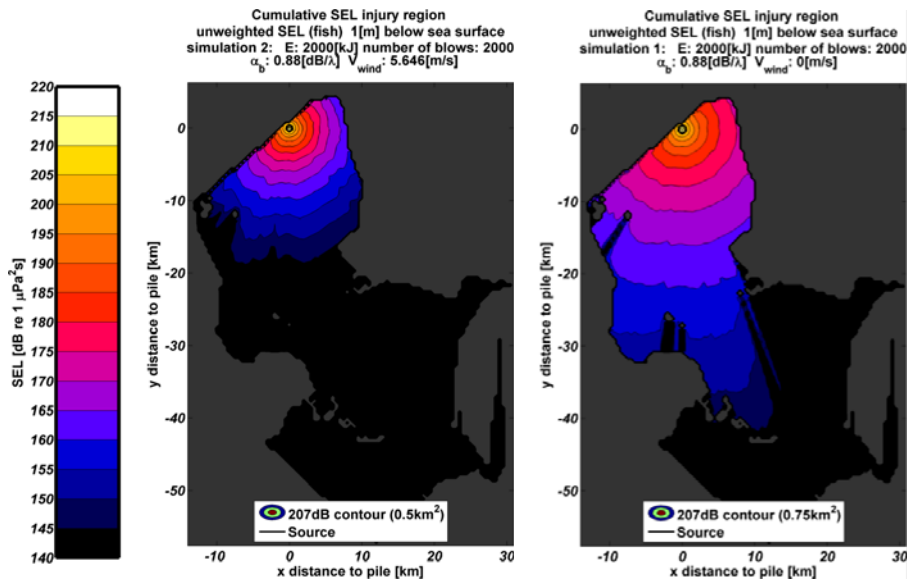
Datum  
November 2013

Onze referentie  
DHW-TS-2014-0100105710

Blad  
13/15



**Figuur B.3** Berekende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m onder het wateroppervlak) bij het heien voor de meest noordelijke turbine van Windpark Fryslân, uitgaande van een zandbodem (5 m kleilaag vervangen door zand). Zie verder de legenda bij Figuur B.1.



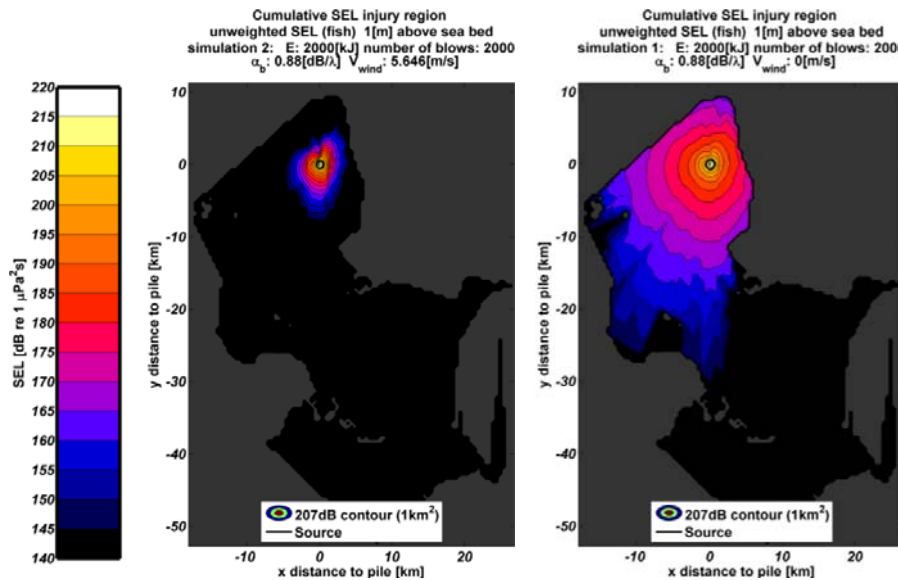
**Figuur B.4** Berekende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m onder het wateroppervlak) bij het heien voor de meest noordelijke turbine van Windpark Fryslân, uitgaande van een 5 m diepere zandbodem (5 m kleilaag vervangen door water). Zie verder de legenda bij Figuur B.1.

C. Geluidverspreidingskaarten voor de meest oostelijke heipaal

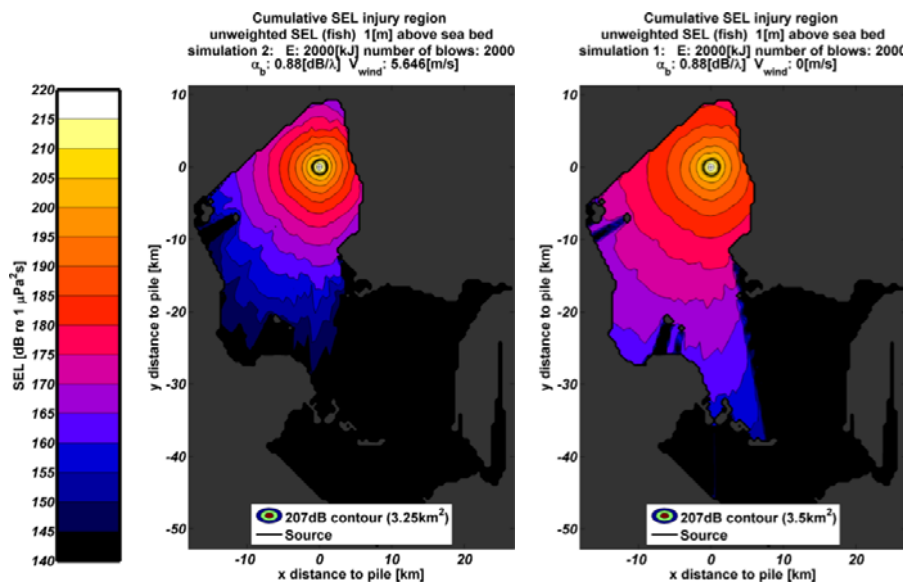
Datum  
November 2013

Onze referentie  
DHW-TS-2014-0100105710

Blad  
14/15



Figuur C.1 Berekende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m boven de bodem) bij het heien voor de meest oostelijke turbine van Windpark Fryslân, uitgaande van een zandbodem (5 m kleilaag vervangen door zand), met (links) en zonder (rechts) verstoring van het wateroppervlak door wind. De legenda geeft het berekende oppervlakte binnen de 207 dB contourlijn ( $\pm 0.5 \text{ km}^2$ ).

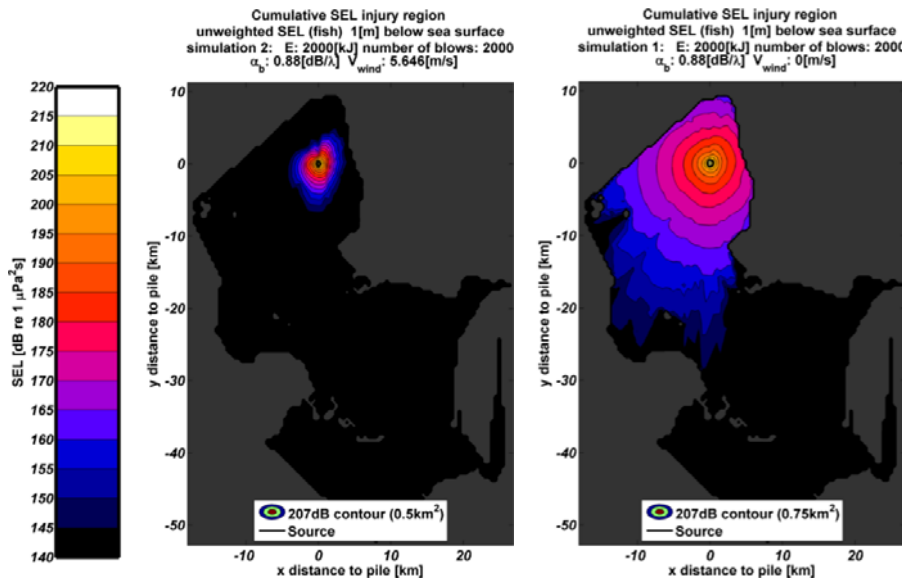


Figuur C.2 Berekende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m boven de bodem) bij het heien voor de meest oostelijke turbine van Windpark Fryslân, uitgaande van een 5 m diepere zandbodem (5 m kleilaag vervangen door water). Zie verder de legenda bij Figuur C.1.

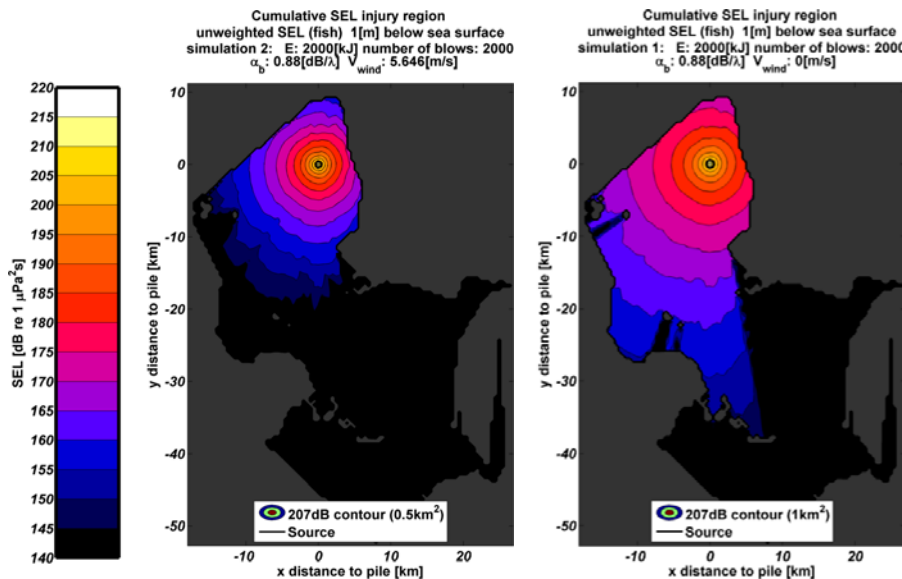
Datum  
November 2013

Onze referentie  
DHW-TS-2014-0100105710

Blad  
15/15



Figuur C.3 Berekenende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m onder het wateroppervlak) bij het heien voor de meest oostelijke turbine van Windpark Fryslân, uitgaande van een zandbodem (5 m kleilaag vervangen door zand). Zie verder de legenda bij Figuur C.1.



Figuur C.4 Berekenende contouren van de cumulatieve SEL van het onderwatergeluid (op 1 m onder het wateroppervlak) bij het heien voor de meest oostelijke turbine van Windpark Fryslân, uitgaande van een 5 m diepere zandbodem (5 m kleilaag vervangen door water). Zie verder de legenda bij Figuur C.1.



Aanvulling waterwetvergunning

14-12-2015









Rijkswaterstaat Midden Nederland  
T.a.v. dhr. M. Van der Velde  
Postbus 24094  
3502 MB UTRECHT

Betreft : Aanvulling aanvraag Waterwet en WBR-vergunning aanvraag  
Datum : 15 december 2015  
Bijlagen : 9  
Kenmerk : 709026/MTK/WW/02  
Uw kenmerk : RWS-2015/31477

Geachte heer Van der Velde,

Op 14 juli 2015 heeft Windpark Fryslân b.v. aanvragen ingediend voor een waterwetvergunning (RWS-2015/31477) en een WBR-vergunning (RWS-2015/31493) voor de realisatie van Windpark Fryslân, inclusief de realisatie van een transformatorstation en een in- en uitrit. Per brief van 6 oktober jl is het ontwerp van het transformatorstation gewijzigd.

Voor het windpark is een omgevingsvergunning aangevraagd bij de gemeente Súdwest-Fryslân. Het bouwplan is beoordeeld in het kader van welstand door de Commissie Hûs en Hiem. Naar aanleiding van dit advies zijn een aantal aanpassingen uitgevoerd. Dit betreft:

- Ontwerp van het transformatorstation;
- Ontwerp van het fundatieprincipe 'dukdale'

Graag wijzigen wij en vullen wij de aanvraag om de waterwetvergunning hierop dan ook aan.

Aanvullend melden wij u hierbij dat:

- de startdatum van de aanlegwerkzaamheden van de kabel in de dijk mogelijk eerder plaats vindt. In overleg met Rijkswaterstaat verkennen wij de mogelijkheden om de kabel reeds in 2017 aan te leggen. Daarmee starten de aanlegwerkzaamheden op z'n vroegst 1 januari 2017. De realisatie van de windturbine is voorzien in 2018 en 2019. Mochten hier relevante wijzigingen in ontstaan zullen wij dit aan u melden. Dit is voor zowel de waterwet- als de wbr-vergunningsaanvraag van toepassing.
- Per abuis een bijlage van het onderwatergeluidsonderzoek, bijlage D12, van het MER, niet bij het MER was gevoegd. Dit betreft een notitie van TNO met berekeningen voor optredende onderwatergeluidsniveaus. Deze notitie is als bijlage bij deze brief gevoegd.

#### *Fundatieprincipe 'Dukdale'*

Naar aanleiding van het advies van welstand is het fundatieprincipe dukdale, ook wel 'dolphin' genoemd (zie figuur 3.5 in bijlage 1 van de aanvraag), aangepast. Van een fundatieblok in de vorm van een achthoek boven het waterniveau met een hoogte van 5 m+NAP is het ontwerp gewijzigd naar rond blok met een maatvoering van 1m+NAP aan de zijkant tot 3 m+NAP ter hoogte van de aansluiting op de mast. In bijlage 1A en 1B bij deze aanvulling zijn de gewijzigde tekeningen opgenomen welke in de plaats komen van de bijlage 3C de tekeningen 'Aanzicht dukdale' en 'Dukdale en WTG' (tekeningnummers B4-01 en B4-02).

### *Transformatorstation*

De wijziging ten aanzien van het transformatorstation betreft een wijziging van een station bestaande uit meerdere gebouwen naar een ontwerp bestaande uit twee gebouwen met elk een afmeting van circa 46 x 9 meter. Bij het ontwerp is rekening gehouden met het Masterplan Beeldkwaliteit Afsluitdijk en op verzoek van Rijkswaterstaat met de opstellers van het masterplan (Feddes & De Ruyter). Naar aanleiding van deze afstemming is het gebouw verdiept aangelegd teneinde zoveel als redelijkerwijs mogelijk te vermijden dat het station hoger is dan de Afsluitdijk. Naast de wijziging van het aantal gebouwen is derhalve de maximale ontgraving van oorspronkelijk 1,5 m vergroot naar 3,9 m-mv (= +0,3 m NAP).

Voor de aanleg van het transformatorstation worden eerst de funderingspalen geslagen. Daarna wordt er ontgraven tot 3,9 meter onder maaiveld (NAP +0,30 m.). Drainage komt rondom de fundering van het transformatorstation te liggen op dezelfde diepte als de ontgraving. Vervolgens wordt er een werkvloer van 10-15 cm gestort. Daarna worden de funderingskoppen gesneld en worden de wapening en de bekisting opgebouwd. Vervolgens wordt de fundering gestort. In bijlage 2 zijn de ontwerptekeningen van het transformatorstation opgenomen. Bijlage 2A betreft een situatietekening en 2B de ontwerptekeningen. Hierop is te zien dat de bovenkant van de keldervloer van het transformatorstation op -3,5 meter (NAP +0,70) is gelegen en de onderzijde van de funderingsvloer op -3,9 meter (NAP +0,30).

Aan Fugro is verzocht de wijziging te beoordelen ten aanzien van de waterkering. Deze beoordeling is als bijlage 3 bij deze brief gevoegd. Vanwege de wens uit het 'Masterplan Afsluitdijk' om het trafostation niet boven de Afsluitdijk te laten uitkomen, zijn verschillende ontgravingdieptes onderzocht ten opzichte van maaiveld (-3, -4 en -5 m-mv). Hieruit is de keuze van -3,9 m-mv voortgekomen. Voor onderhavige situatie is de maximale ontgraving circa -3,9 m-mv afhankelijk van het definitieve fundatieontwerp aangezien de fundering op staal of op palen is. Een en ander conform hetgeen in de aanvraag reeds is aangegeven. Aanvullend heeft Fugro een bemalingsrapport opgesteld om een inschatting te maken van de noodzakelijke onttrekking van water. Dit rapport is als bijlage 4 bij deze brief gevoegd. Uit deze rapportage komt naar voren dat de te bemalen hoeveelheid water sterk samenhangt met hoogwater aan de zijde van de Waddenzee en regen; aangezien de locatie opgespoten zand betreft. Uitgangspunt is een bemaling met een beperkte duur. Zettingen ter hoogte van zettingsgevoelige objecten zijn uitgesloten. Mochten er toch zettingen optreden op beperkte afstand van de ontgraving zullen deze worden hersteld.

Voorafgaand aan de bouw wordt het definitieve fundatieontwerp ter goedkeuring voorgelegd. Daarbij wordt eveneens een bemalingsplan opgeleverd.

Wij vertrouwen erop u hiermee voldoende geïnformeerd te hebben. In geval van inhoudelijke vragen of onduidelijkheden kunt u contact op nemen met onze adviseur, de heer M. ten Klooster van Pondera Consult.

Namens Windpark Fryslân B.V.

Met vriendelijke groet,

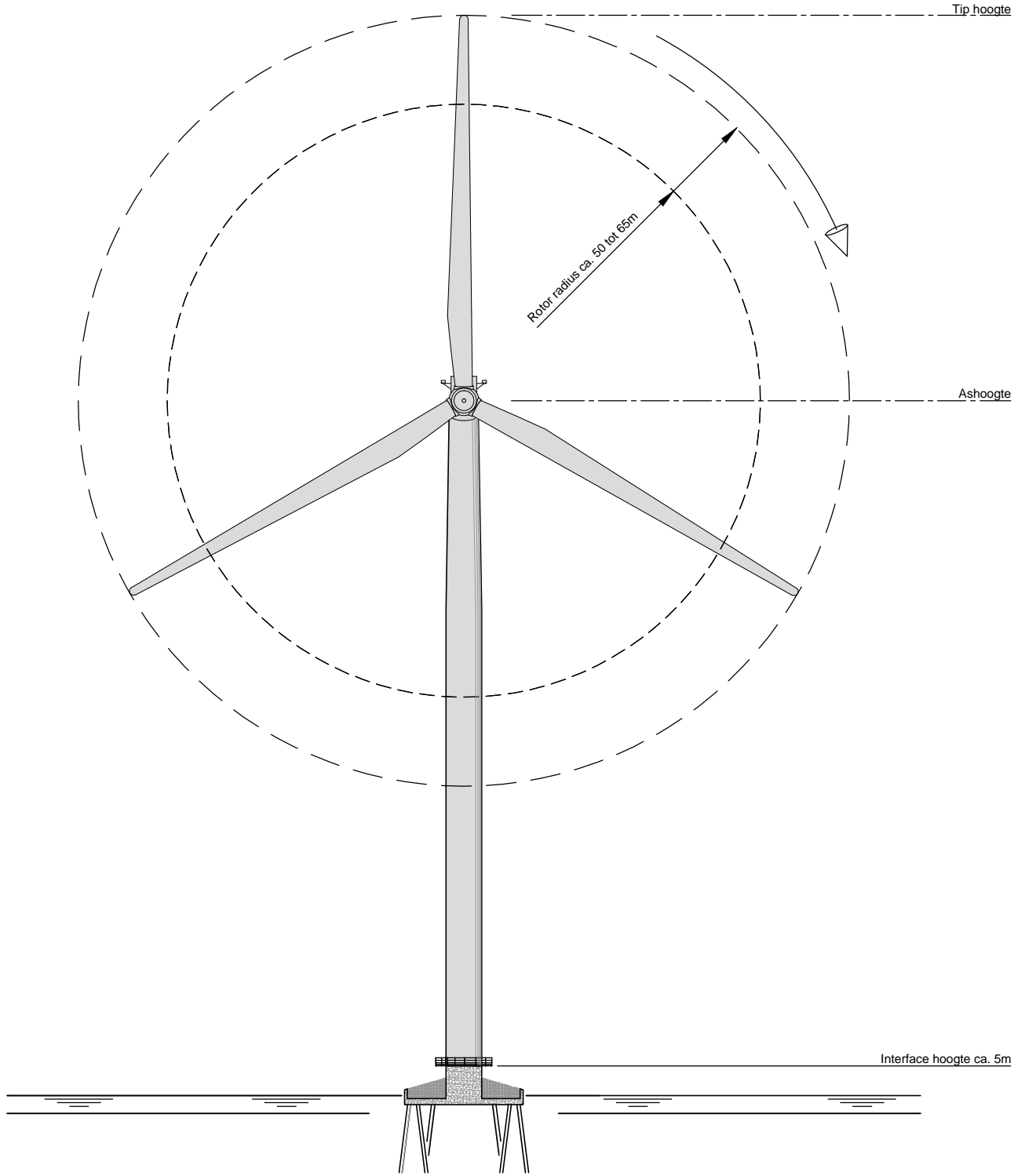
Dhr. J.F.W. Rijntalder  
Directeur Pondera Consult

### **Bijlagen**


1. A. Tekening fundatieprincipe 'dukdaif' inclusief turbine
1. B. Tekening fundatieprincipe 'dukdaif'
- 2A. Situatietekening transformatorstation
- 2B. Plattegronden en geveltekeningen transformatorstation
3. Beschouwing waterkering – Fugro
4. Bemalingsrapport - Fugro

BIJLAGE 1A TEKENING DUKDALF  
FUNDATIE INCL. WINDTURBINE





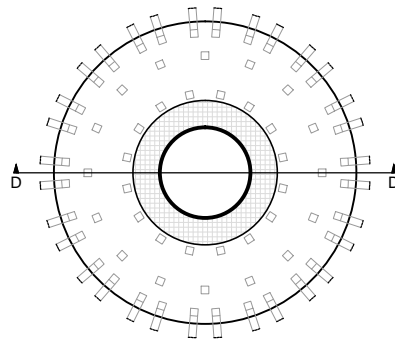
CONCEPT-C  
DUKDALF

00	02.12.2015.	FOR PERMIT	AtV	BaU
REV.	DATE/DATUM	STATUS/STATUS	GETEKEND/DRAWN	GOEDGEKEURD/APPR.
Windpark Fryslân			 PROJECTBUREAU / PROJECT OFFICE : Ventolines bv Duit 15, 8300 BB Emmeloord T: +31 527 61 61 67	
TITLE <b>Dukdalf fundering met turbine (zijaanzicht)/ Dolphin foundation incl turbine (side view)</b>				
PROJECT	WPF	SITE	Fryslân	
SCHAAL/SCALE	1:1000	DOC. NO.	B4-01	
FORMAT/SIZE	A4			
<small>Deze tekening is eigendom van Windpark Fryslân en mag niet worden gebruikt, gereproduceerd of beschikbaar gesteld aan derden zonder schriftelijke toestemming. / This drawing is the property of Windpark Fryslân and may not be used, reproduced or made available to third parties without written consent.</small>				

BIJLAGE 1B TEKENING  
DUKDALF FUNDATIE

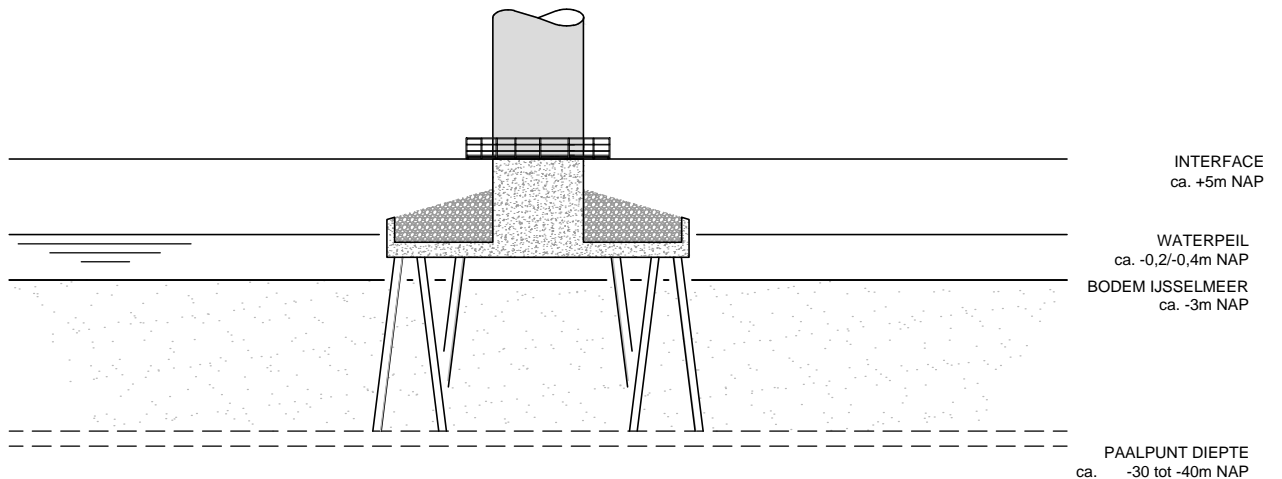


AANTAL PALEN ca. 64  
 AFMETING PALEN ca. 0,5x0,5m




DOORSNEDE  
D-D

ca 20m



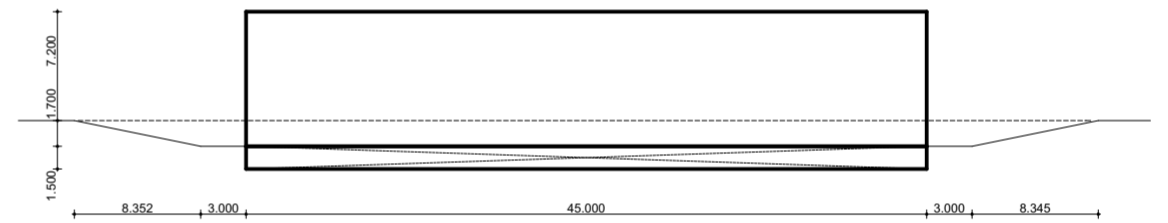
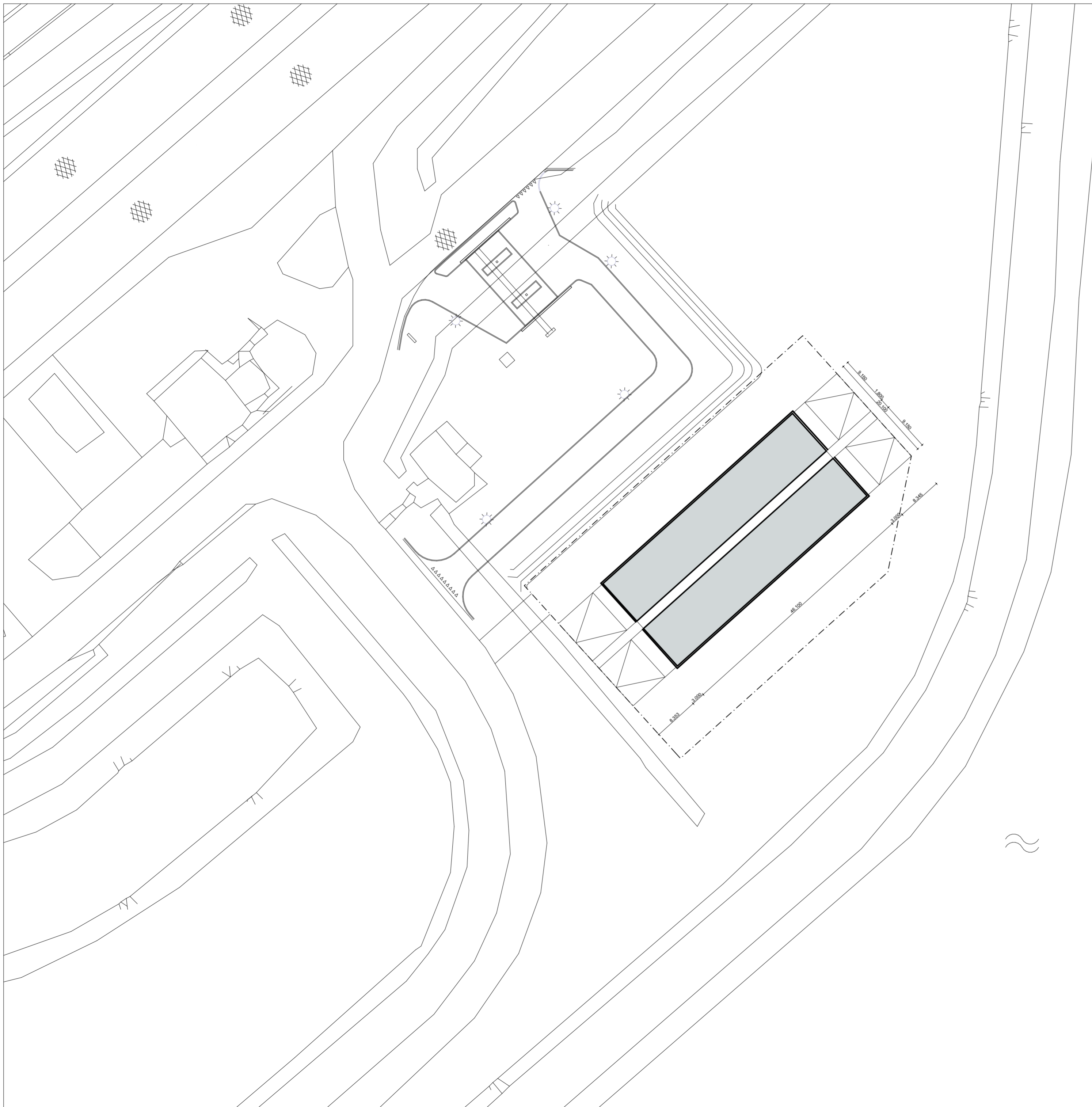
CONCEPT-C  
DUKDALF

00	02.12.2015.	FOR PERMIT	AtV	BaU
REV.	DATE/DATUM	STATUS/STATUS	GETEKEND/DRAWN	GOEDGEKEURD/APPR.
Windpark Fryslân			 PROJECTBUREAU / PROJECT OFFICE : Ventolines bv Duit 15, 8300 BB Emmeloord T: +31 527 61 61 67	
TITLE <b>Detail: aanzichten dukdalf fundering: zij-, boven-, inzet platform/            Detail: dolphin foundation views: side, top, deployment platform</b>				
PROJECT	WPF	SITE	Fryslân	
SCHAAL/SCALE	1:500	DOC. NO.	B4-02	
FORMAT/SIZE	A4			
Deze tekening is eigendom van Windpark Fryslân en mag niet worden gebruikt, gereproduceerd of beschikbaar gesteld aan derden zonder schriftelijke toestemming. / This drawing is the property of Windpark Fryslân and may not be used, reproduced or made available to third parties without written consent.				

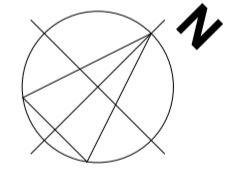


BIJLAGE 2A SITUATIETEKENING  
TRANSFORMATORSTATION





PRINCIPE DOORSNEDE | 1:500



opdrachtgever:  
 ▪ Ventolines  
 Duit 5  
 8305 BB Emmeloord

omschrijving:  
 ▪ **Transformatorstation Breezanddijk**

**Situatie**

werknr:  
 ▪ **2000**  
 fase:  
 ▪ VO  
 datum:  
 ▪ 10.12.2015  
 tekenaar:  
 ▪ MH

tekening nr:  
 ▪ **100**  
 schaal:  
 ▪ 1:500  
 formaat:  
 ▪ A2  
 gezien:  
 ▪ RO

wijziging:  
 ▪ A:  
 ▪ C:  
 ▪ E:  
 ▪ G:

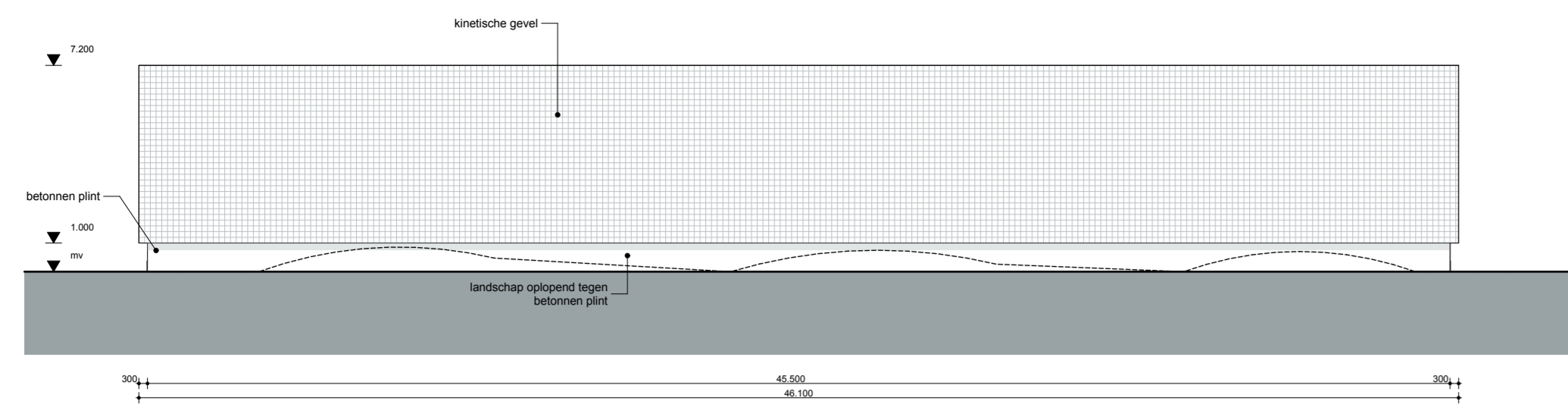
▪ B:  
 ▪ D:  
 ▪ F:  
 ▪ H:

**OLIVIER**  
 + partners > architecten

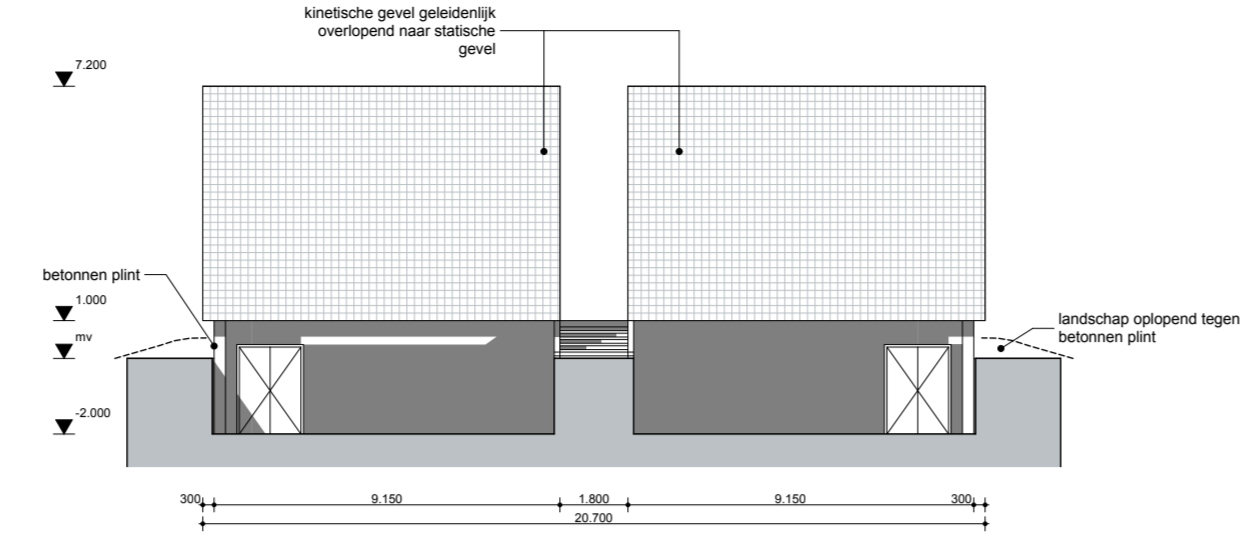
4251 NL Werkendam  
 Biesboschhaven Noord 20  
 tel > 0183 678 004  
 fax > 0183 678 600  
 www.olivier-architecten.nl  
 info@olivier-architecten.nl

BIJLAGE 2B TEKENING  
TRANSFORMATORSTATION

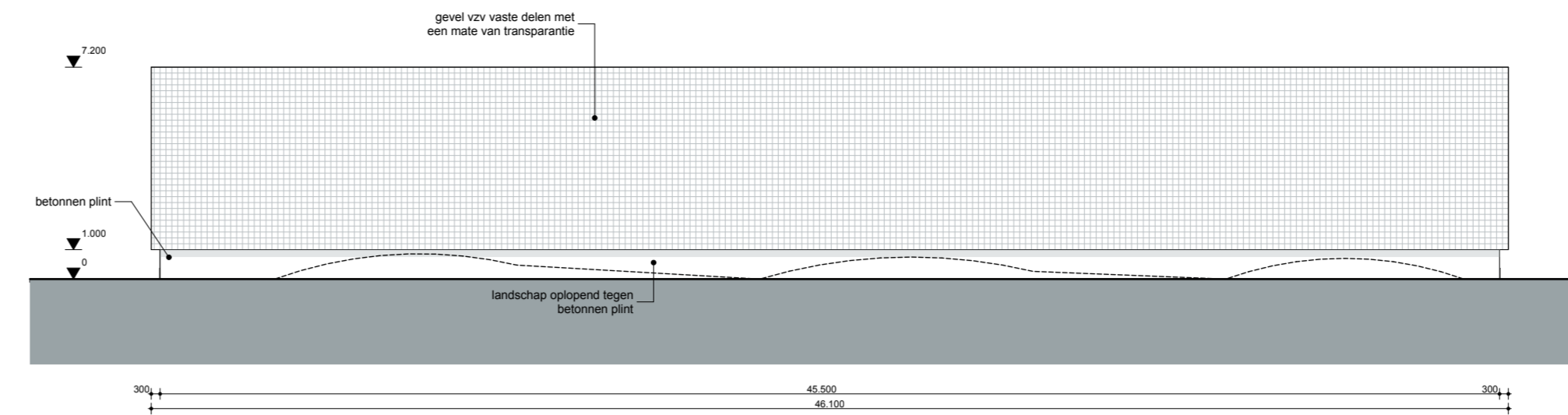




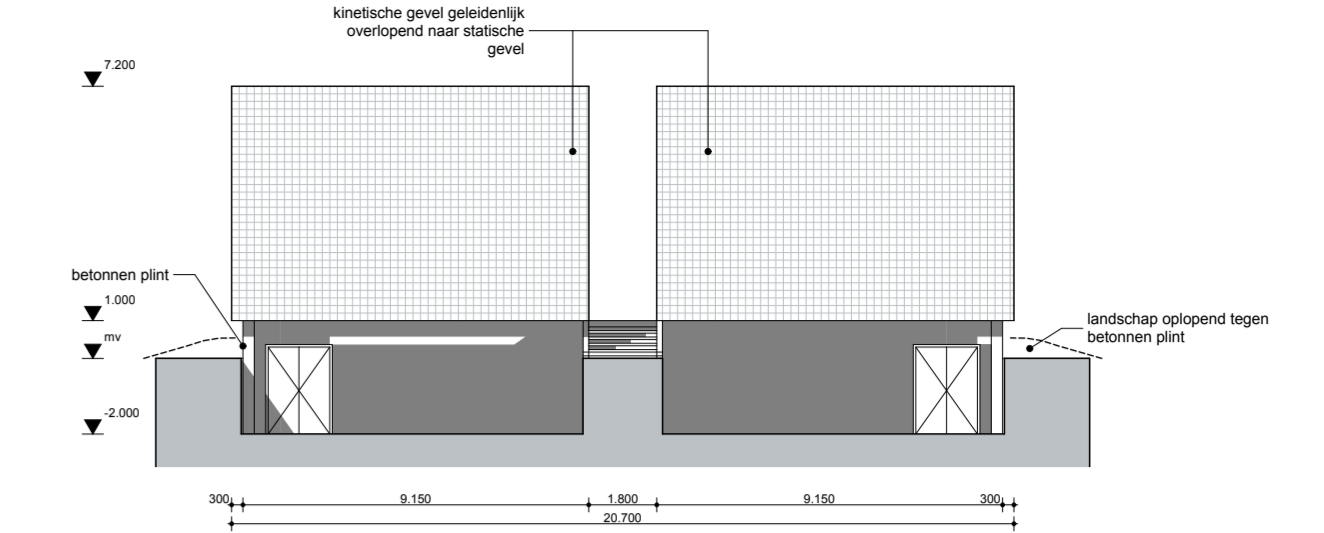
GEVEL | NOORD-WEST (Afsluitdijkzijde)



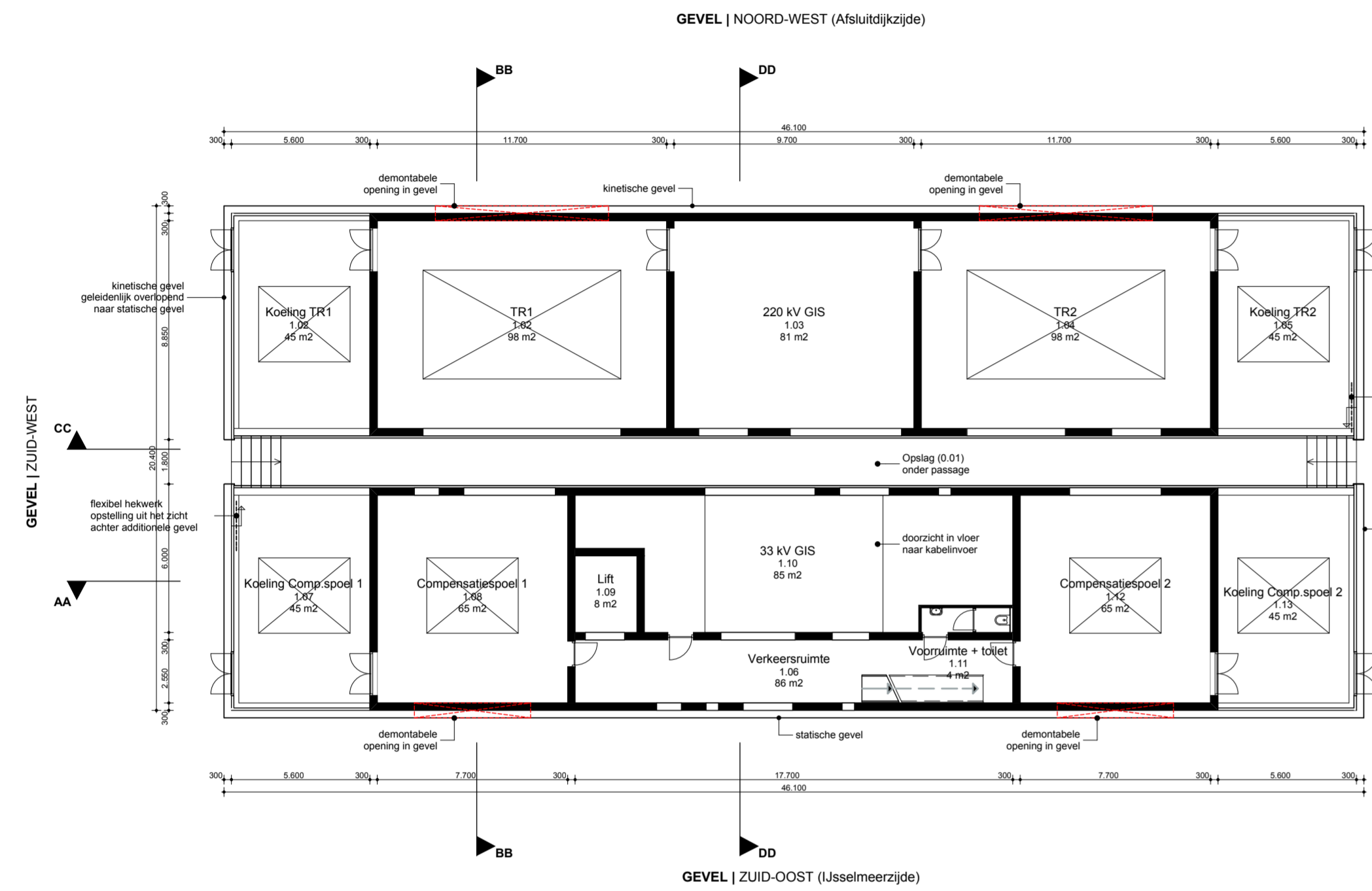
GEVEL | Zuid-WEST



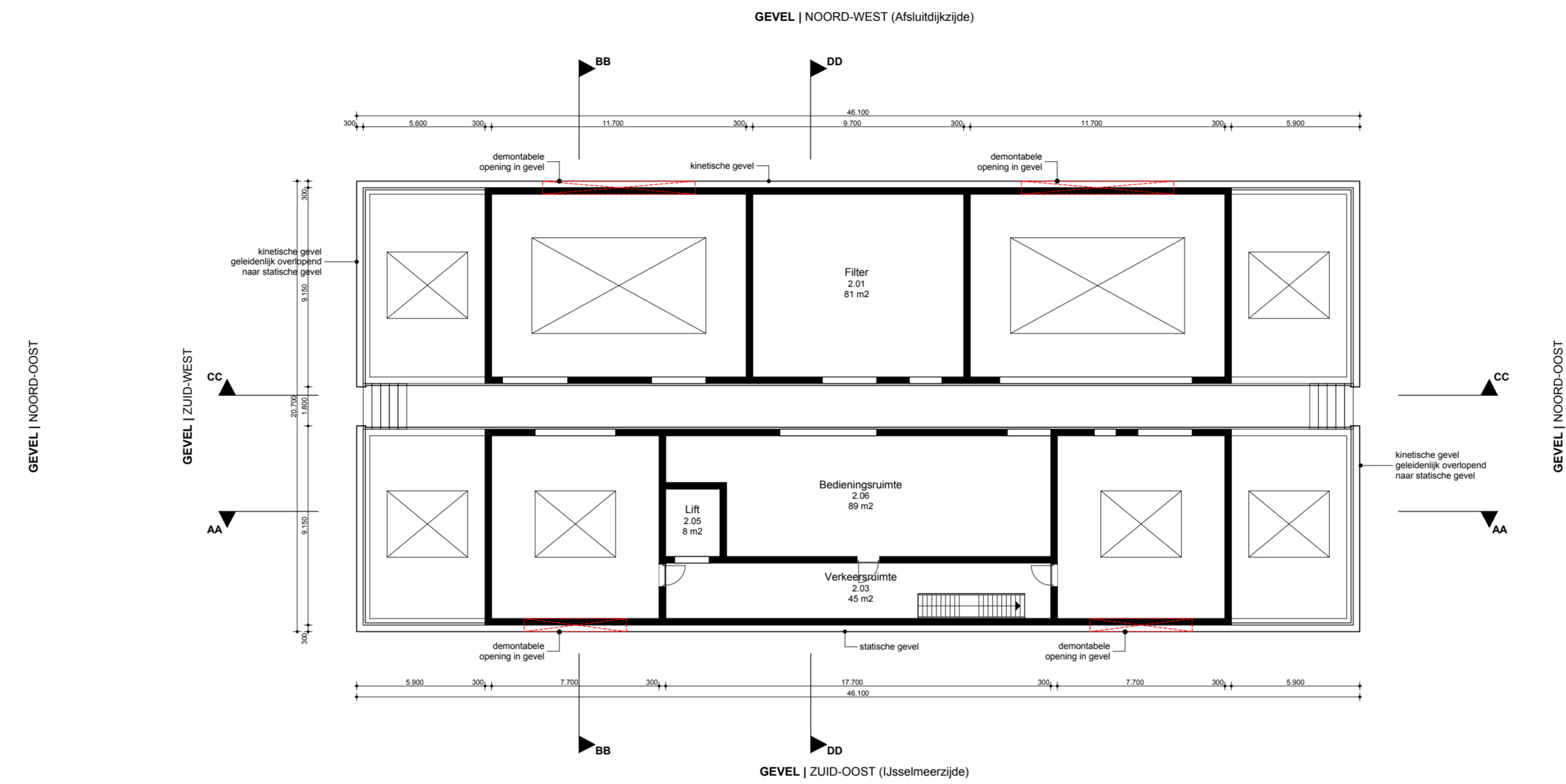
GEVEL | Zuid-OOST (IJsselmeerzijde)



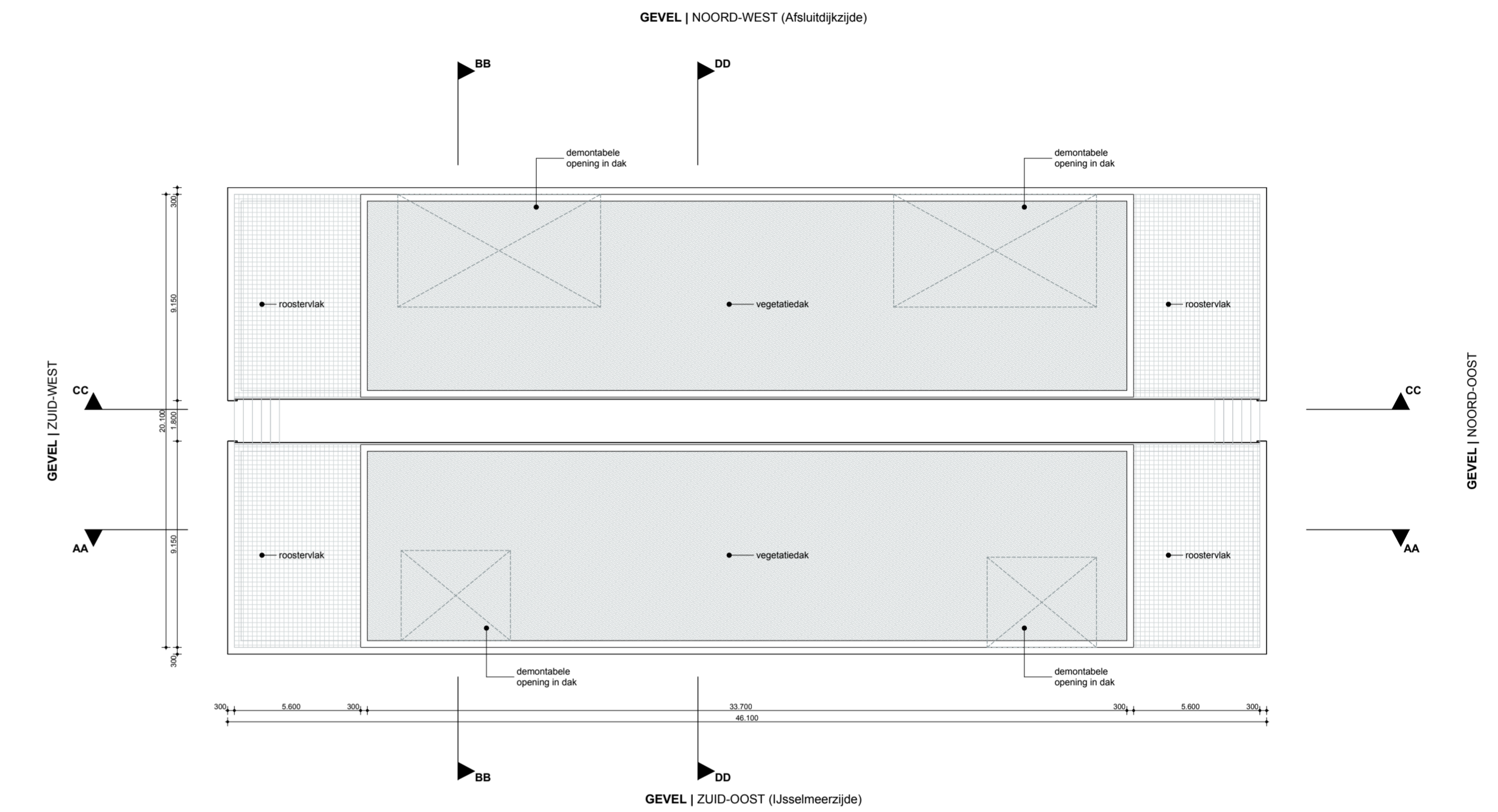
GEVEL | Noord-OOST



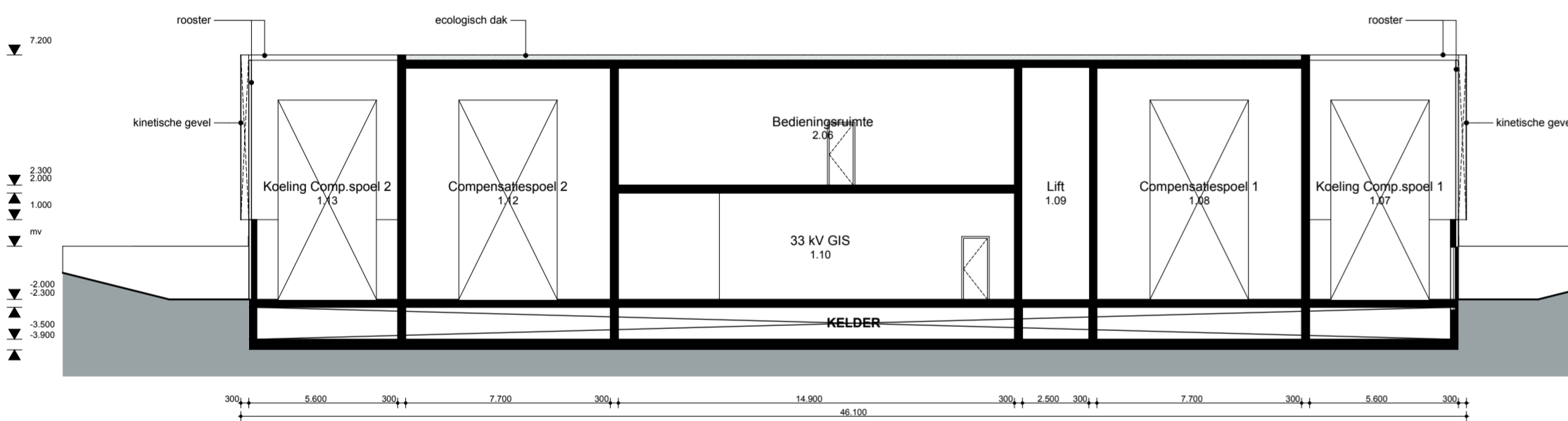
PLATTEGROND | BEGANE GROND



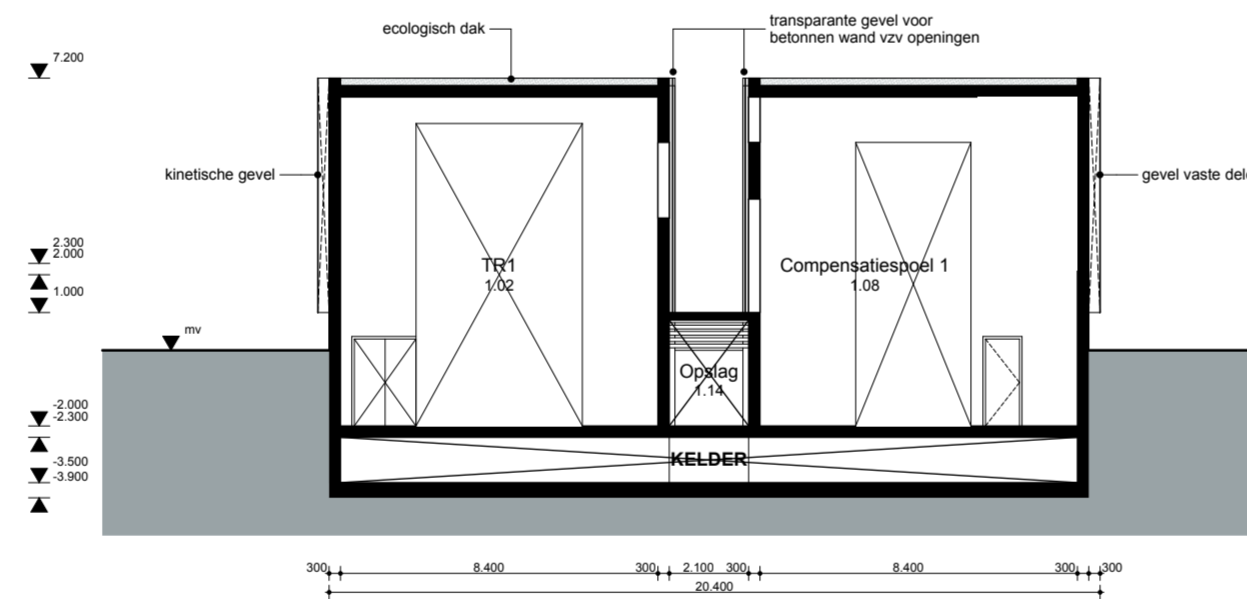
PLATTEGROND | EERSTE VERDIEPING



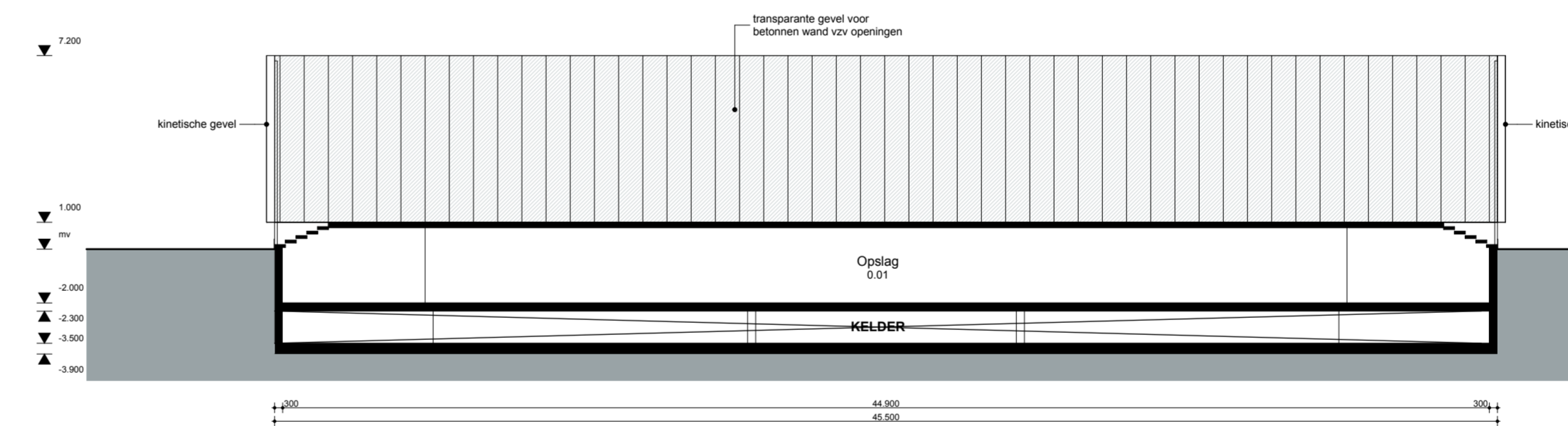
PLATTEGROND | DAK



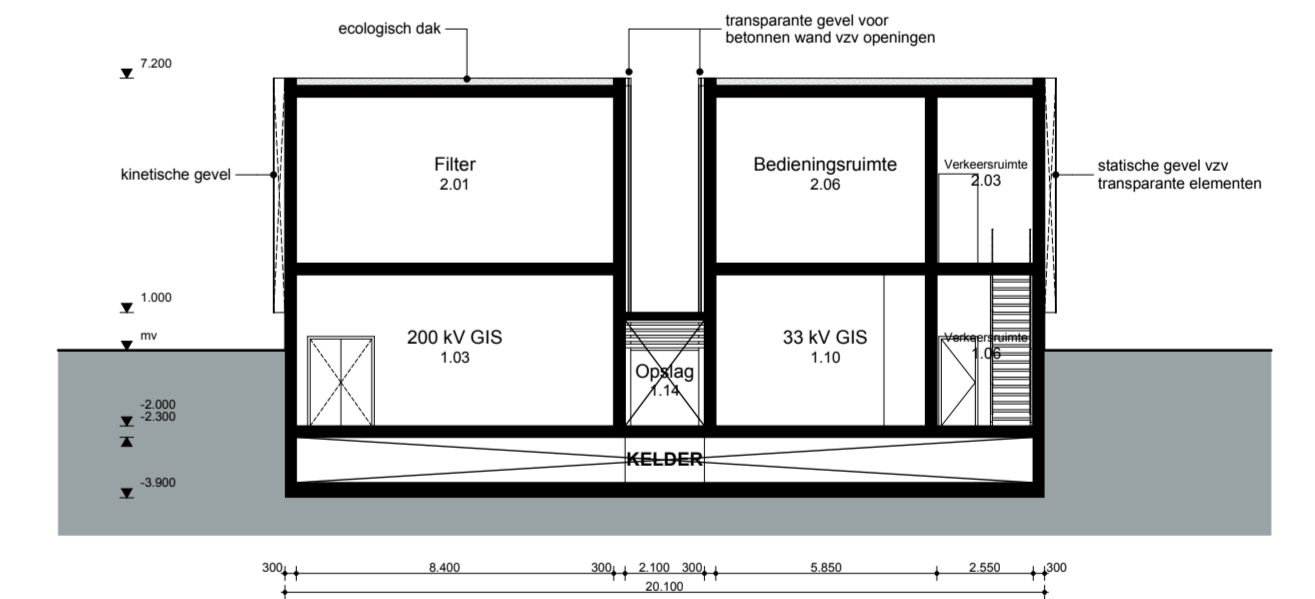
DOORSNEDE | AA



DOORSNEDE | BB



DOORSNEDE | CC



DOORSNEDE | DD



opdrachtgever:  
 • Ventolines  
 Duit 5  
 8305 BB Emmeloord

omschrijving:  
 • Transformatorstation Breezanddijk

**Transformatorstation Breezanddijk**

werkjaar: • 2000  
 fase: • VO  
 datum: • 10.12.2015  
 tekenaar: • MH / RB

tekening nr: • 2000  
 schaal: • 1:200  
 formaat: • A1  
 gezien: • RO

wijziging:  
 • A:  
 • C:  
 • E:  
 • G:

• B:  
 • D:  
 • F:  
 • H:

BIJLAGE 3 BESCHOUWING  
WATERKERING (FUGRO)



9Archimedesbaan 13  
Postbus 1471  
3430 BL Nieuwegein  
tel.: 030-6028175

Pondera Consult  
Nooitgedacht 2  
3701 AN ZEIST

T.a.v. de heer M. ten Klooster

Onze ref : 1013-0226-006/B02v03/WRH Nieuwegein, 15 december 2015

Betreft : Effecten waterkering ten gevolge van Windpark Fryslân – beschouwing van grotere ontgravingsdieptes transformatorstation

Geachte heer Ten Klooster,

Door Fugro zijn de effecten van Windpark Fryslân op de waterkerende veiligheid van Afsluitdijk beschouwd. Deze zijn in meerdere fase gerapporteerd. Door Fugro zijn onder meer de algemene effecten op de waterkering ten gevolge van Windpark Fryslân beschouwd. Dit is op 20 januari 2015 gerapporteerd met kenmerk 1013-0226-000.R01v8. Hierin zijn onder meer de risico's van een transformatorstation op Breezanddijk op de waterkerende veiligheid van de Afsluitdijk onderzocht. Tot nu toe is uitgegaan van een maximale ontgravingsdiepte bij het transformatorstation van 1,5 m. In deze brief wordt een aanvullende beschouwing gegeven, waarin naar verschillende ontgravingsdieptes wordt gekeken, met een maximum van 5 m diep ten opzichte van maaiveld.

### **Projectomschrijving**

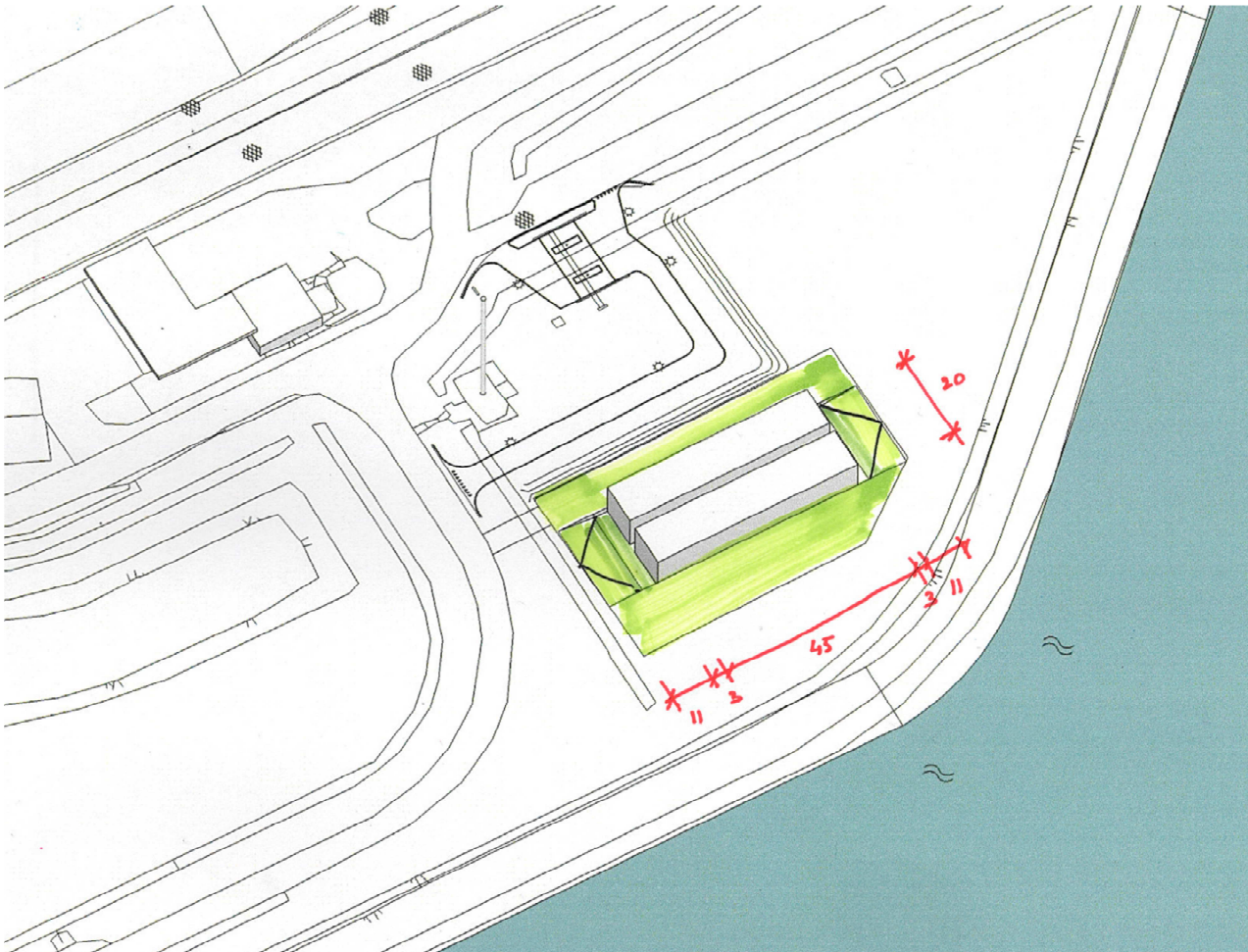
In het oorspronkelijke plan, zoals meegenomen in het Fugro-rapport van 20 januari 2015, is uitgegaan van een transformatorstation met een oppervlakte van 45 x 25 m. De definitieve locatie en het aanlegniveau is hierin nog niet bepaald. In de effectenstudie is uitgegaan van een afstand van circa 80 m tot het damlichaam van de Afsluitdijk. De optie met een kelder, waarbij de bovenkant vloer, tot 1,5 m onder maaiveld ligt is onderzocht. Verder is als eis gesteld dat de afstand tot de insteek van het IJsselmeertalud minimaal 10 m bedraagt.

In deze brief worden een aantal wijzigingen beschouwd:

- Er wordt uitgegaan van een gebouwoppervlakte van 45 x 20 m; de locatie is hiervan gegeven. Aan de korte zijdes van het gebouw is voorzien in een extra strook tot deze ontgravingsdiepte van 3 m breed. In het verlengde daarvan komen taluds. Bij een ontgravingsdiepte van 1,5 m hebben deze een horizontale breedte van 11 m, ofwel een talud van 1 : 7 (zie figuur 1).
- Daarnaast wordt gekeken naar ontgravingsdieptes van 3, 4 en 5 m.
- Er is sprake van twee naast elkaar gelegen gebouwen, die mogelijk na elkaar worden gebouwd, waarbij in twee fases wordt ontgraven (zie figuur 1).

Tijdens uitvoering wordt uitgegaan van een open ontgraving onder een talud van 1 : 7. Aangenomen wordt dat, indien van toepassing, de grondwaterstand tijdens uitvoering wordt

verlaagd tot 0,3 m onder het niveau van de ontgraving. Een ontgraving binnen grondkerende constructies is niet beschouwd.



*Figuur 1 – Axonometrische projectie van transformatorstation (bron: Olivier Architecten 27-11-2015)*

### **Effecten van de diepere ontgraving op de waterkering**

Er is een beoordeling uitgevoerd van de effecten op de waterkering van een ontgraving op Breezanddijk tot meerdere dieptes. In het algemeen wordt benadrukt dat de effecten zijn ingeschat op basis van grondonderzoek op naburige locaties, te weten sonderingen bij de GSM mast en sonderingen in de buurt van de tuimelkade van de Afsluitdijk, die voor zover van toepassing, representatief zijn aangenomen voor deze locatie. Deze aanname moet nog worden geverifieerd met lokaal grondonderzoek bij het transformatorstation.

Het dieper ontgraven heeft noch effect op de stabiliteit van de tuimeldijk noch op de stabiliteit van het talud bij het IJsselmeer. De stabiliteit in de situatie met een maximale ontgraving is berekend en deze is niet lager dan zonder ontgraving (zie bijlage 1).

Gelet op bovenstaande conclusie heeft het met betrekking tot de waterkerende veiligheid geen meerwaarde om in twee fases te ontgraven, waarbij eerst de helft van het gebied worden ontgraven en de helft van het gebouw worden gebouwd en daarna de andere helft.

Uitgaande van een bovenbelasting van  $13,3 \text{ kN/m}^3$  over een breedte van 2,5 wordt aanbevolen om de taluds van de ontgraving niet steiler te maken dan 1 : 3 (verticaal : horizontaal). Bij een grotere bovenbelasting, en/of bij toepassing van steilere taluds, zijn mogelijk grondkerende constructies nodig. Als de taluds langdurig openliggen, dan moeten deze worden beschermd tegen erosie door neerslag en wind. Micro-instabiliteit zal niet optreden doordat de grondwaterstand ter plaatse van de ontgraving wordt verlaagd beneden het ontgravingsniveau.

Het transformatorstation is gelegen op het later (na 1965) in zand opgespoten deel van Breezanddijk. Het is niet precies bekend hoe hoog de grondwaterstand ligt. Deze zal in ieder geval hoger liggen dan het dagelijkse IJsselmeerpeil van NAP -0,2 à -0,4 m. Als dieper wordt ontgraven dan 1,5 m, dan is mogelijk bemaling vereist. In zijn algemeenheid kan een verlaging van de grondwaterstand leiden tot zettingen. Dit is relevant te beschouwen indien de tijdelijke grondwaterstandsverlaging in de buurt van de tuimeldijk en de rijksweg ligt. Gezien de aanwezige bodemopbouw en de ouderdom van de waterstaatswerken wordt verwacht dat deze zettingen ter hoogte van de waterkering beperkt zullen zijn. Voor de stabiliteit van de dijk is een verlaging van de grondwaterstand overigens juist gunstig, omdat hier door de korrelspanningen en schuifkrachten tussen de gronddeeltjes toenemen. Het tijdelijk onttrekken van grondwater heeft verder geen effecten op de veiligheid van de waterkering.

Voor de gedetailleerde uitwerking van het bouwplan vindt volgens de opdrachtgever grondonderzoek plaats. Onderdeel van de uitwerking betreft een bemalingsplan waarin de kans op opbarsten wordt behandeld evenals de gemaakte keuzes in de uitvoeringswijze om dit te voorkomen. Indien dieper wordt ontgraven dan ca. 3 m (ofwel tot een lager niveau dan circa NAP +1 m) dan wordt, dient het risico op opbarsten van de bodem van de ontgraving te worden beschouwd in het bemalingsplan dat bij de uitwerking hoort. Bij de aanwezigheid van een waterremmende laag in de bodem zou zich dan namelijk tijdens hoog water, bijvoorbeeld bij een opgestuwde hoge waterstand op het IJsselmeer tot NAP +1,4 m, wateroverdruk onder zo'n waterremmende laag kunnen opbouwen. Verwacht wordt dat het risico op opbarsten beperkt is, omdat waterremmende lagen die kunnen opbarsten waarschijnlijk onder een dik pakket opgespoten zand liggen. Als er waterremmende lagen voorkomen, dan liggen deze waarschijnlijk relatief diep. Om hier een definitieve uitspraak over te doen, is echter grondonderzoek nodig op de projectlocatie. Het lokaal opbarsten van de ontgraving heeft geen invloed op de stabiliteit van de waterkering.

Bij een ontgraving van 5 m (ofwel tot circa NAP -1 m) wordt het waterstandverval over de dijk groter dan in de huidige situatie (met minimaal IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m). Dit zorgt echter niet voor een vergroot risico op piping, omdat er door de zandige ondergrond waarschijnlijk geen doorlopende kwelweg mogelijk is. Als er wel een doorgaande kwelweg mogelijk zou zijn, dan zou deze voldoende lang zijn.

Hoe dieper wordt ontgraven, hoe groter de oppervlakte van de ontgraving wordt. Bij een diepere ontgraving wordt meer van de huidige bekleding beïnvloed. Op het achterland ter hoogte van de projectlocatie zijn, voor zover bekend, op dit moment echter geen hoge eisen gesteld aan de bekleding. Bovendien is de golfoverslag bij Breezanddijk beperkt. Dit aspect is dus niet relevant voor de veiligheid.

Zowel bij een fundering op staal als een fundering op palen, heeft de aanleg en aanwezigheid van de fundering geen effect op de stabiliteit van de waterkering. Gezien de ondiepe ligging van zandlagen ligt een fundering op staal het meest voor de hand. Dit geldt zeker als wordt uitgegaan van een iets verdiept aanlegniveau, omdat de gronddrukken dan gunstiger werken.



Als toch wordt gekozen voor een (geheide) paalfundering, dan zal dat niet leiden tot zwaardere trillingen dan genoemd in de eerder studie.

Wij vertrouwen erop u hiermee voldoende te hebben geïnformeerd.

Met vriendelijke groet,  
Fugro GeoServices B.V.

ir. W.R. Halter  
Senior Adviseur Waterbouw

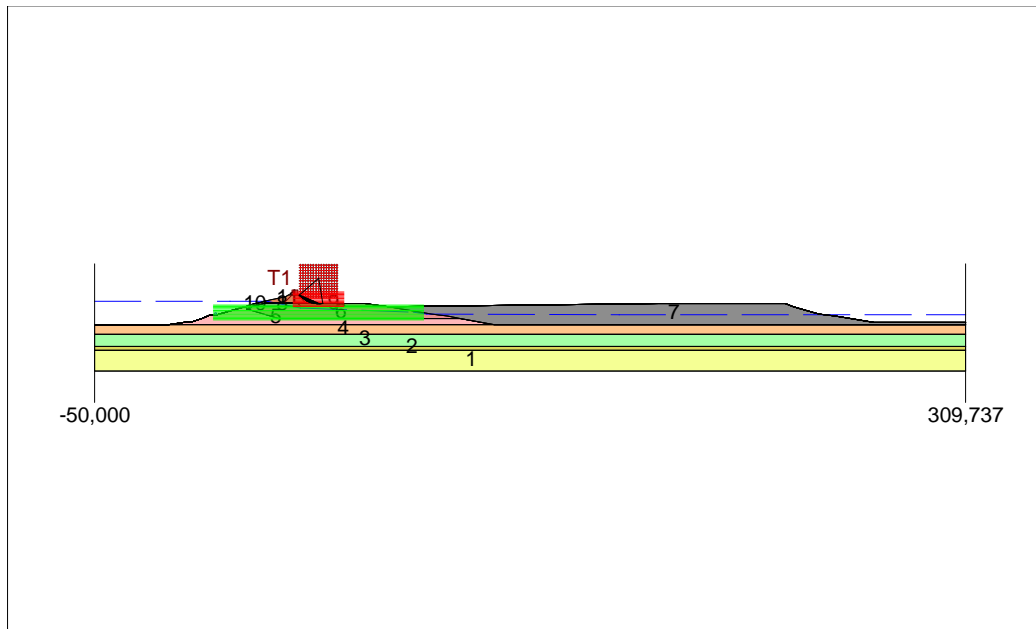
Bijlage 1 - Resultaten stabiliteitsberekeningen

## **BIJLAGE 1 – RESULTATEN STABILITEITSBEREKENINGEN**

### Critical Circle Bishop

**Layers**

- 11. dijk zand
- 10. klei dijk/keileem
- 9. dijk zand
- 8. Veem
- 7. Opgespoten zand
- 6. dijk zand
- 5. klei dijk/keileem
- 4. zand/wadafzetting zand
- 3. klei / wadafzetting klei
- 2. klei humeus
- 1. zand/wadafzetting zand



Xm : 42,50 [m]  
Ym : 14,58 [m]

Radius : 10,54 [m]  
Safety : 1,29

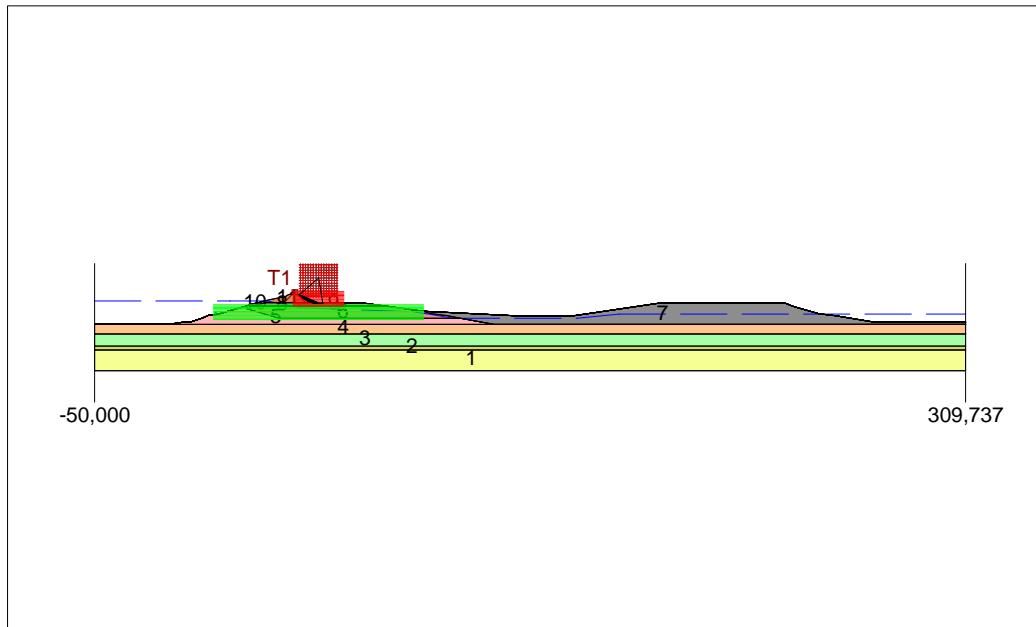
D:\Geo Stability\15\_1 - Breezandijk\Jumbo\JK\_02.sif

Breezandijk Stabiliteit tuimelig		Phone	
		Fax	
Geen ontgraving	date	4-12-2015	dm.
		1013-0026-007	PVS
	Annex 1		A4

### Critical Circle Bishop

Layers

- 11. dijk zand
- 10. klei dijk/keileem
- 9. dijk zand
- 8. Veem
- 7. Opgespoten zand
- 6. dijk zand
- 5. klei dijk/keileem
- 4. zand/wadafzetting zand
- 3. klei / wadafzetting klei
- 2. klei humeus
- 1. zand/wadafzetting zand



Xm : 42,50 [m]  
Ym : 14,58 [m]

Radius : 10,54 [m]  
Safety : 1,29

D:\Geo Stability\15\_1 - Breezanddijk\_omgeving m.v. 3 m. juni 2015\_02.sif

Phone  
Fax

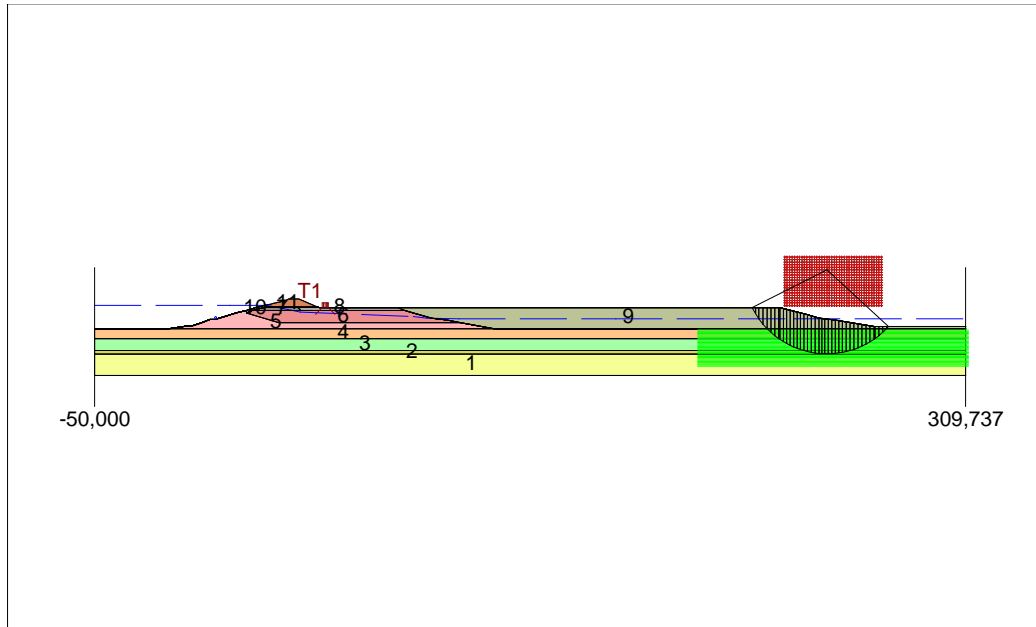
Breezanddijk  
Stabiliteit tuimelig  
Ontgravingsdiepte 5 m

4-12-2015	1013-0026-007	Annex 2	A4
dra	dit	form.	
P/V/S			

### Critical Circle Bishop

**Layers**

- 11. dijk zand
- 10. klei dijk/keileem
- 9. Opgespoten zand
- 8. dijk zand
- 7. Veen
- 6. dijk zand
- 5. klei dijk/keileem
- 4. zand/wadafzetting zand
- 3. klei / wadafzetting klei
- 2. klei humeus
- 1. zand/wadafzetting zand



Xm : 252,44 [m]  
Ym : 19,74 [m]

Radius : 34,56 [m]  
Safety : 1,83

Project  
Fw

D:Geo Stabily, 15.1 : Breezanddijk, Z.Sf

date  
4-12-2015

1013-0226-007

Breezanddijk  
Lusselmeentalud  
Geen ontgraving

Annex 3

A4

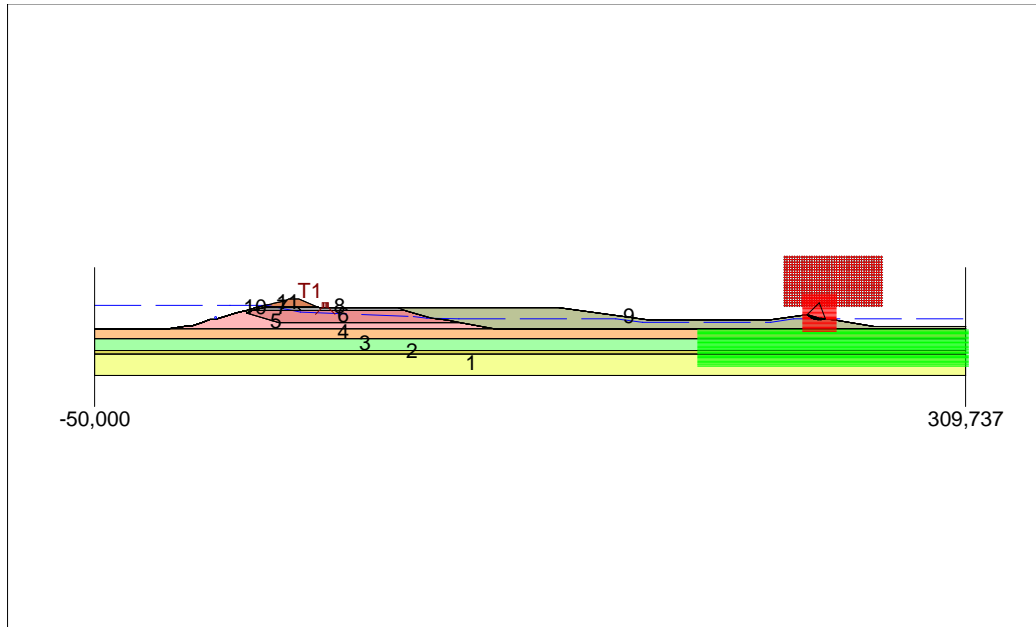
dm.  
PVS

dt.

### Critical Circle Bishop

**Layers**

- 11. dijk zand
- 10. klei dijk/keileem
- 9. Opgespoten zand
- 8. dijk zand
- 7. Veen
- 6. dijk zand
- 5. klei dijk/keileem
- 4. zand/wadafzetting zand
- 3. klei / wadafzetting klei
- 2. klei humeus
- 1. zand/wadafzetting zand



Xm : 249,36 [m]  
Ym : 6,05 [m]

Radius : 6,92 [m]  
Safety : 1,88

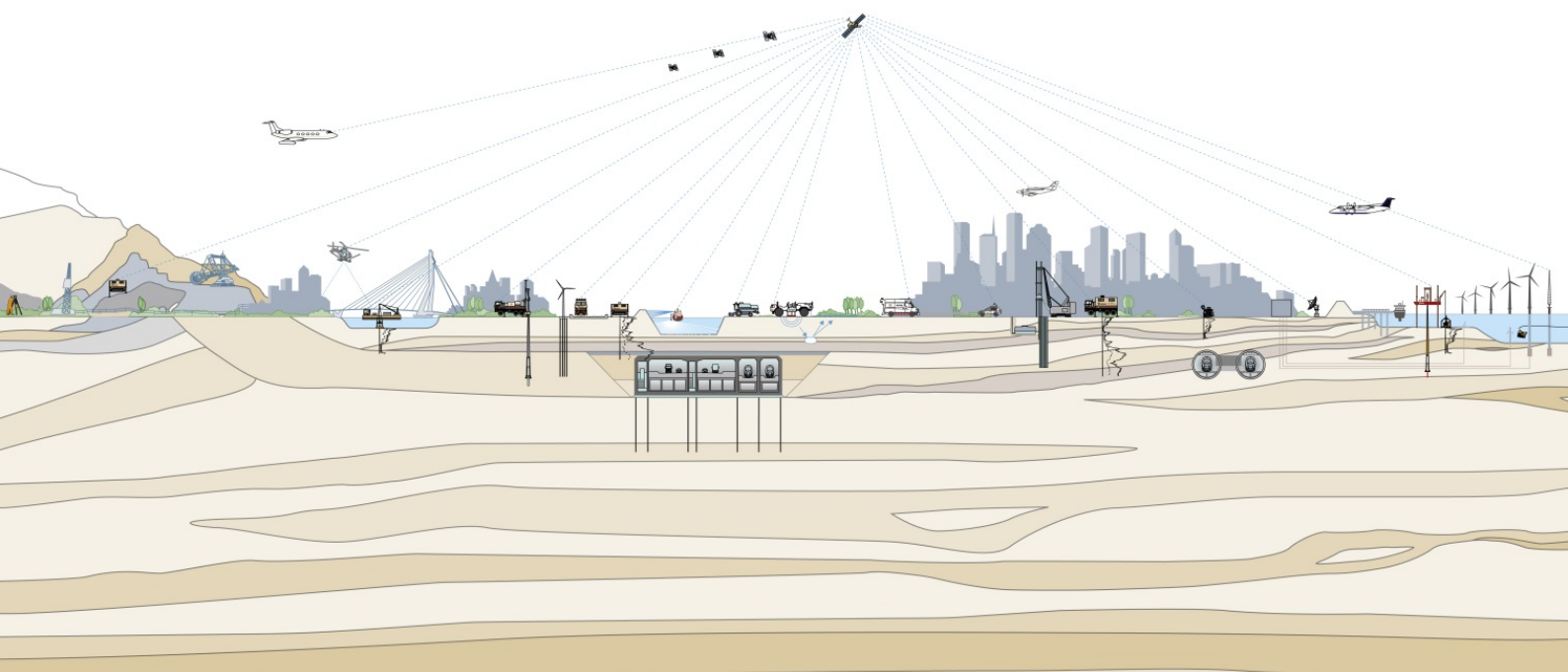
<p style="margin: 0;">D-Gen Stability 15.1 - Breezanddijk_ongevaarlijk_02.sif</p>					
<p style="margin: 0;">Phone Fax</p>		<p style="margin: 0;">date</p>	<p style="margin: 0;">4-12-2015</p>	<p style="margin: 0;">dim.</p>	<p style="margin: 0;">PVS</p>
<p style="margin: 0;">Breezanddijk Lusselmeentalud</p>	<p style="margin: 0;">Ontgravingsdiepte 5 m</p>	<p style="margin: 0;">1013-0226-001</p>	<p style="margin: 0;">Annex 4</p>	<p style="margin: 0;">form.</p>	<p style="margin: 0;">A4</p>

BIJLAGE 4 BEMALINGSRAPPORT  
(FUGRO)



**BEMALINGSADVIES**  
betreffende  
Transformatorstation te Breezanddijk

Opdrachtnummer: 1013-0226-007





**BEMALINGSADVIES**  
betreffende  
Transformatorstation te Breezanddijk

Opdrachtnummer: 1013-0226-007

Opdrachtgever : Pondera Consult  
Nooitgedacht 2  
3701 AN Zeist

Projectleider : ir. A.J. Snethlage

Opgesteld door : H.E. Brink  
Adviseur Hydrologie  
ir. M.J.H. van der Valk  
Adviseur Hydrologie

Gecontroleerd door : ing. V.Lubbers  
Groepshoofd Hydrologie

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	10 december 2015	concept versie	
2	15 december 2015	Tweede versie	
3			

FILE: 1013-0226-007\_33.R01.docx Op deze rapportage zijn de algemene leveringsvoorwaarden ALV 2012 van toepassing die een aansprakelijkheidsbeperking bevatten.

## INHOUDSOPGAVE

<b>1. INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>2. PROJECTOMSCHRIJVING</b>	<b>2</b>
<b>3. GEOHYDROLOGISCHE INVENTARISATIE</b>	<b>4</b>
3.1. Grondonderzoek	4
3.2. Bodemopbouw	4
3.3. Geohydrologische schematisering	5
3.4. Grondwaterstand, stijghoogte en open waterpeil	5
3.5. Grondwaterkwaliteit	7
<b>4. BEREKENINGEN EN EFFECTEN</b>	<b>8</b>
4.1. Benodigde verlaging en te bemalen lagen	8
4.2. Resultaten bemalingsberekeningen	9
4.3. Effecten van de bemaling in de omgeving	10
4.4. Eventuele afwijkingen van onze uitgangspunten	11
<b>5. CONCEPTUEEL BEMALINGS- EN MONITORINGSPLAN</b>	<b>13</b>
5.1. Conceptueel bemalingsplan	13
5.2. Conceptueel monitoringsplan	14
<b>6. VERGUNNINGEN EN LOZING</b>	<b>15</b>
6.1. Onttrekkingsvergunning	15
6.2. Lozing van het bemalingswater	15
<b>7. ADVIES EN AANDACHTSPUNTEN</b>	<b>16</b>
7.1. Advies	16
7.2. Aandachtspunten	16
 <b>BIJLAGEN</b>	
- Archiefsonderingen	1

## 1. INLEIDING

Fugro GeoServices B.V. te Nieuwegein ontving van Pondera Consult te Zeist, opdracht voor het uitbrengen van een bemalingsadvies. Het advies heeft betrekking op de bouw van een transformatorstation "op" Breezanddijk behorende bij het aan te leggen Windpark Fryslân.

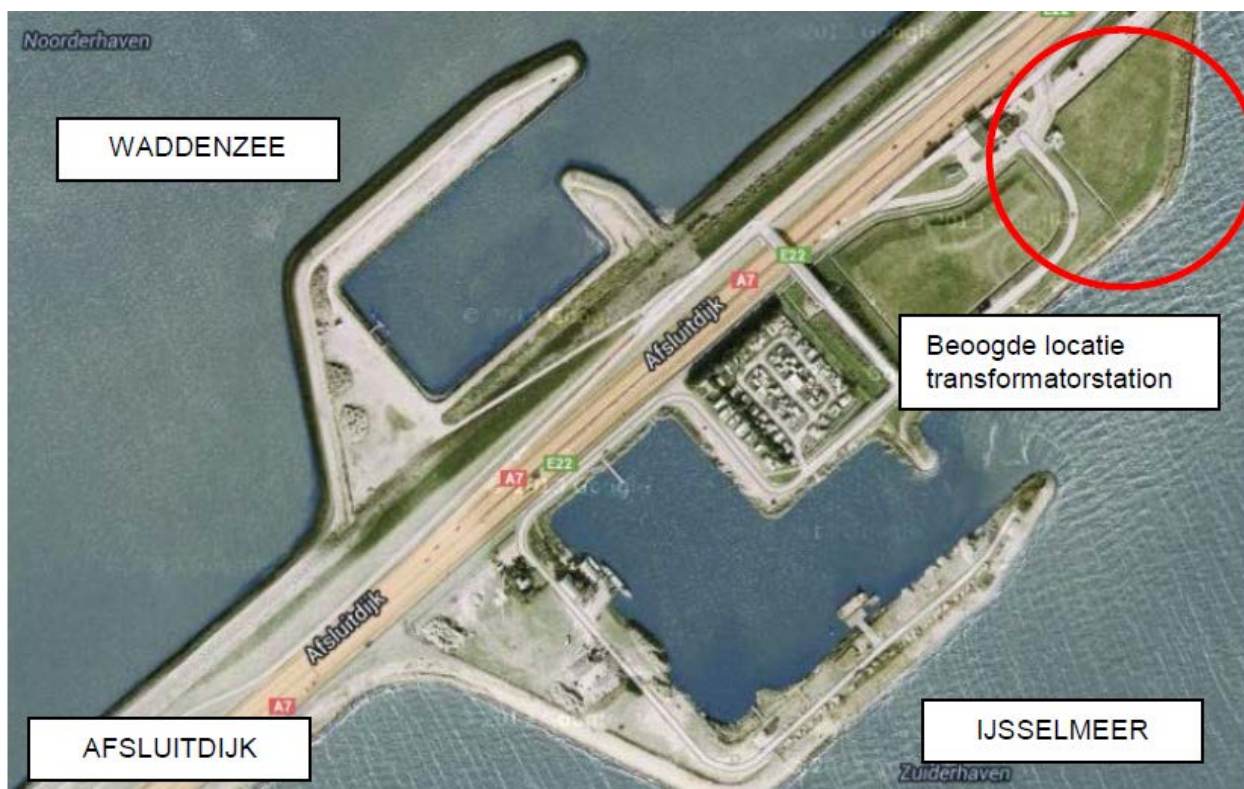
Voorliggend rapport betreft het bemalingsadvies dat is opgesteld conform onze offerte d.d. 2 december 2015. Het advies bevat de volgende onderdelen:

- Inventarisatie bodemopbouw en geohydrologische gesteldheid;
- Beoordeling stabiliteit bouwputbodem en vaststellen benodigd type bemaling;
- Raming van het te onttrekken waterbezwaar;
- Inschatting van de verlaging van de grondwaterstand in de omgeving
- Inzicht verschaffen in de zettingen als gevolg van deze verlaging en een beschrijving van mogelijke andere omgevingseffecten;
- Conceptueel bemalings- en monitoringsplan;
- Toetsing van de bemaling aan de Waterwet.

De doelstelling van deze rapportage is inzicht te verschaffen in de te onttrekken hoeveelheid grondwater, het aangeven van de mogelijke effecten van deze onttrekking op de omgeving, het signaleren van knelpunten en het aangeven van mogelijk noodzakelijke vervolgstappen. Daarnaast wordt aangegeven of voor de bemaling een onttrekkingsvergunning moet worden aangevraagd.

## 2. PROJECTOMSCHRIJVING

Het project betreft de bouw van een transformatorstation voor Windpark Fryslân te Breezanddijk. De nieuwbouw is voorzien in een verbreed gedeelte van de Afsluitdijk. Binnen het Rijksdriehoeksnet heeft de projectlocatie globaal de coördinaten X = 143.260 m en Y = 559.430 m. De projectlocatie is in figuur 2-1 op een satellietbeeld weergegeven.



Figuur 2-1: Ligging beoogde locatie transformatorstation te Breezanddijk (bron satellietbeeld: Google)

Voor het vervullen van de opdracht is door de opdrachtgever de volgende informatie ter beschikking gesteld:

- Transformatorstation Breezanddijk, Olivier + Partners Architecten, tekeningnummer 100, 08-12-2015.

Met deze gegevens zijn de afmetingen en niveaus afgeleid zoals weergegeven in tabel 2-1. Hierbij is uitgegaan van een bouwpeil van NAP +4,1 m (bron: AHN.nl). Het exacte aanlegniveau van het transformatorstation is nog niet bekend. Derhalve zijn in dit bemalingsadvies naast het eerder voorgenomen aanlegniveau van 1,5 m-mv de volgende aanlegniveaus beschouwd: 3 m-mv, 3,9 m -mv, 4,0 m-mv en 5,0 m-mv. Het huidige ontwerp (d.d. 14 december 2015) voorziet in een aanlegniveau van mv -3,8 m. Aangenomen wordt dat onder het aanlegniveau in de huidige situatie zand aanwezig is, wanneer dit niet het geval is wordt geadviseerd een zandbed van ca. 0,5 m dikte toe te passen. In dat geval moet rekening worden gehouden met een 0,5 m dieper ontgravingsniveau.

Tabel 2-1: Afmetingen en ontgravingsniveaus

Onderdeel	Afmetingen [ca. m x m]	Aanlegniveau*		Ontwateringsniveau [ca. NAP m]
		[Peil m]	[NAP m]	
Transformatorstation (met extra stroken van 3 m aan de korte zijdes)	51 x 20	-1,5	+2,6	+2,1
		-3,0	+1,1	+0,6
		-3,9	+0,3	-0,3
		-4,0	+0,1	-0,4
		-5,0	-0,9	-1,4

\*Als aanlegniveau wordt de onderzijde van de vloer of het betreffende onderdeel beschouwd.

De ontgraving zal worden uitgevoerd in een open ontgraving, onder een talud dat afhankelijk van de ontgravingsdiepte varieert. Op basis van de door de opdrachtgever verstrekte informatie wordt uitgegaan van een maximale afmeting van de bovenkant van het talud van 67,5 m x 42,0 m. Aangenomen wordt dat de helling van het talud afhankelijk is van het aanlegniveau van het transformatorstation.

De in tabel 2-1 genoemde ontgravingsniveaus bevinden zich deels beneden de grondwaterstand. Om de werkzaamheden in den droge te kunnen uitvoeren zal de grondwaterstand in de bouwput door een bemaling moeten worden verlaagd. De bemalingswerkzaamheden zullen buiten het stormseizoen (1 oktober tot 15 april) plaatsvinden, de duur van de bemalingswerkzaamheden is nog niet bekend.

De ontgraving ligt in een waterkering (Afsluitdijk) die de Waddenzee scheidt van het IJsselmeer. Het hoogste deel van de kering, de Tuimeldijk, ligt op ca. 150 m afstand van het centrum van de ontgraving. De A7 ligt op een afstand van ca. 100 m.

### 3. GEOHYDROLOGISCHE INVENTARISATIE

#### 3.1. Grondonderzoek

Op de projectlocatie is geen grondonderzoek uitgevoerd. In de nabijheid van de projectlocatie zijn door Fugro meerdere grondonderzoeken uitgevoerd op de Afsluitdijk en "op" Breezanddijk. Voor dit bemalingsadvies is gebruik gemaakt van grondonderzoek afkomstig van de volgende projecten:

- GSM-mast 3317 nabij benzinestation te Breezanddijk, 1997, G-6740;
- Grondonderzoek Afsluitdijk, Kornwerderzand – Den Oever, 2000, Q-1837;
- Aanvullend grondonderzoek Afsluitdijk, 2001, Q-1837/01.

Bovenstaand grondonderzoek heeft nabij de projectlocatie bestaan uit 7 sonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand (code DKM) tot een maximale diepte van ca. NAP -19,8 m. Het betreft de onderstaande sonderingen (tussen haakjes is de afstand tot het midden van de projectlocatie vermeldt):

- G-6740: DKM1 (ca. 50 m), D2 (ca. 50 m) & DKM3 (ca. 50 m);
- Q-1837: DKM39 (ca. 180 m) & DKM40 (ca. 240 m);
- Q-1837/01: DKM217 (ca. 160 m) & DKM218 (ca. 240 m).

De onderzoekslocaties staan aangegeven op bijlage 1. Voor een verklaring van de gebruikte tekens en symbolen wordt verwezen naar de bijlage "Legenda Terreinproeven en Grondsoorten". Een beschrijving van het sonderen is gegeven op de bijlage "Continu Elektrisch Sonderen".

De resultaten van de sonderingen zijn, ten opzichte van NAP, getekend in de grafieken in bijlage 1. De gerapporteerde (maaiveld)hoogtes zijn niet geschikt voor andere doeleinden dan dit onderzoek. Op een aantal sondeergrafieken is ook het wrijvingsgetal weergegeven. Dit getal is de verhouding tussen de plaatselijke mantelwrijving en de conusweerstand en geeft een indicatie van de grondsoort.

Aan de hand van het wrijvingsgetal is voor recente sonderingen ook een identificatie van de bodemlagen op de sondeergrafieken weergegeven. De identificatie van de bodemlagen is uitgevoerd volgens Robertson (1990); door Fugro aangepast aan de Nederlandse omstandigheden. Voor achtergronden en beperkingen wordt verwezen naar de bijlage "Continu Elektrisch Sonderen". De identificatie is indicatief en alleen geldig voor lagen onder de grondwaterstand. De resultaten dienen voor een nauwkeurige laagopbouw te worden geverifieerd met boringen in de omgeving of geologische informatie.

#### 3.2. Bodemopbouw

De bodemopbouw is, op basis van het uitgevoerde grondonderzoek, het Fugro-archief en gegevens uit de literatuur, (geohydrologisch) geschematiseerd en weergegeven in tabel 3-1. Fugro adviseert om voor de start van de werkzaamheden grondonderzoek uit te voeren op de projectlocatie ter verificatie van de bodemopbouw.

Tabel 3-1: Bodemopbouw

Diepte [ca. NAP m]	Bodembeschrijving	Typering	Laag
+4,1*	Maaiveld	Infiltratieoppervlak	0
+4,1 tot -2,0	ZAND	Ophooglaag	1
-2,0 tot -7,5 à -9,5	ZAND, vanaf ca. NAP -2,1 m doorsneden door dunne klei/leem laagjes	Watervoerende laag	2
-7,5 à -9,5 tot -18,0 à -18,3	KLEI/LEEM	Waterremmende laag	3
-18,0 à -18,3 tot -35*	ZAND, met op ca. NAP -26,5 m tot NAP -32,0 m een ingesloten slecht doorlatende laag	Eerste watervoerend pakket	4

\* Op basis van Actueel Hoogtebestand Nederland (www.AHN.nl)

\*\* Maximaal door Fugro verkende diepte: NAP -19,7 m.

De op NAP -7,5 m à NAP -9,5 m aangetroffen kleilaag (laag 3) wordt in deze rapportage als geohydrologische basis beschouwd.

### 3.3. Geohydrologische schematisering

De parameterwaarden die behoren bij de geohydrologische schematisering zijn opgenomen in tabel 3-2. Hierbij is de weerstand tegen verticale grondwaterstroming door een waterremmende laag weergegeven met een c-waarde en is het horizontaal doorlaatvermogen van een watervoerende laag weergegeven met een kD-waarde.

Tabel 3-2: Geohydrologische schematisering

Laag	Typering	Parameterwaarden (ca.)		
		Best-case	Verwachting	Worst-case
0	Infiltratieoppervlak	c = 500 dagen (land); c = 25 dagen (open water)		
1	Ophooglaag	kD = 35 m <sup>2</sup> /dag	kD = 50 m <sup>2</sup> /dag	kD = 80 m <sup>2</sup> /dag
2	Watervoerende laag	kD = 90 m <sup>2</sup> /dag	kD = 120 m <sup>2</sup> /dag	kD = 150 m <sup>2</sup> /dag

\* Deze laag zal niet in de debietberekening worden meegenomen omdat deze is gelegen boven de grondwaterstand

Voor het openwater is een infiltratieweerstand aangehouden van 25 dagen in plaats van de 500 dagen boven land.

Alle bovenstaande parameterwaarden gegevens uit het Fugro-archief en de literatuur. Om de geohydrologische parameterwaarden beter in te kunnen schatten wordt geadviseerd grondonderzoek op de projectlocatie uit te voeren. Dit onderzoek bestaat bij voorkeur uit enkele sonderingen tot tenminste NAP -10 m en een mechanische boring tot MV-10 m. Aanvullend kan een bemalingsproef worden overwogen. Op basis van de resultaten van dit onderzoek kan het waterbezwaar nauwkeuriger worden berekend.

### 3.4. Grondwaterstand, stijghoogte en open waterpeil

Op de projectlocatie zijn geen peilbuizen aanwezig waarin de grondwaterstand kan worden opgenomen. Gezien de projectlocatie zal de grondwaterstand in grote mate worden bepaald door het peil in het IJsselmeer en de waterstand in de Waddenzee.

Het IJsselmeer heeft een zomerpeil van NAP -0,2 m en een winterpeil van NAP -0,4 m. In de Waddenzee schommelt de waterstand als gevolg van eb en vloed. De gemiddelde waterstand in de Waddenzee is NAP +0,0 m met een amplitude van ca. 0,9 m als gevolg van de getijdenstroming. Als gevolg van stormopzet kan de waterstand in de Waddenzee verder toenemen. Gezien de beperkte duur van de bemaling wordt als maatgevende waterstand gekeken naar een hoogwater met een frequentie van 5x per jaar, dit komt uit op NAP +2,0 m (bron: Waternormalen Den Oever, RWS).

Aan de noordzijde van de projectlocatie is een watergang gelegen. Op 8-12-2015 is door Fugro getracht het peil te meten maar de watergang stond droog. De bodem van de watergang is wel ingemeten, deze ligt op ca. NAP +3,0 m. Op basis van deze meting wordt aangenomen dat de grondwaterstand zich meestal onder dit niveau bevindt.

Met behulp van vergelijking 5-212 uit Bear (1979) is de grondwaterstand op de projectlocatie bepaald:

$$h^2(x) = h_0^2 - \frac{(h_0^2 - h_L^2)}{L}x + \frac{N}{k}(L - x)x$$

Waarin:

$h(x)$  = waterstand op locatie  $x$ , voor de projectlocatie geldt  $x = 210$  m;

$h_0$  = waterstand op  $x = 0$ , in dit geval de waterstand van de Waddenzee;

$h_L$  = waterstand op  $x = L$ , in dit geval het peil van het IJsselmeer;

$L$  = de afstand tussen de twee watergangen, hier de breedte van de afsluitdijk (270 m);

$N$  = grondwateraanvulling in m per dag, gerekend is met een gemiddelde van 1,5 mm/dag;

$k$  = doorlatendheid van de bodem in m/dag, voor de grof zandige toplaag (bron:

Grondwaterkaart van Nederland) is een  $k$ -waarde van 20 m/dag aangehouden.

Op basis van bovenstaande vergelijking is voor 5 varianten de grondwaterstand bepaald. De maatgevende waterstanden zijn weergegeven in tabel 3-3. Een belangrijke aanname bij de bepaling van de grondwaterstanden is de doorlatendheid van de bodem, deze is gebaseerd op grondonderzoek in de omgeving.

Tabel 3-3: Berekenende grondwaterstand op basis van de waterstand in de Waddenzee en het peil van het IJsselmeer

Waterstand Waddenzee [m NAP]	Streefpeil IJsselmeer [m NAP]	Infiltratie [mm/d]	Grondwaterstand [m NAP]
+0,0	-0,2	1,5	+0,3
+0,0	-0,4	1,5	+0,2
+0,0	-0,4	0,0	-0,4
+0,0	-0,2	10	+1,6
+2,0	-0,2	1,5	+0,9

Op basis van bovenstaande berekening zijn voor de bemaling representatieve grondwaterstanden afgeleid zoals is weergegeven in tabel 3-4.



Tabel 3-4: Raming grondwaterstand op de projectlocatie

Laag	Grondwaterstand [m NAP]		
	Hoog	Gemiddeld	Laag
1 & 2	+1,5	+0,2	-0,4

De **vetgedrukte** waarden worden als uitgangsgroundwaterstand beschouwd voor de debietberekening van de bemaling, maar mogen niet zonder meer worden gebruikt voor andere (ontwerp)doeleinden. De aangenomen, maatgevende, waarden zijn niet tot stand gekomen met behulp van een statistische analyse.

### 3.5. Grondwaterkwaliteit

Voor zover ons bekend is, zijn op de projectlocatie geen grondwatermonsters genomen die in een laboratorium zijn geanalyseerd op diverse lozingsparameters. Op basis van de literatuur en de korte afstand tot de Waddenzee wordt aangenomen dat het grondwater brak is.

## 4. BEREKENINGEN EN EFFECTEN

In dit hoofdstuk worden alle noodzakelijke, binnen de opdracht vallende berekeningen gepresenteerd. Tevens wordt op basis van de berekeningen kort stilgestaan bij de effecten van de bemaling op de omgeving.

### 4.1. Benodigde verlaging en te bemalen lagen

#### *Noodzakelijke verlaging van de grondwaterstand*

Voor een droge en goed begaanbare bouwputbodem dient de grondwaterstand te worden verlaagd tot 0,5 m onder de vloer. Wanneer er alleen lichte voertuigen/ rupsvoertuigen op de bouwputbodem rijden kan mogelijk (in combinatie met rijplaten) met 0,3 m ontwatering worden volstaan. In dit advies is uitgegaan van 0,5 m ontwatering.

Een overzicht van de benodigde grondwaterstandsverlagingen is opgenomen in tabel 4-1. De benodigde verlaging van de grondwaterstand kan worden gerealiseerd met behulp van drains in laag 2. Afhankelijk van de grondslag op het ontgravingsniveau is mogelijk een aanvullende filterbemaling benodigd. Een voorstel voor de dimensionering van de bemaling is opgenomen in hoofdstuk 5.

#### *Noodzakelijke verlaging van de stijghoogte*

Volgens NEN 9997-1, hoofdstuk 10, dient ten opzichte van elk niveau sprake te zijn van verticale stabiliteit van de ontgraving (bouwputbodem). Door het ontgraven van de bouwput en het verlagen van de grondwaterstand ter plaatse neemt de neerwaartse belasting af. Dit kan (bij onvoldoende veiligheid) leiden tot het opbarsten van de bouwputbodem of tot welvorming. Bij de stabiliteitsberekeningen dient de neerwaartse belasting van de grond te worden vermenigvuldigd met een (partiële materiaal)factor van 0,9.

Op basis van grondonderzoek bij een GSM-mast op ca. 30 m afstand lijken er geen aaneengesloten kleilagen aanwezig te zijn tot een diepte van ca. NAP -7 m. Hierdoor is er geen risico op het opbarsten van de bouwputbodem. Aangezien op overige locaties wel kleilagen zijn aangetroffen wordt geadviseerd dit te verifiëren met grondonderzoek op de projectlocatie. Indien de maximale ontgraving zich boven de maximale grondwaterstand/ stijghoogte bevindt zal de bouwputbodem te allen tijde stabiel zijn.

#### *Benodigde verlagingen*

De benodigde verlagingen van de grondwaterstand ten opzichte van de uitgangsgroundwaterstand zijn samengevat weergegeven in tabel 4-1.

Tabel 4-1: Benodigde verlagingen van grondwaterstand uitgaande van een grondwaterstand van NAP +0,2 m

Aanlegniveau [m NAP]	Grondwaterstand (laag 2)		
	Verlagen tot [ca. NAP m]	Verlaging t.o.v. NAP +0,2 m [ca. m]	Verlaging t.o.v. NAP +1,5 m [ca. m]
+2,6 (-1,5 m-mv)	+2,1	n.v.t.	n.v.t.
+1,1 (-3,0 m-mv)	+0,6	n.v.t.	0,9
+0,2 (-3,9 m-mv)	-0,3	0,5	1,8
+0,1 (-4,0 m-mv)	-0,4	0,6	1,9
-0,9 (-5,0 m-mv)	-1,4	1,6	2,9

## 4.2. Resultaten bemalingsberekeningen

### Waterbezwaar

Om inzicht te krijgen in het waterbezwaar en de grondwaterstandsverlagingen in de omgeving als gevolg van de bemaling zijn met het softwarepakket MicroFEM bemalingsberekeningen uitgevoerd. De berekende waterbezwaren zijn opgenomen in tabel 4-2.

Tabel 4-2: Berekende stationaire waterbezwaren

Aanlegniveau [m NAP]	Waterbezwaar [ca. m <sup>3</sup> /uur]	
	Uitgangsgroundwaterstand = NAP +0,2 m	Uitgangsgroundwaterstand = NAP +1,5 m
+2,6 (-1,5 m-mv)	n.v.t.	n.v.t.
+1,1 (-3,0 m-mv)	n.v.t.	15 à 25
+0,2 (-3,9 m-mv)	5 à 15	25 à 50
+0,1 (4,0 m-mv)	5 à 20	30 à 55
-0,9 (-5,0 m-mv)	25 à 45	45 à 80

Afhankelijk van de wijze van bemalen en de snelheid waarmee de benodigde verlaging wordt gerealiseerd kan het waterbezwaar in de instationaire beginfase van de bemaling hoger zijn.

Als gevolg van neerslag kan het waterbezwaar bij maatgevende buien van 10 mm/uur of 30 mm/dag toenemen met respectievelijk 28 m<sup>3</sup>/uur of 85 m<sup>3</sup>/dag. Bij de dimensionering van de bemalingsinstallatie dient met dit extra waterbezwaar rekening te worden gehouden.

### Verlagingen van de grondwaterstand/stijghoogte in de omgeving

De grondwaterstandsverlaging op de projectlocatie leidt tot verlagingen van de grondwaterstand in de omgeving. De stationair berekende verlagingen ten opzichte van de gemiddelde en afgeleide hoge uitgangsgroundwaterstand van respectievelijk NAP +0,2 en +1,5 m zijn voor 2 ontgravniveaus weergegeven in tabel 4-3.

Tabel 4-3: Berekende stationaire verlagingen [m] van de grondwaterstand richting de Waddenzee voor een aanlegniveau van 3,5 m-mv en 5 m-mv en een uitgangsgroundwaterstand van NAP +0,2 m en NAP +1,5 m

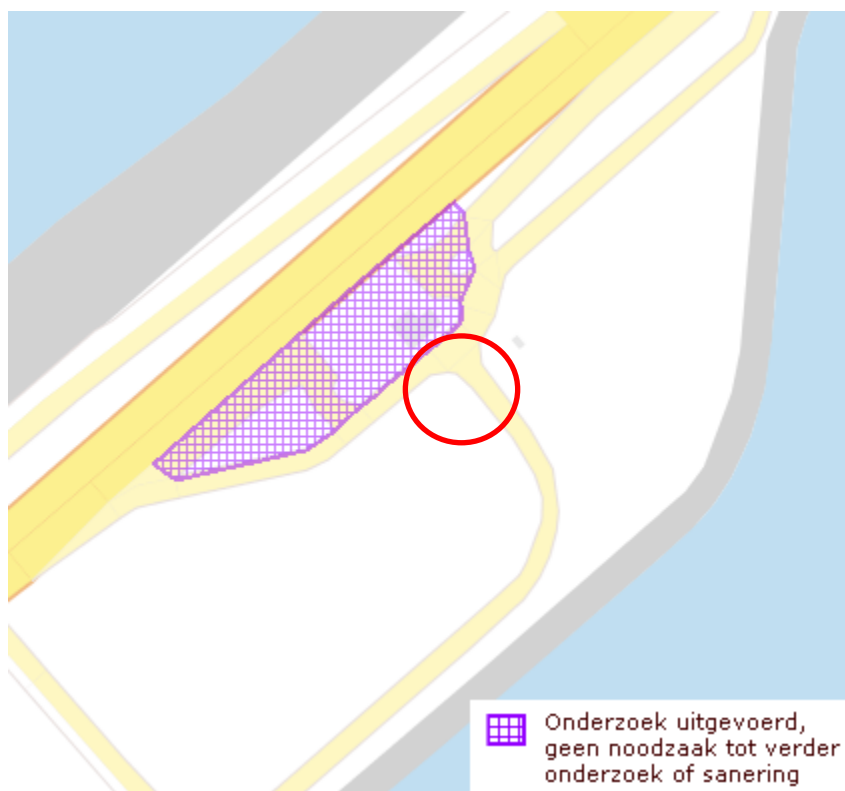
Afstand tot bouwput [ca. m]	laag	5	10	25	50	75	100	200	300
Aanlegniveau = 3,9 m-mv Uitgangsgroundwaterstand = NAP +0,2 m	2	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,05	-
Aanlegniveau = 3,9 m-mv Uitgangsgroundwaterstand = NAP +1,5 m	2	1,7	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,2	<0,05
Aanlegniveau = 5,0 m-mv Uitgangsgroundwaterstand = NAP +0,2 m	2	1,5	1,4	1,2	0,9	0,7	0,5	0,2	<0,05
Aanlegniveau = 5,0 m-mv Uitgangsgroundwaterstand = NAP +1,5 m	2	2,8	2,6	2,1	1,6	1,2	1,0	0,3	0,05

### 4.3. Effecten van de bemaling in de omgeving

Het verlagen van de grondwaterstand en stijghoogte kan ongewenste gevolgen hebben voor o.a. zakkingsgevoelige objecten, (paal)funderingen, grondwaterverontreinigingen en/of kwetsbare begroeiing binnen het invloedsgebied van de bemaling. De opdrachtgever van de bemaling is in principe altijd aansprakelijk voor schade, in welke vorm dan ook, die optreedt als gevolg van een bemaling.

Bij deze rapportage is het risico op zakkings in de omgeving beschouwd, hierbij is de variant beschouwd betreffende zetting bij een ontgraving tot MV -4,0 m. Op basis van de berekende verlagingen (bij een gemiddelde grondwaterstand) zal het invloedsgebied voor zettingen ca. 25 m bedragen. Binnen deze zone zijn geen omgevingsobjecten aanwezig. De rijksweg A7, het waterkerende deel van de Afsluitdijk, de Tuimeldijk en het tankstation bevinden zich buiten het invloedsgebied. Op basis van deze berekeningen is het risico op zettingsschade door de bemaling nihil.

Op basis van bodemloket zijn in de omgeving van de projectlocatie geen verontreinigingen aanwezig. De omgeving van het tankstation (op ca. 80 m) afstand is onderzocht, hieruit volgt dat geen nader bodemonderzoek of sanering noodzakelijk is.



Figuur 4-1: Verontreinigingen obv bodemloket.nl (rode cirkel is ligging projectlocatie)

Overige effecten zijn in deze rapportage niet nader beschouwd. In de omgeving van de projectlocatie worden, naast de hierboven beschouwde objecten, echter geen risico's verwacht.

#### 4.4. Eventuele afwijkingen van onze uitgangspunten

De in dit hoofdstuk gepresenteerde berekeningsresultaten zijn gebaseerd op de in hoofdstuk 2 en 3 opgenomen uitgangspunten. Wijzigingen in deze uitgangspunten kunnen consequenties hebben voor de berekeningen en dus voor onze adviezen. Geadviseerd wordt om voor aanvang van de werkzaamheden de uitgangspunten van het definitief ontwerp te (laten) controleren met de in hoofdstuk 2 opgenomen informatie. Indien nodig kan het bemalingsadvies worden aangepast.

In de praktijk kunnen de (geohydrologische) parameterwaarden afwijken van de in dit rapport gehanteerde waarden. Hierdoor kunnen het werkelijke waterbezwaar en invloedsgebied van de bemaling afwijken van de gerapporteerde waarden. Een beter inzicht in de lokale bodemopbouw en de te verwachten hoeveelheid te onttrekken grondwater kan worden verkregen door het uitvoeren van aanvullend grond- en laboratoriumonderzoek en/of het uitvoeren en interpreteren van een pomp- of bemalingsproef.

Fluctuaties in de grondwaterstand hebben eveneens consequenties voor het waterbezwaar en het invloedsgebied. Om een vollediger beeld te krijgen in de fluctuaties op de projectlocatie wordt geadviseerd één of meer peilbuizen op of rond de locatie te plaatsen met filters in de te bemalen lagen. De grondwaterstand in deze peilbuizen kunnen dan voorafgaand aan en tijdens de werkzaamheden regelmatig worden opgenomen. Aan de

hand van de uitgevoerde metingen kan het rapport worden geverifieerd en indien noodzakelijk, in overleg, worden herzien.

In bijna alle bovengenoemde gevallen geldt dat nader onderzoek tot mogelijk andere, meer betrouwbare, keuzes kan leiden waardoor betere risico-inschattingen kunnen worden gedaan.

## 5. CONCEPTUEEL BEMALINGS- EN MONITORINGSPLAN

In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke bemalingsinstallatie kan worden toegepast voor het bereiken van de benodigde verlaging en op welke wijze de werkzaamheden kunnen worden gemonitord. Hierbij wordt opgemerkt dat het conceptuele plannen betreffen die moeten worden gezien als een voorstel voor de mogelijke wijze van bemalen of monitoren.

Een gerenommeerde bemaler kan naar eigen inzicht en ervaringen tot een andere bemalingsinstallatie besluiten. Het definitief ontwerp van de bemalingsinstallatie dient daarom in overleg met de bemaler te worden vastgesteld en bij voorkeur aan Fugro te worden voorgelegd ter controle. Het toepassen van een andere bemalingswijze dan in dit hoofdstuk is voorgesteld kan een ander waterbezwaar en een ander invloedsgebied van de bemaling tot gevolg hebben. De bemaling dient in elk geval zo te zijn ingeregeld dat niet meer wordt verlaagd dan strikt noodzakelijk is. Wij adviseren in het bestek een resultaatverplichting voor de bemaler op te nemen voor het realiseren van de verlagingen.

De wijze en frequentie van monitoren hangt sterk af van de aanwezigheid van kwetsbare objecten in de omgeving en van eisen van het bevoegd gezag. Een definitief monitoringsplan, bij voorkeur inclusief actie- en communicatieplan, dient daarom altijd vóór aanvang van de werkzaamheden in overleg met alle betrokken partijen te worden opgesteld. In het monitoringsplan zijn de definitieve locaties van de monitoringspunten en de frequentie van monitoring beschreven. Tevens zijn in het actieplan grenswaarden omschreven en te ondernemen acties bij overschrijding van de grenswaarden.

### 5.1. Conceptueel bemalingsplan

De wijze van bemalen is sterk afhankelijk van de gekozen uitvoeringswijze/aanlegniveau en de daarvoor benodigde grondwaterstandsverlagingen. Tevens dient voor een definitief voorstel voor de bemalingsinstallatie de bodemopbouw op de locatie geverifieerd te worden door het uitvoeren van enkele sonderingen. Door de opdrachtgever is aangegeven dat bij het huidige ontwerp wordt uitgegaan van een ontgraving tot NAP +0,3 m (mv -3,9 m).

Bij deze aanlegdiepte wordt geadviseerd te werken in 2 fases om de bemalingsduur zoveel mogelijk te beperken. In de eerste fase wordt ontgraven zonder bemaling, tot ca. NAP +2,0 m (niveau dient te worden gevalideerd op basis van grondwaterstandsmetingen op de locatie), en in de tweede fase wordt ontgraven met een bemaling.

Voor de verdere ontgraving in fase 2 is een bemaling noodzakelijk. Voorgesteld wordt de verlaging te realiseren en in stand te houden met horizontale drains.

De drains kunnen in de "lengte-richting" van de bouwput worden aangelegd met een draineermachine. De drains dienen op een diepte van ca. 0,7 m onder het aanlegniveau te worden aangelegd met een hart op hart afstand van ca. 4 à 6 m. De drains, voorzien van een volumineus omhullingsmateriaal, met een diameter van Ø 80/72 mm dienen in met goed doorlatend zand gevulde sleuven te worden gelegd en via een blind stuk leiding op pompen van voldoende capaciteit te worden aangesloten. De exacte locaties van de drains dienen te worden afgestemd op de inrichting van de bouwput en de aanwezigheid van bijvoorbeeld funderingselementen. Navraag dient gedaan te worden bij het bevoegd gezag of de drains in de grond mogen blijven zitten in verband met de waterkerende functie van de projectlocatie. Moeten de drains na de bemaling worden verwijderd, dan is een filterbemaling een beter alternatief.

Om te grote verlagingen en onnodig bemalen te voorkomen wordt geadviseerd peilbuizen te plaatsen, waarin de grondwaterstand wordt gemonitord tijdens de ontgraving. Op basis van de gemeten grondwaterstanden kan de bemaling worden ingeregeld.

Indien uit aanvullend grondonderzoek blijkt dat kleilagen aanwezig zijn binnen enkele meters onder het ontgravingsniveau dient mogelijk een filterbemaling te worden toegepast om opbarsten te voorkomen. Geadviseerd wordt om de bemalingsinstallatie te optimaliseren op basis van grondonderzoek op de projectlocatie.

Voordat met ontgraven wordt begonnen, wordt aanbevolen de doelmatigheid van de geïnstalleerde bemalingsinstallatie te toetsen. Het is in deze fase nog goed mogelijk de bemaling eventueel aan te passen.

## **5.2. Conceptueel monitoringsplan**

Het monitoren van de effecten van de bemaling op de omgeving vormt een belangrijk onderdeel van de kwaliteitsborging en risicobeheersing van het werk. Om de effecten op de omgeving in de tijd te volgen en te registreren wordt geadviseerd een monitoringsplan met toetsingscriteria en een actieplan op te stellen. Voorts kan achteraf worden beoordeeld of eventueel gemelde schades door de bemaling kunnen zijn veroorzaakt.

De monitoring heeft over het algemeen betrekking op de volgende onderdelen:

- Het monitoren van de grondwaterstand en/of stijghoogte in diverse peilbuizen op verschillende afstanden van de projectlocatie;
- Het functioneren van de bemalingsinstallatie en het registreren van de hoeveelheid onttrokken grondwater;
- Het monitoren van overige aspecten die worden opgenomen bij de vergunningverlening.

Door een goede monitoring kunnen vertragingen tijdens de bouw worden voorkomen. Daarnaast is onze ervaring dat een goede monitoring geruststellend werkt voor bevoegd gezag en belanghebbenden in de directe omgeving.



## 6. VERGUNNINGEN EN LOZING

In dit hoofdstuk wordt de bemaling getoetst aan de Waterwet. Na elke toetsing wordt aangegeven welke stappen noodzakelijk zijn om de bemaling correct uit te voeren. Indien gewenst kan Fugro deze stappen voor u verzorgen.

Voor zowel het onttrekken als het lozen van het grondwater is het in het kader van eventuele heffingen en belastingen noodzakelijk dat de hoeveelheden onttrokken grondwater worden gemeten met behulp van geijkte debietmeters en worden geregistreerd in een logboek.

### 6.1. Onttrekkingsvergunning

In het beheersgebied van Rijkswaterstaat geldt voor het onttrekken van grondwater bij bouwputbemalingen dat in het kader van de Waterwet een onttrekkingsvergunning moet worden aangevraagd als:

- meer dan 100 m<sup>3</sup>/uur grondwater wordt onttrokken;
- in totaal meer dan 100.000 m<sup>3</sup> grondwater wordt onttrokken.

Voor het behandelen van een melding of een aanvraag voor een vergunning in het kader van de Waterwet zijn geen legeskosten verschuldigd.

De bemaling blijft onder de vergunningsgrenzen voor bemaling indien de werkzaamheden binnen de voorgenomen periode worden uitgevoerd. Indien de werkzaamheden uitlopen bestaat de mogelijkheid dat de vergunningseis met betrekking tot het totale debiet wordt overschreden. De projectlocatie is echter in een primaire waterkering gelegen, waardoor een **watervergunning noodzakelijk is**.

Voor het aanvragen van een onttrekkingsvergunning geldt een proceduretijd die kan oplopen tot **3 à 4 maanden**. Mogelijk geldt er een provinciale heffing, die per onttrokken m<sup>3</sup> grondwater moet worden betaald.

### 6.2. Lozing van het bemalingswater

Geadviseerd wordt om de kwaliteit van het te lozen bemalingswater vast te stellen. Dit kan in een laboratorium worden vastgesteld aan de hand van grondwatermonsters die op of direct naast de projectlocatie zijn genomen. Deze watermonsters dienen vooraf te worden genomen uit één of meer peilbuizen, waarvan de filters moeten zijn afgesteld in de te bemalen lagen.

Een ontheffing van een keur en/of een vergunning in het kader van de Waterwet kan noodzakelijk zijn, maar wordt niet verwacht. In het geval dit wel noodzakelijk is dient te worden gehouden met een vergunningprocedure van enkele maanden. Voor de exacte doorlooptijd van de aanvraag dient contact op te worden genomen met Rijkswaterstaat. Geadviseerd wordt in een zo vroeg mogelijk stadium in overleg te treden met de waterontvangende instantie.

Voor de lozing kunnen significante kosten verschuldigd zijn aan de waterontvangende instantie. Rekening dient te worden gehouden met een verontreinigings- of zuiveringsheffing, die per te lozen 1.000 m<sup>3</sup> grondwater moet worden betaald. Bovendien kan de waterontvangende instantie waterzuiverende maatregelen eisen als de gehalten van lozingsparameters te hoog zijn.

## 7. ADVIES EN AANDACHTSPUNTEN

Op basis van de hiervoor beschreven hoofdstukken zijn hieronder onze adviezen en enkele aandachtspunten opgenomen. Bij de aandachtspunten is uitgegaan van een aanlegniveau van transformatorstation op NAP +0,3 m.

### 7.1. Advies

Geadviseerd wordt om op de projectlocatie een peilbuis te plaatsen en daarin een meetreeks met grondwaterstanden te verzamelen. Op basis van de verzamelde grondwaterstanden zal een aanname kunnen worden gedaan betreffende de grondwaterstand ter plaatse. Idealiter zullen er meerdere peilbuizen in een raai over de projectlocatie en Afsluitdijk worden geplaatst. Met behulp van de grondwaterstand gegevens van deze raai kan het grondwaterstandsverloop in de dijk worden bepaald. Ook zullen er grondwatermonsters uit deze peilbuizen kunnen worden genomen.

Door ter plekke grondonderzoek uit te voeren kan een beter beeld van de bodemopbouw (het wel of niet aanwezig zijn van een kleilaagje op ca. NAP -2,0 m) en de heersende grondwaterstand worden gegeven. Ook kan de mate van grofheid van het zand tijdens het grondonderzoek worden bepaald om de geohydrologische parameters en dimensionering bemalingsinstallatie beter te kunnen inschatten. Aan de hand van het grondonderzoek dient voorliggend rapport worden geverifieerd.

Puur voor het onttrekken van het grondwater dient geen vergunning te worden aangevraagd, mits het totaal onttrokken debiet de 100.000 m<sup>3</sup> niet overschrijdt. Aangeraden wordt om de onttrekking mee te nemen in de vergunning welke dient te worden aangevraagd in het kader van de keur (werken in/nabij waterkeringen).

Op basis van de berekende grondwaterstandsverlagingen is er geen risico op zettingen op een afstand van meer dan 25 vanaf de ontgraving.

### 7.2. Aandachtspunten

- De bemaling kan gevolgen hebben voor de fundering van de nieuwbouw. Het bemalingsadvies moet worden voorgelegd aan de geotechnisch adviseur zodat deze kan verifiëren of de geadviseerde bemaling en bemalingswijze in overeenstemming zijn met het ontwerp van de fundering. Het gebruik van drains kan resulteren in een lokaal verminderde draagkracht van de grond, hetgeen effect kan hebben op een fundering op staal.
- Omgevingsaspecten anders dan zettingen en verontreinigen zijn niet beschouwd. Er is echter op voorhand geen rede om aan te nemen dat er significante risico's zijn op deze locatie.

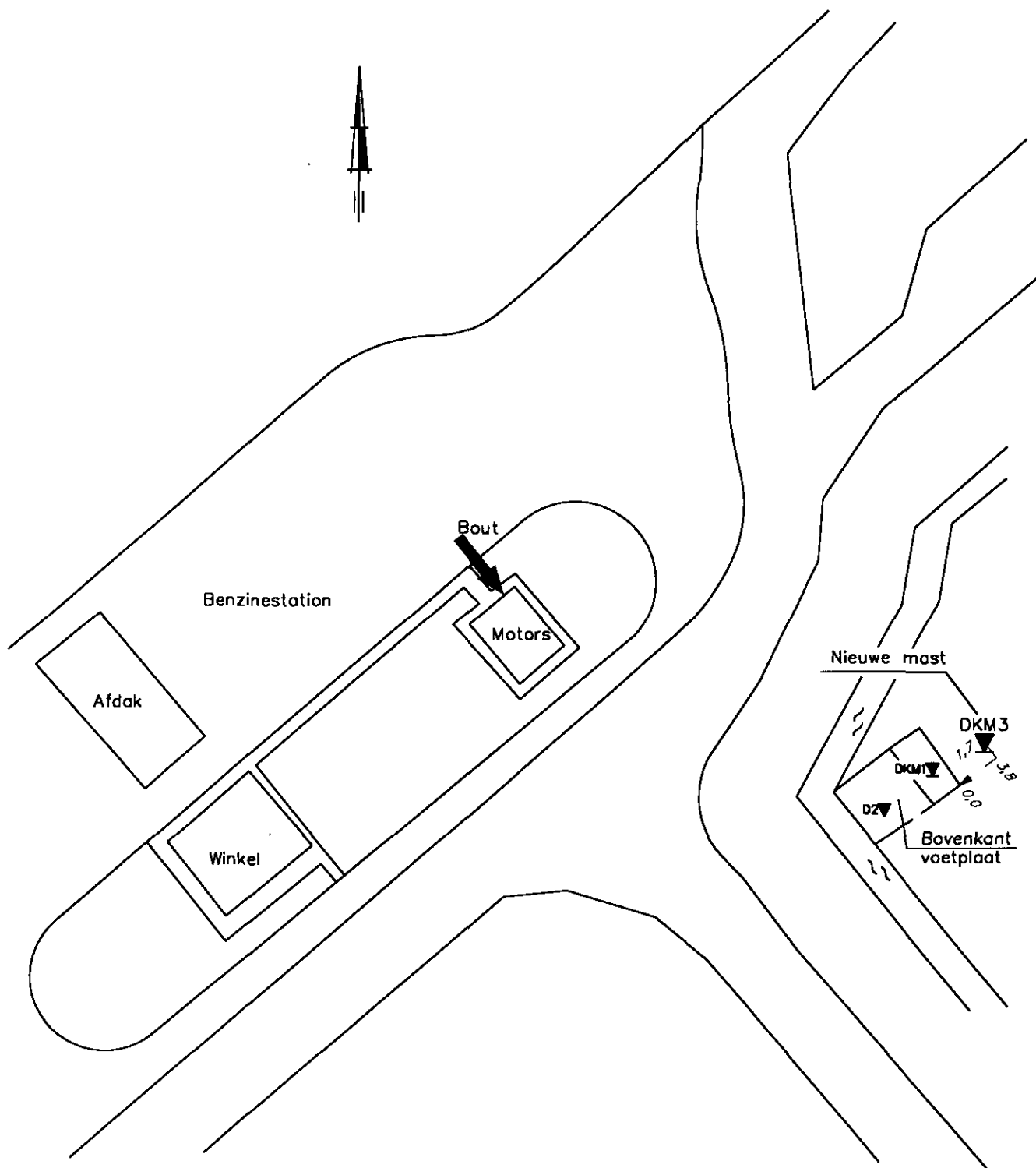


## BIJLAGEN

---

### Archiefsonderingen

Opg. : eld    ddt: 14-5-2001    Gev.: UR    ddt: 14-5-2001



Sonderingen DKM1 en D2 uitgevoerd d.d. 28 jan 1997

Bout : NAP + 4.565 m

Bovenkant voetplaat = NAP + 4,26m

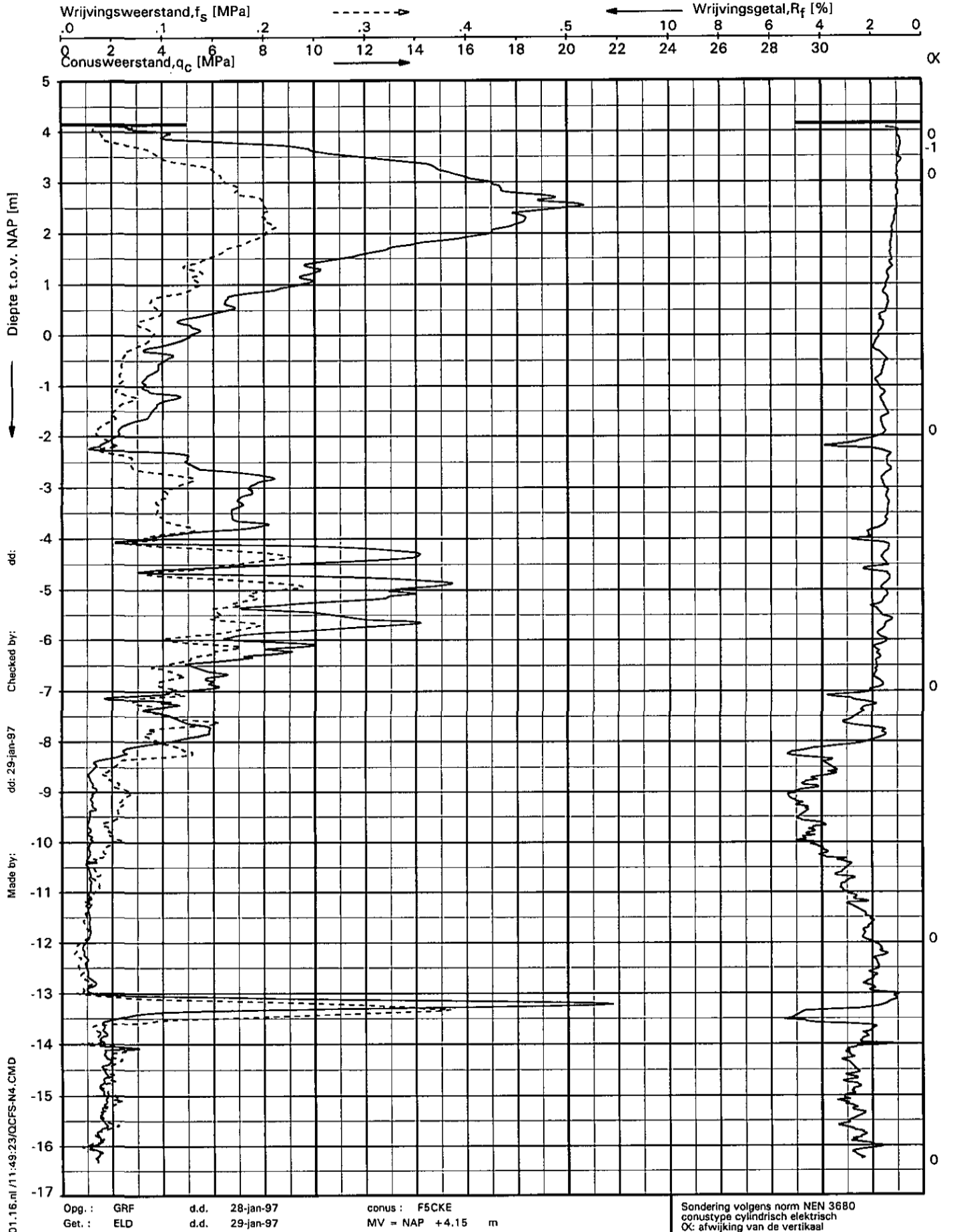


school 1:500

**SITUATIE**

GSM-MAST 3317 NABIJ BEZINESTATION  
TE BREEZANDDIJK

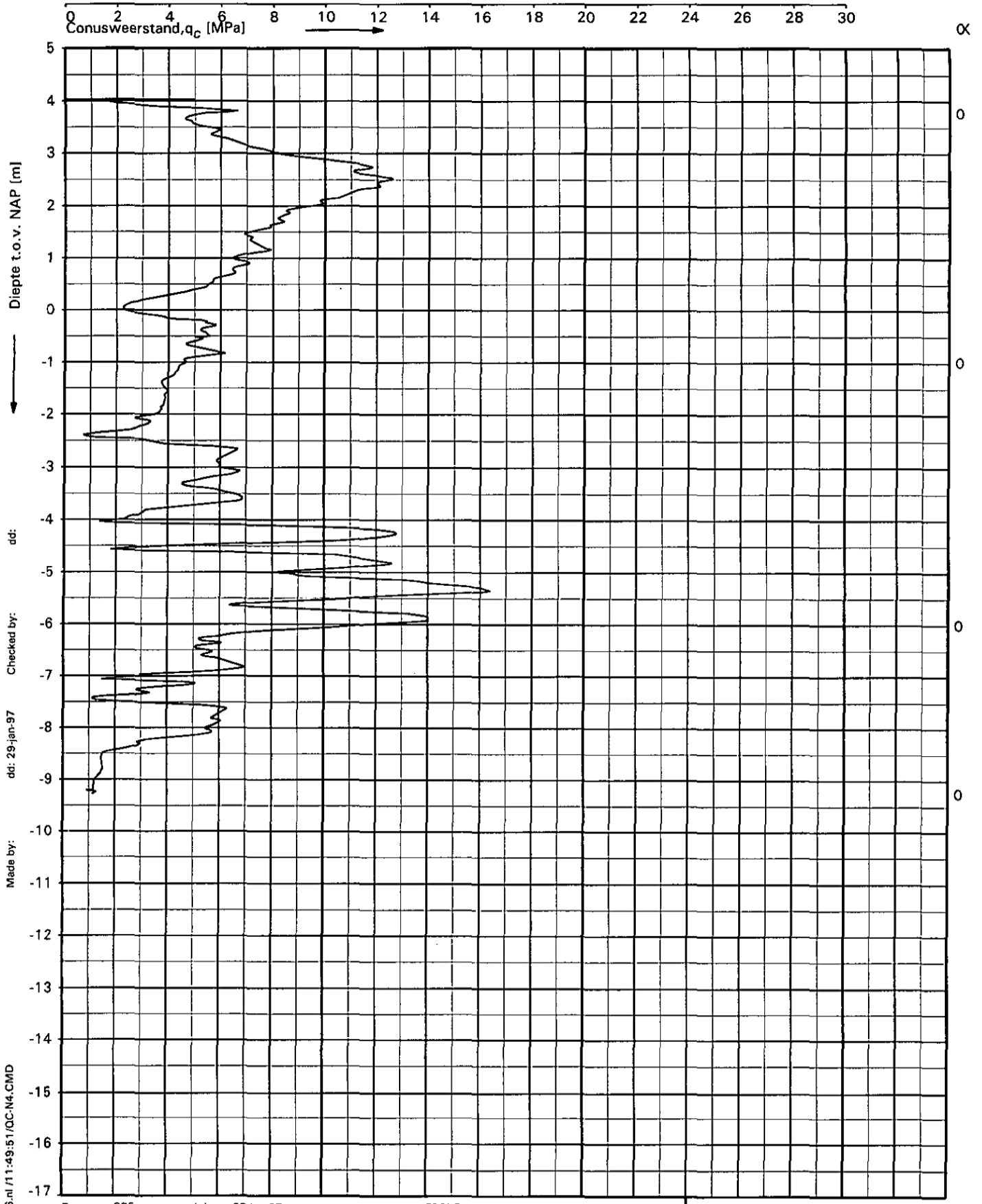
Opdr. : G-6740  
Bijl. : 3



UNIPL0T 01.16.nl/11:49:23/QCF5-N4.CMD

**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
**GSM-MAST 3317 NABIJ BENZINESTATION TE BREEZANDDIJK**

Opdr. G-6740  
 Sond. DKM1



dd:   
 Checked by:   
 dd: 29-jan-97   
 Made by:

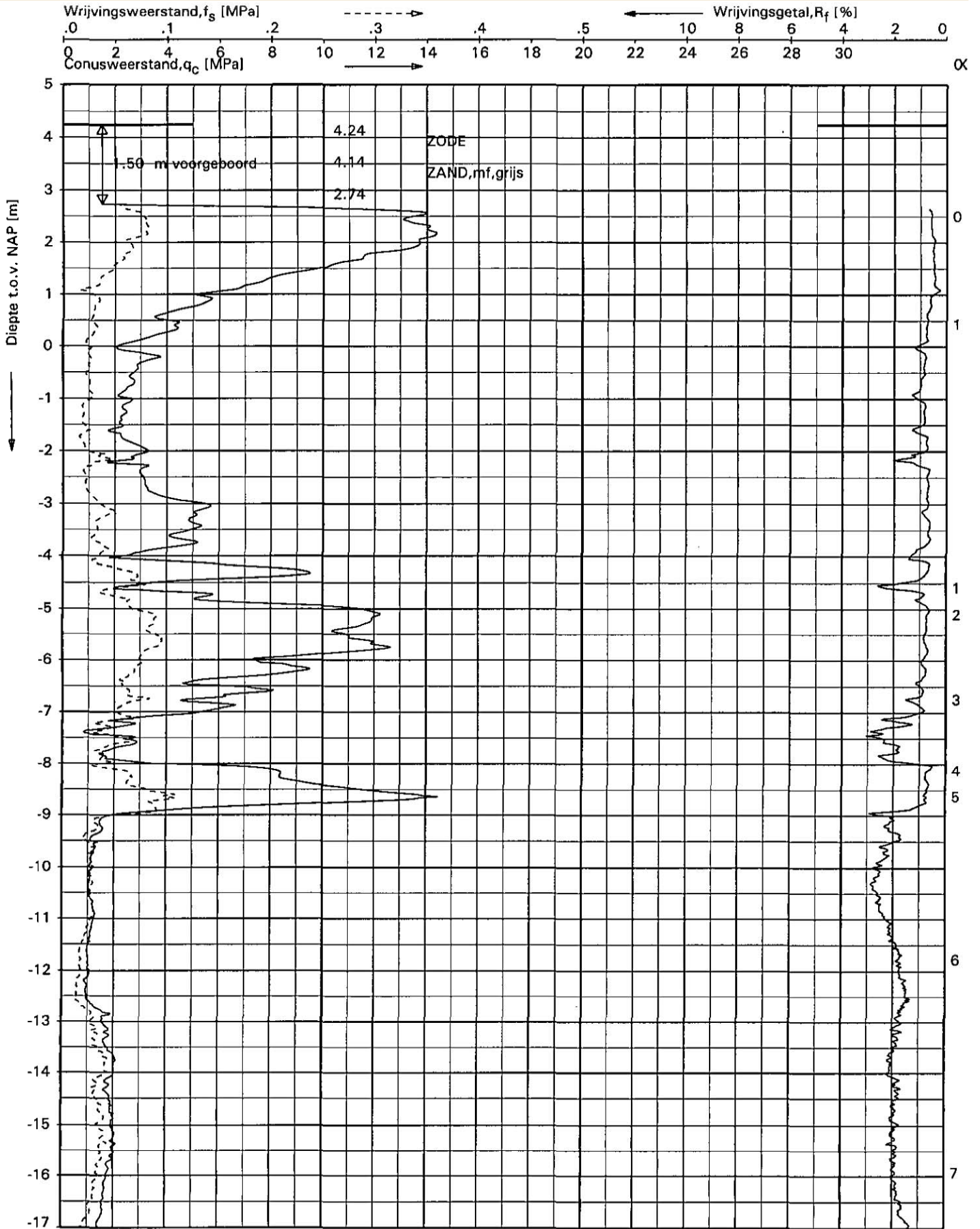
Opg. : GRF      d.d. 28-jan-97      conus : F5CKE  
 Get. : ELD      d.d. 29-jan-97      MV = NAP +4.02 m

Sondering volgens norm NEN 3680  
 conustype cilindrisch elektrisch  
 OX: afwijking van de vertikaal

**SONDERING**  
 GSM-MAST 3317 NABIJ BENZINESTATION TE BREEZANDDIJK

Opdr. G-6740  
 Sond. D2

UNIPLOT 01.16.nl / 11:49:51 / OC-N4.CMD



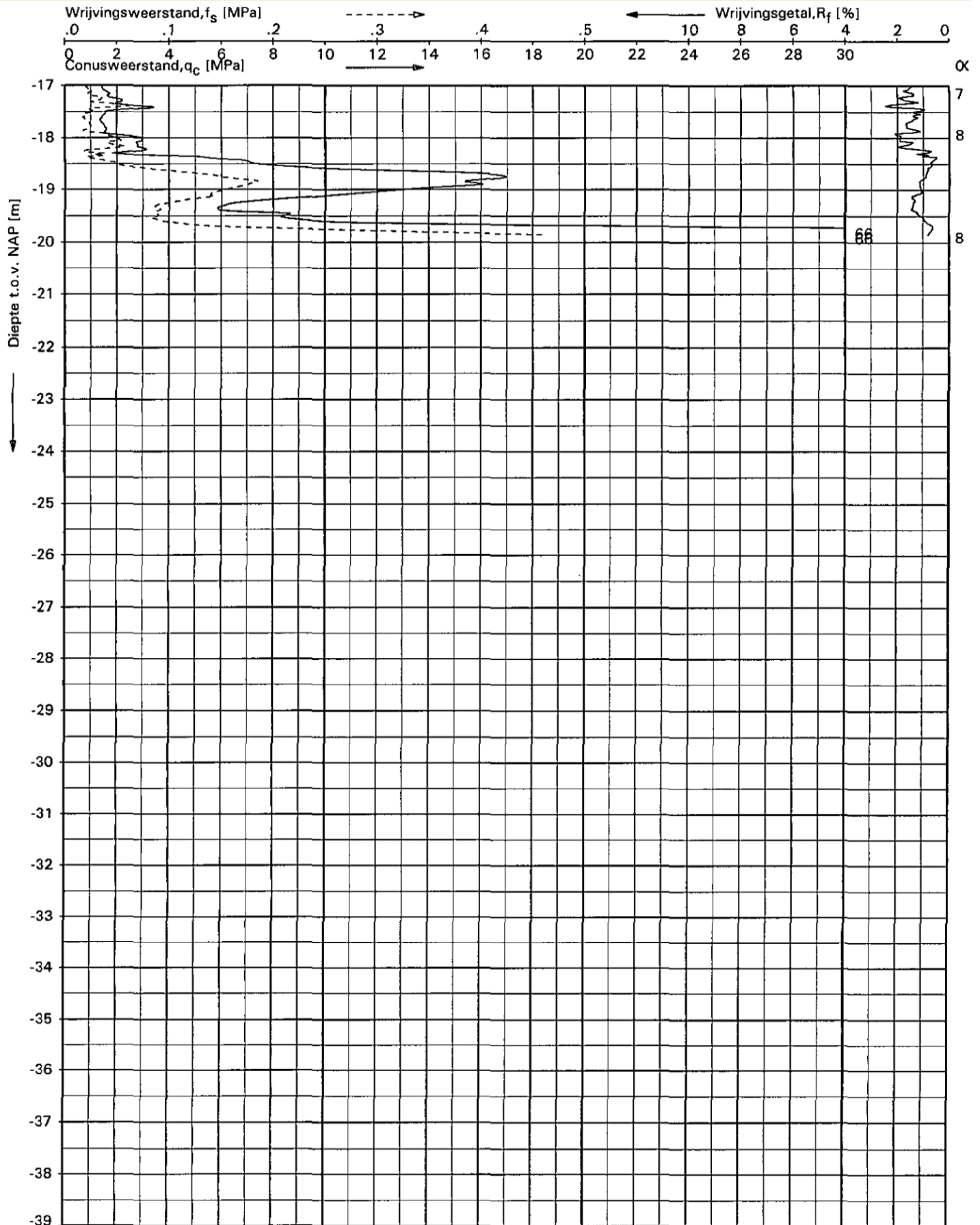
Opg.: SPR/GRF d.d. 10-May-2001 conus: F7.5CKE/V X =  
 Get.: ELD d.d. 11-may- 1 MV = NAP +4.24 m Y =

Sondering volgens norm NEN 5140  
 conustype cilindrisch elektrisch  
 OK: afwijking van de vertikaal

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING  
 GSM MAST 3317 AAN DE AFSLUITDIJK TE BREEZANDDIJK

Opdr. G-6740  
 Sond. DKM3





Opg. : SPR/GRF d.d. 10-May-2001 conus : F7.5CKE/V X =  
 Get. : ELD d.d. 11-may- 1 MV = NAP +4.24 m Y =

Sondering volgens norm NEN 5140  
 conustype cilindrisch elektrisch  
 OK: afwijking van de vertikaal

**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GSM MAST 3317 AAN DE AFSLUITDIJK TE BREEZANDDIJK

Opdr. G-6740  
 Sond. DKM3



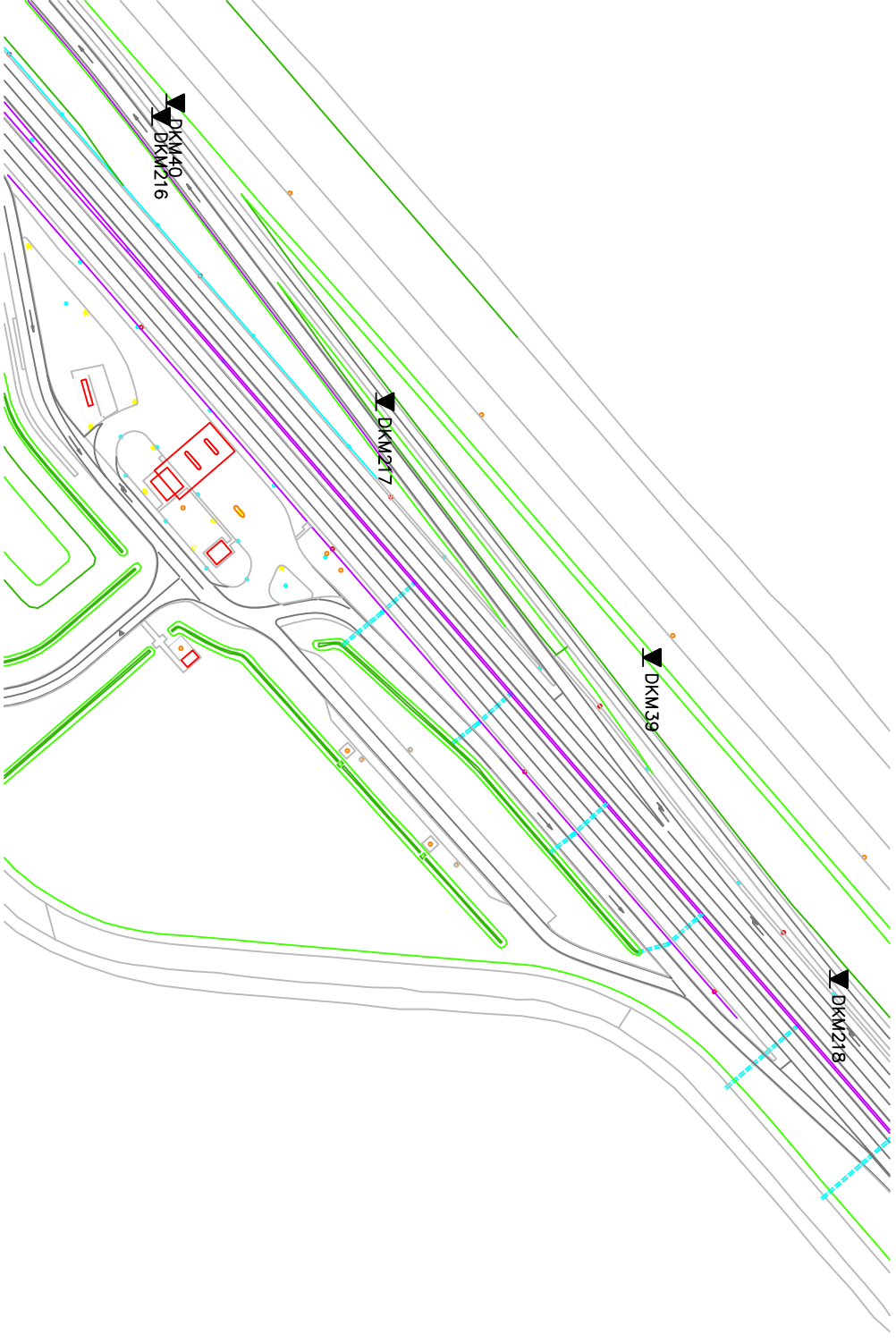


DKM40  
DKM216

DKM217

DKM39

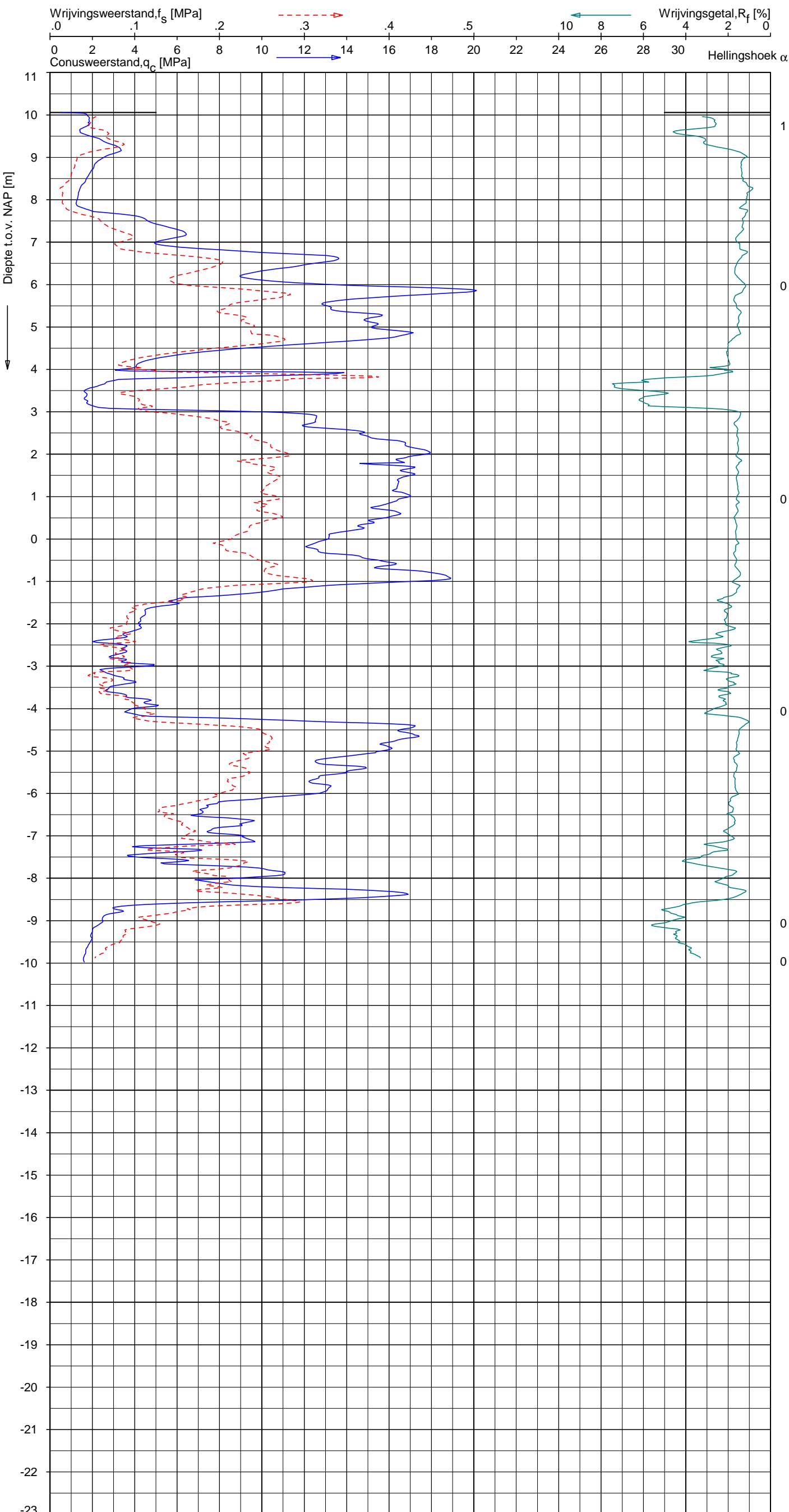
DKM218



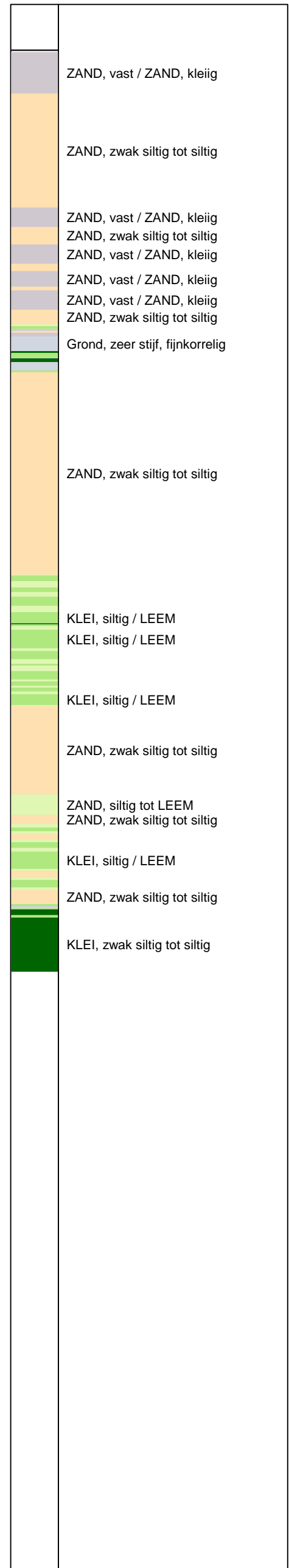
UNIPLOT 05.22.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-08-13 10:12:15

Q-1837

DKM39 - 1



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



Opg. : GAV-GSM d.d. 21-nov-2000 Coord.: X=143200.9m Y= 559600.1m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
 Get. : 01.20.nl d.d. 6-dec-20 0 MV = NAP +10.06m Conus: F7.5CKE/V 1232 Toepassingsklasse 3. Test type TE1  
 Conustype: A<sub>c</sub> = 1500 mm<sup>2</sup>; A<sub>s</sub> = 20002mm<sup>2</sup>



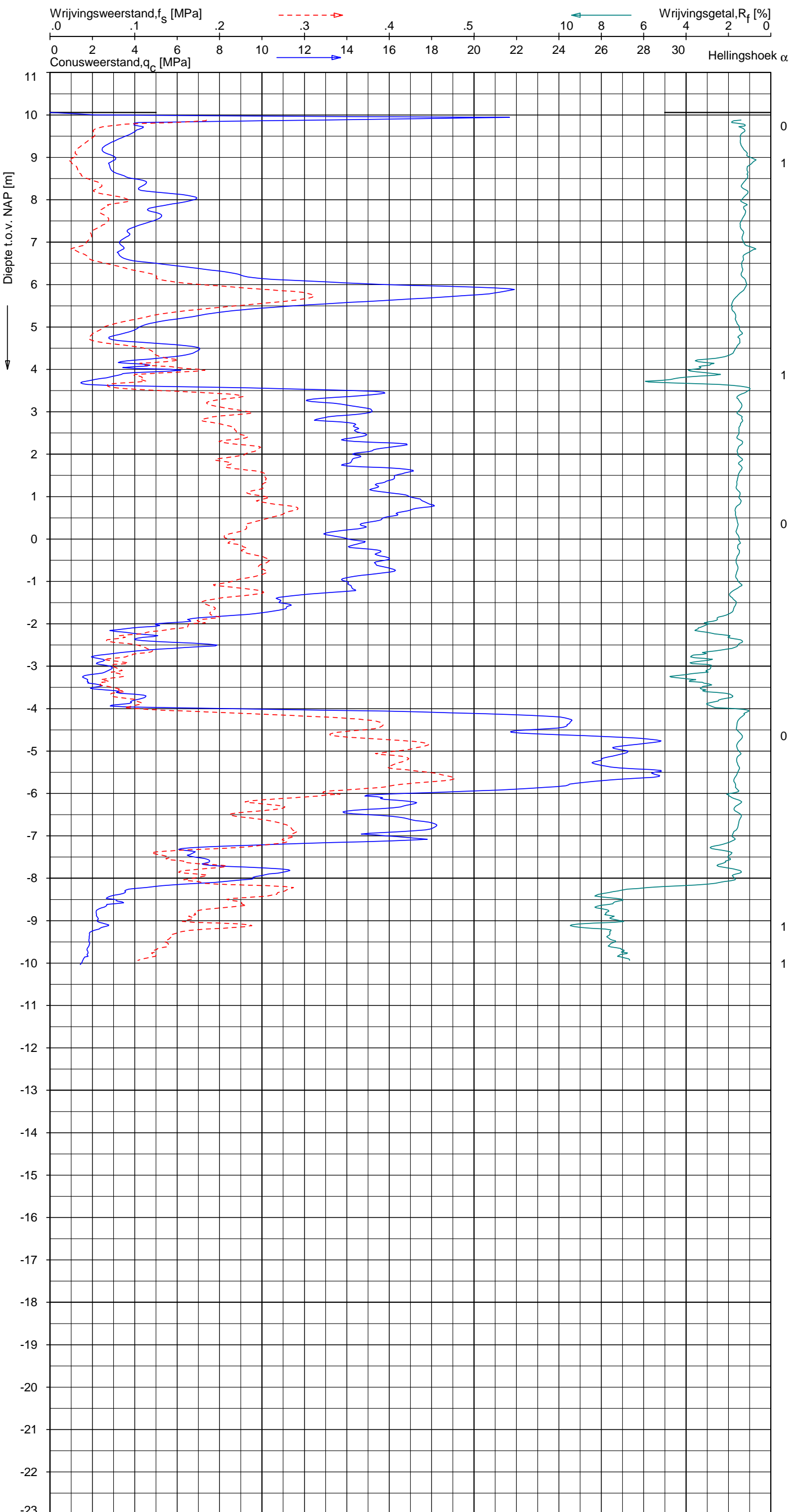
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GRONDONDERZOEK AFSLUITDIJK, KORNERWERDERZAND-DEN OEVER

Opdr. Q-1837  
 Sond. DKM39

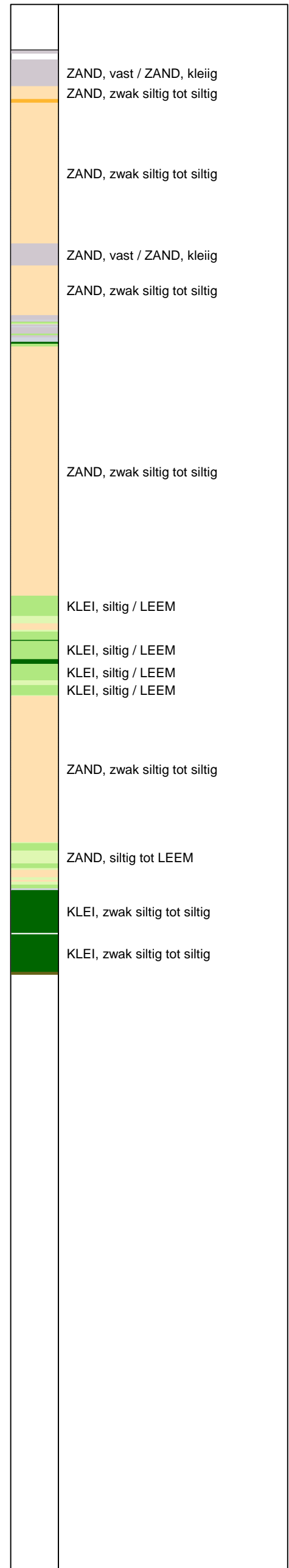
UNIPLOT 05.22.nl / QcfSClass-N3.cmd / 2013-08-13 10:12:17

Q-1837

DKM40 - 1



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



Opg. : GAV-GSM d.d. 21-nov-2000 Coord.: X=143011.4 m Y= 559437.1 m System: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
 Get. : 01.20.nl d.d. 23-nov-20 0 MV = NAP +10.06 m Conus: F7.5CKE/V 1232 Toepassingsklasse 3. Test type TE1  
 Conustype: A<sub>c</sub> = 1500 mm<sup>2</sup>; A<sub>s</sub> = 20002mm<sup>2</sup>



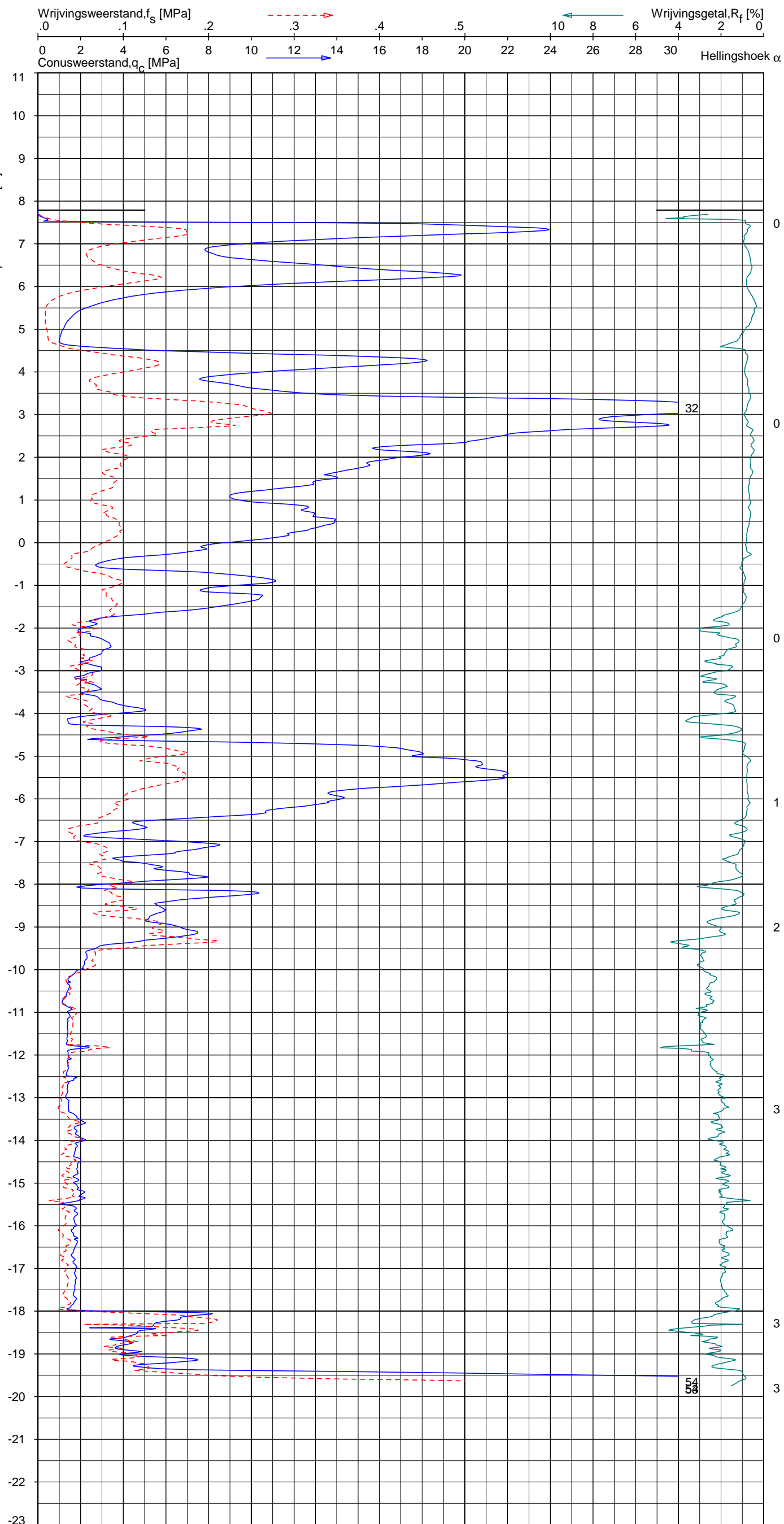
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GRONDONDERZOEK AFSLUITDIJK, KORNWERDERZAND-DEN OEVER

Opdr. Q-1837  
 Sond. DKM40

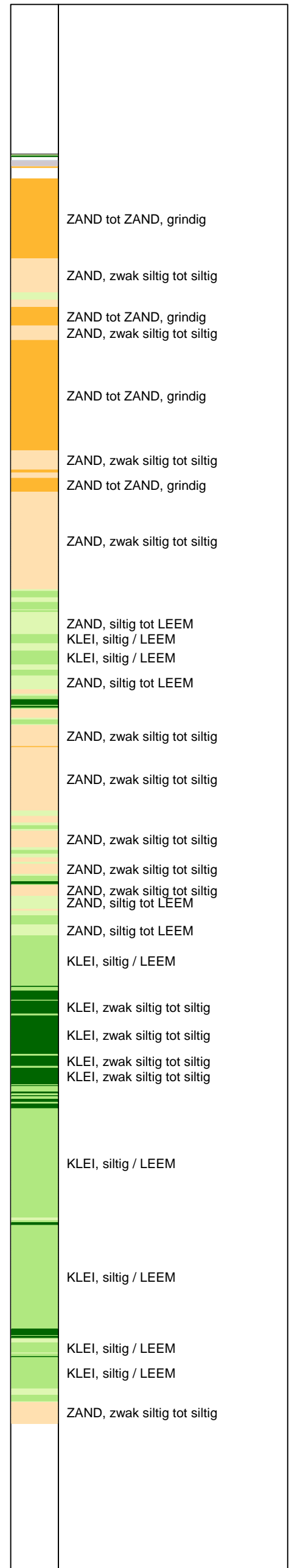
UNIPLOT 05.22.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-08-13 10:13:14

Q-1837/01

DKM217 - 1



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



Opg. : SPR/GRF d.d. 08-May-2001 Coord.: X=143113.4 m Y= 559508.6 m Systeem: RD  
 Get. : 01.20.nl d.d. 21-may-20 1 MV = NAP +7.79 m Conus: F7.5CKE/V 1318  
 Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1 Toepassingsklasse 3. Test type TE1  
 Conustype:  $A_c = 1500 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 20002 \text{ mm}^2$



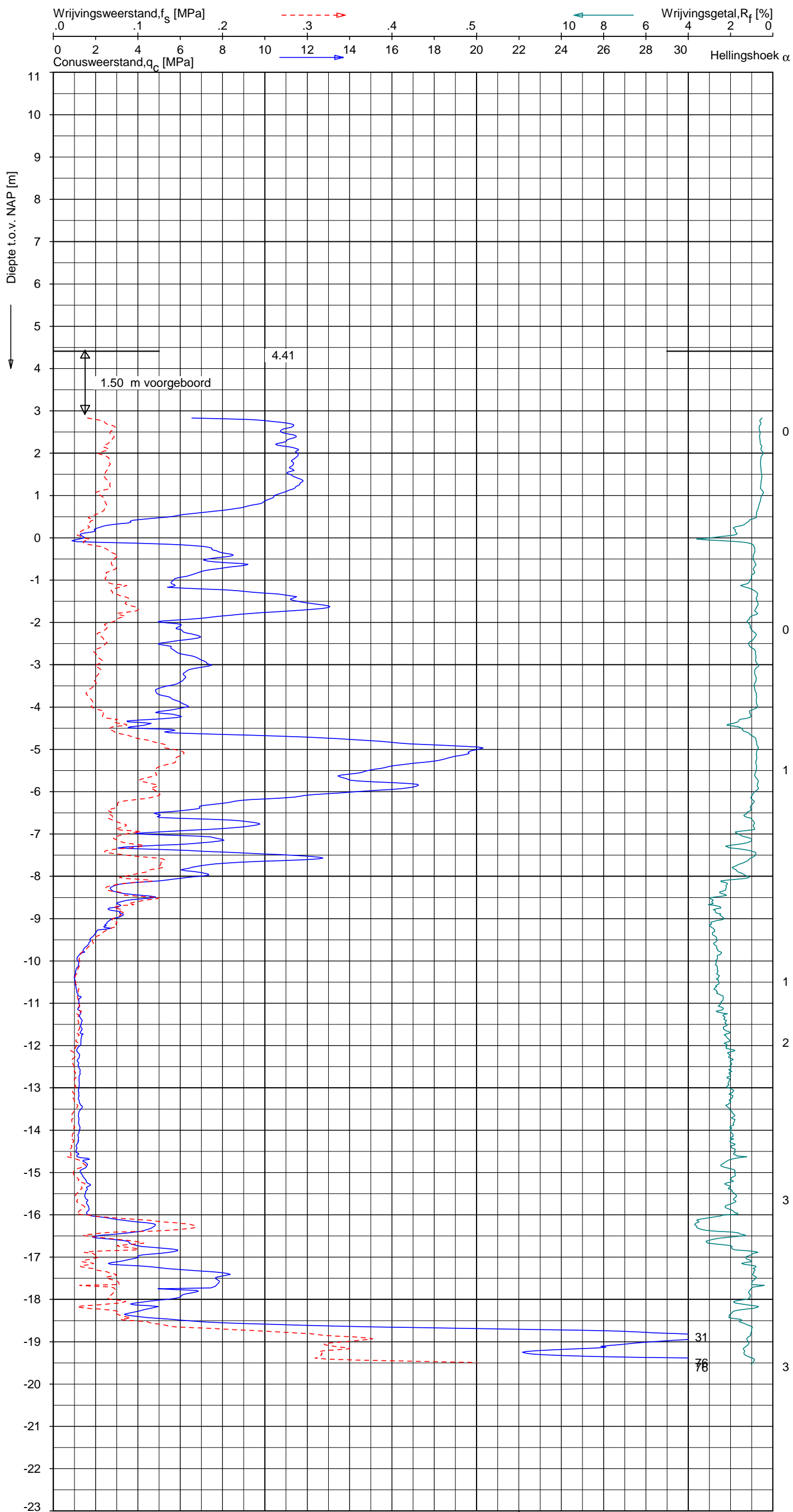
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 AANVULLEND GRONDONDERZOEK AFSLUIDIJK

Opdr. Q-1837/01  
 Sond. DKM217

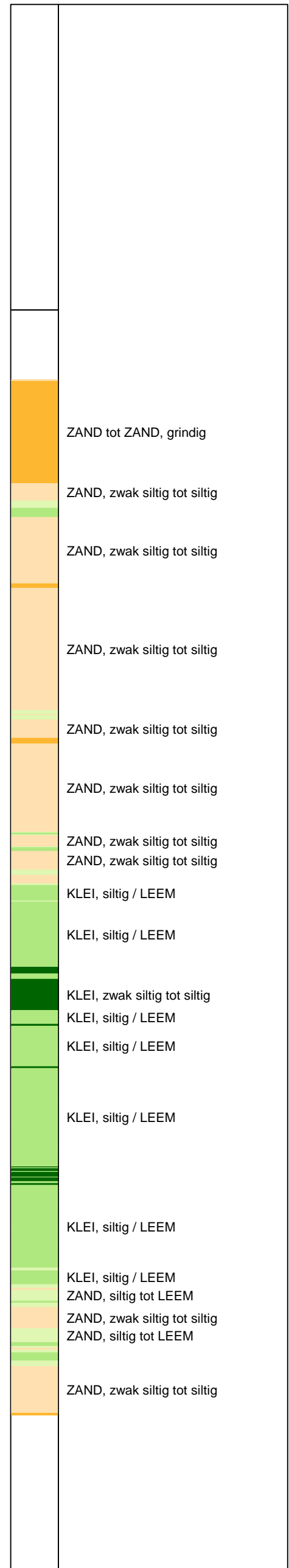
UNIPLOT 05.22.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-08-13 10:13:17

Q-1837/01

DKM218 - 1



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



Opg. : SPR/GRF d.d. 08-May-2001 Coord.: X=143310.6m Y=559663.5m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
 Get. : 01.20.nl d.d. 21-may-201 MV = NAP +4.41m Conus: F7.5CKE/V 1318 Toepassingsklasse 3. Test type TE1  
 Conustype: A<sub>c</sub> = 1500mm<sup>2</sup>; A<sub>s</sub> = 20002mm<sup>2</sup>



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 AANVULLEND GRONDONDERZOEK AFSLUIDIJK

Opdr. Q-1837/01  
 Sond. DKM218

# Aanvulling waterwetvergunning

22-12-2015



Rijkswaterstaat Midden-Nederland (IJsselmeergebied)  
T.a.v. Mike van de Velde  
Postbus 2232  
3500 GE Utrecht

Betreft : Wijziging aanvraag waterwetvergunning & WBR-vergunning windpark Fryslân  
Datum : 22-12-2015  
Bijlagen :  
Kenmerk : 709026/ME/01

Geachte heer Van de Velde,

Op 14 juli 2015 heeft Windpark Fryslân b.v. aanvragen ingediend voor een waterwetvergunning (RWS-2015/31477) en een WBR-vergunning (RWS-2015/31493) voor de realisatie van Windpark Fryslân, inclusief de realisatie van een transformatorstation en een in- en uitrit. Op 6 oktober jl is een aanvulling ingediend, waarin het ontwerp van het transformatorstation is gewijzigd.

In het kader van de aangevraagde omgevingsvergunning voor Windpark Fryslân bij de gemeente Súdwest-Fryslân is het bouwplan beoordeeld door de welstandscommissie Hûs en Hiem. Naar aanleiding van dit advies zijn een aantal aanpassingen aan het ontwerp van het transformatorstation uitgevoerd. De aanpassingen zijn middels een aanvulling op 15 december 2015 ingediend. Hierdoor is de wijziging van het transformatorstation in de aanvulling van 6 oktober niet langer relevant en deze wordt middels deze brief dan ook ingetrokken. De aanvulling van 6 oktober maakt derhalve niet langer onderdeel uit van de bovengenoemde aanvragen.

Twee onderdelen uit de aanvulling van 6 oktober zijn wel relevant voor de aanvraag. Aangezien de gehele aanvulling van 6 oktober wordt ingetrokken worden onderstaande onderdelen opnieuw aangevraagd. Het betreft:

- Het wijzigen van de inrit van twee naar één inrit;
- Het aanvragen van een bluswatervoorziening op Breezanddijk.

De beide onderdelen worden hieronder integraal en ongewijzigd opgenomen.

#### **Inrit transformatorstation**

Zoals ook genoemd in de aanvraag van 14 juli 2015 wordt het terrein aangesloten op de openbare weg welke in beheer is bij Rijkswaterstaat. Op de in/uitrit is de Wet beheer rijkswaterstaatwerken (Wbr) van toepassing, voor deze aansluiting is derhalve een vergunning in het kader van de Wbr aangevraagd. De wijziging op deze vergunning betreft het wijzigen van twee inritten naar één inrit. In de aanvulling van 15 december is de inrit ongewijzigd t.o.v. de aanvulling van 6 oktober. In de aanvulling van 15 december is de inrit op de situatietekening van het transformatorstation weergegeven. De afmetingen van de inrit wijzigen niet ten opzichte van de oorspronkelijke aanvraag.

### **Bluswatervoorziening**

De bijbehorende bouwwerken moeten een toereikende bluswatervoorziening hebben. U stelde voor om daarvoor een bluswaterriool aan te leggen. Vanwege de daarvoor benodigde ingreep in de Afsluitdijk (primaire waterkering) is in overleg met de brandpreventist van de gemeente Súdwest Fryslân en de brandweer Fryslân een andere oplossing gezocht. Deze oplossing betreft de realisatie van een opstelplaats voor de brandweer met het IJsselmeer als innamepunt. Deze oplossing is reeds met u besproken en sluit aan op het advies dat we van u hebben ontvangen (per e-mail Hans Vos, d.d. 1 oktober 2015). De bluswatervoorziening is ongewijzigd t.o.v. de aanvulling van 6 oktober.

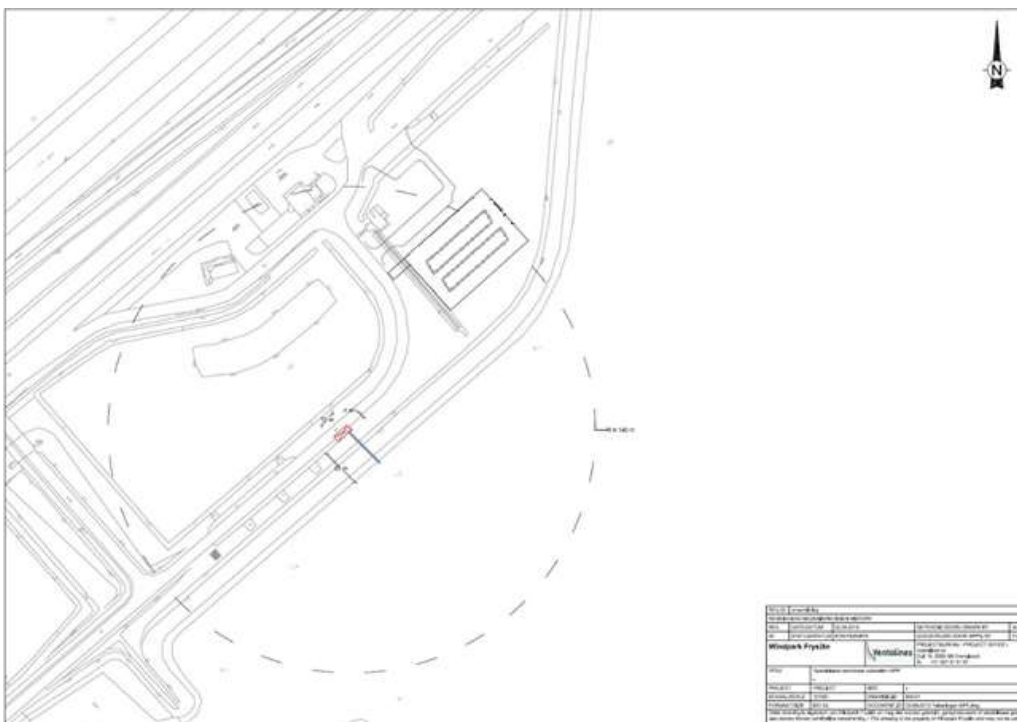
Vanaf de opstelplaats kan over maximaal 160 meter worden ingezet. De opstelplaats zal nabij het IJsselmeer en binnen deze afstand van het transformatorstation worden gerealiseerd. In het geval dat de afstand tussen opstelplaats en het IJsselmeer groter is dan door de brandweer gewenst (6 meter) dan wordt deze afstand overbrugd door de plaatsing van een permanente aanzuigleiding waar de brandweer op kan aansluiten.

De definitieve locatie van de opstelplaats en, indien nodig, de uitvoering van de aanzuigleiding worden in een later stadium uitgewerkt. De opstelplaats zal voldoen aan de volgende eisen:

- o Afmeting: Breedte 4 meter, lengte 10 meter, vrije doorgang hoogte 4,2 meter. Dit mag een deel van een weg zijn.
- o Draagvermogen: Aslast 10 ton en totaal gewicht 15 ton.
- o Bereikbaarheid bluswater: Maximaal 6 meter, hoogte verschil max 5 meter.
- o Bebording verboden te parkeren ivm bluswatervoorziening brandweer.

De locatie van de opstelplaats is weergegeven in figuur 1. Voor de opstelplaats wordt gebruik gemaakt van een reeds aanwezige voorziening (zie figuur 2).

**Figuur 1 Mogelijke locatie opstelplaats brandweer t.b.v. bluswatervoorziening transformatorstation**





**Figuur 2 Foto situatie Breezanddijk**



De lengte van de aanzuigleiding is afhankelijk van de locatie van de opstelplaats. Dit zal naar verwachting enkele meters zijn. De leiding moet luchtdicht zijn. De diameter van de aanzuigleiding is circa 100 – 120 mm. De aanzuigleiding zal in de kering (onder de zetsteen) geplaatst worden.

Technische specificaties van de aanzuigleiding en koppeling, de uitvoering van de opstelplaats en bebording etc. worden in een later stadium nader uitgewerkt. Drie maanden voor aanvang van de bouwwerkzaamheden van het transformatorstation wordt het ontwerp van de bluswatervoorziening voorgelegd aan Rijkswaterstaat. In het veiligheidsplan (zie aanvraag 14 juli j.l.) dat tevens 3 maanden van tevoren wordt aangeleverd, zal ook aandacht worden besteed aan brand en bluswatervoorzieningen.

Wij vertrouwen erop u hiermee voldoende geïnformeerd te hebben. In geval van inhoudelijke vragen of onduidelijkheden kunt u contact op nemen met onze adviseur, de heer M. ten Klooster van Pondera Consult.

Namens Windpark Fryslân B.V.

Met vriendelijke groet,



Dhr. J.F.W. Rijntalder  
Directeur Pondera Consult

Aanvulling waterwetvergunning

14-01-2016



Rijkswaterstaat Midden Nederland  
T.a.v. dhr. M. Van der Velde  
Postbus 24094  
3502 MB UTRECHT

Betreft : Aanvulling aanvraag Waterwet Windpark Fryslân  
Datum : 14 januari 2016  
Bijlagen : 0  
Kenmerk : 709026/MTK/WW/03  
Uw kenmerk : RWS-2015/31477

Geachte heer Van der Velde,

Op 14 juli 2015 heeft Windpark Fryslân b.v. een aanvraag ingediend voor een waterwetvergunning (RWS-2015/31477) voor de realisatie van Windpark Fryslân, inclusief de realisatie van een transformatorstation en bijbehorende infrastructuur. Middels deze aanvulling wordt een tweetal aanpassingen uitgevoerd.

Voor het windpark is een omgevingsvergunning aangevraagd bij de gemeente Súdwest. Het bouwplan is tevens beoordeeld in het kader van welstand door de Commissie Hûs en Hiem. Naar aanleiding van dit advies is een aanpassing uitgevoerd. Dit betreft:

- Het vervallen fundatieprincipe 'Pentagon'.

Daarnaast is een aanvraag ingediend voor een vergunning in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998. In het kader van deze aanvraag is in overleg met de Provincie Fryslân is een aanpassing doorgevoerd. Dit betreft:

- Het wijzigen van de tiplaagte van de windturbines.

Graag wijzigen wij de aanvraag om de waterwetvergunning hierop dan ook aan.

#### *Fundatieprincipe 'Pentagon'*

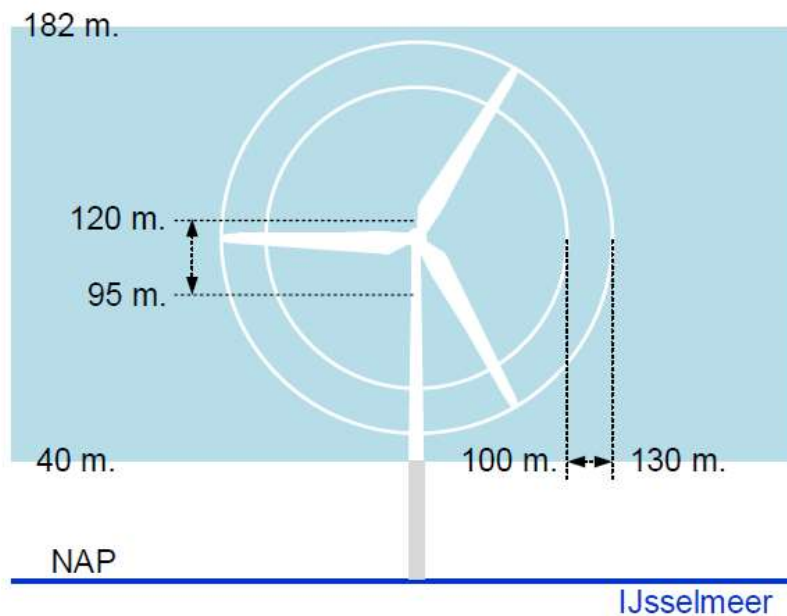
Het fundatieprincipe 'Pentagon' (zie figuur 3.6 in bijlage 1 van de aanvraag) is komen te vervallen. Dit betekent dat de tekstdelen over de Pentagonfundatie op pagina 24 uit bijlage 1 van de aanvraag komen te vervallen en dat uit bijlage 3C van de oorspronkelijke aanvraag de tekeningen 'Aanzicht Pentagon' en 'Pentagon en WTG' (tekeningnummers B3-01 en B3-02) komen te vervallen.

#### *Tiplaagte windturbines*

De initiatiefnemer hecht eraan rekening te houden met de bestaande belangen op de locatie van het windpark. Zo ook ten aanzien van ecologie. Op basis van nadere onderzoek komt naar voren dat visdieven en zwarte sterns met name laag boven het water vliegen. Door de vrije ruimte tussen het wateroppervlak en de onderzijde van de tip te verhogen kunnen effecten op deze soorten verder worden beperkt. Om die reden is besloten de tiplaagte te wijzigen van minimaal 30 meter boven NAP naar minimaal 40 meter boven NAP. Dit heeft tevens een positieve uitwerking op de recreatievaart, aangezien de rotoren van de windturbines hoger boven de scheepsmasten draaien en derhalve de kans op contact tussen rotor en mast (voor die enkele schepen op het IJsselmeer met een dergelijke hoge mast) verder wordt verkleind. In figuur 1 is een schematische weergave te zien van de minimale en maximale windturbine-afmetingen incl. de 40 meter tiplaagte.

De wijziging van de tiplaagte heeft geen invloed op de turbine-afmetingen.

**Figuur 1 Afmetingen windturbines (incl. minimale tiplaagte en maximale tiphoogte)**



Wij vertrouwen erop u hiermee voldoende geïnformeerd te hebben. In geval van inhoudelijke vragen of onduidelijkheden kunt u contact op nemen met onze adviseur, de heer M. ten Klooster van Pondera Consult.

Namens Windpark Fryslân B.V.

Met vriendelijke groet,

Dhr. J.F.W. Rijntalder  
Directeur Pondera Consult