

# UITBREIDING HAVEN HEIJEN

Geotechnisch advies

Teunesen Zand en Grint b.v.

1 MAART 2019



## Contactpersonen

**RIMMER KOOPMANS**  
geotechnisch adviseur

T +31 6 2706 0177  
E rimmer.koopmans@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland

---

**STEF ENGELS**  
Junior specialist  
geotechniek/waterkeringen

T +31611072593  
E stef.engels@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 56825  
1040 AV Amsterdam  
Nederland

---

# INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>7</b>
1.1	Aanleiding	7
1.2	Planvoornemen	7
1.3	Voorliggend onderzoek	9
1.4	Leeswijzer	9
<b>2</b>	<b>ALTERNATIEVEN EN VARIANTEN</b>	<b>10</b>
2.1	Algemeen	10
2.2	Nulalternatief	11
2.3	Alternatief 1 'bedrijven met groene geul'	12
2.4	Alternatief 2 'bedrijven met haven'	13
2.5	Alternatief 3 'bedrijven langs de Maas'	14
2.6	Varianten	15
2.7	Geotechniek in relatie tot alternatieven en varianten	15
<b>3</b>	<b>UITGANGSPUNTEN</b>	<b>17</b>
3.1	Maaiveldhoogte en grondwater	17
3.2	Grondcondities	17
3.3	Bestaande infrastructuur	18
3.4	Grondparameters	19
3.4.1	Karakteristieke grondparameters	19
3.4.2	Rekenwaardes grondparameters NEN 1997-1	20
3.4.3	Rekenwaardes grondparameters OI2014 CSSM	20
3.4.4	Grondparameters voor piping berekening	21
3.5	Berekeningen en software	21
3.6	Hydraulische randvoorwaarden	22
3.6.1	Hydraulische randvoorwaarden Profiel van vrije ruimte voor ondergrens	22
3.6.2	Hydraulische randvoorwaarden Profiel van vrije ruimte signaleringswaarde	23
3.7	Veiligheidseis macrostabiliteit	23
3.7.1	Waterkering	23
3.7.2	Oevers haven	24

3.8	Veiligheidseis piping	24
<b>4</b>	<b>RELATIE TOT DE MER</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>ZETTINGSBEREKENING</b>	<b>27</b>
5.1	Inleiding	27
5.2	Doorsnedeprofielen	27
5.3	Resultaten zettingsberekening	29
5.3.1	Kenmerkende zetting hele gebied	29
5.3.2	Zetting doorsnede 1	29
5.3.3	Zetting doorsnede 2	29
5.3.4	Overweging zetting	30
5.4	Conclusie zetting	30
<b>6</b>	<b>TALUDSTABILITEIT ANALYSE</b>	<b>31</b>
6.1	Inleiding	31
6.2	Stabiliteitseis en uitvoeringseis	31
6.3	Belastingssituaties	31
6.4	Taludsstabiliteitsanalyse voor haventaluds	31
6.5	Conclusie macrostabiliteit	33
<b>7</b>	<b>TALUDBESCHERMING</b>	<b>34</b>
7.1	Inleiding	34
7.2	Golfslag	34
7.2.1	Golfslag door wind	34
7.2.2	Golfslag door schepen	34
7.3	Schroefwerking van schepen	35
7.4	Conclusie taludbescherming	35
<b>8</b>	<b>STABILITEIT STROOM GELEIDENDE OEVER</b>	<b>36</b>
<b>9</b>	<b>PROFIEL VAN VRIJE RUIMTE WATERKERING</b>	<b>37</b>
9.1	Inleiding	37
9.2	Huidig dijkprofiel	37
9.2.1	Ophoging bij bestaande waterkering (2125)	37
9.3	Dijkprofiel voor zichtjaar 2125	38
9.4	Macrostabiliteit	38
9.5	Piping	39
9.6	Bebouwing	40

<b>10 MEERPALEN</b>	<b>41</b>
10.1 Inleiding	41
10.2 Belastingen	41
10.3 Dimensionering op basis van vuistregels	41
10.4 Conclusie meerpalen	42
<b>11 VARIANT HOOGTE BEDRIJVENTERREIN</b>	<b>43</b>
<b>12 VARIANT DAMWANDEN</b>	<b>44</b>
12.1 Inleiding	44
12.2 Voorontwerp op basis van vuistregels	44
12.3 Damwand ontwerp met D-Sheet Piling	45
12.4 Constructiefases	47
12.5 Conclusie damwandconstructie	47
<b>13 EFFECTEN, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>48</b>
<b>14 VOORKEURSALTERNATIEF</b>	<b>49</b>
14.1 Alternatievenafweging in milieueffectrapportage	49
14.2 Planbeschrijving	50
14.2.1 Beschrijving van de uitbreiding	50
14.2.2 Type bedrijvigheid	52
14.2.3 Ontsluiting	52
14.2.4 Hoogwaterbescherming	52
14.2.5 Natuur- en landschapsontwikkeling	52
14.3 Geotechnische aspecten voorkeursalternatief	53
<b>15 REFERENTIES</b>	<b>54</b>

## **BIJLAGEN**

BIJLAGE A SONDERINGEN	55
BIJLAGE B ZETTINGSBEREKENINGEN	57
BIJLAGE C TALUD STABILITEIT ORIGINEEL ONTWERP	63
BIJLAGE D TALUD STABILITEIT NATUURVRIENDELIJKE OEVER	71
BIJLAGE E TALUD STABILITEIT PROFIEL VAN VRIJE RUIMTE	72
BIJLAGE F BEREKENINGEN TEN BEHOEVE VAN TALUDBESCHERMING	74

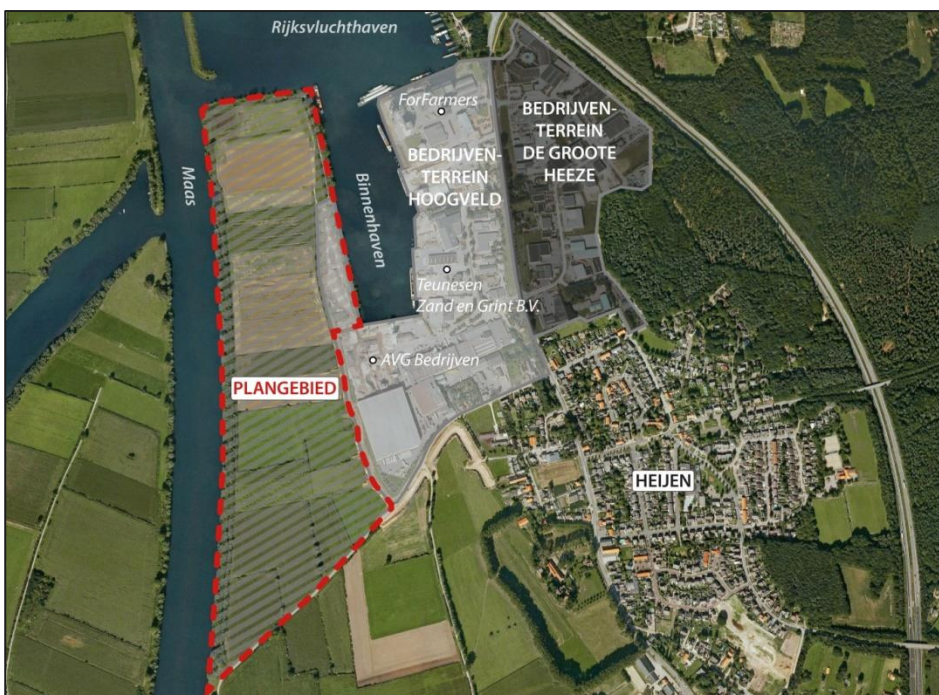
<b>COLOFON</b>	<b>76</b>
----------------	-----------



## 1 INLEIDING

### 1.1 Aanleiding

Ten zuiden van de kern Gennep en ten noordwesten van de kern Heijen in de Gemeente Gennep ligt de huidige binnenhaven Heijen die onderdeel is van het bedrijventerrein Hoogveld (zie Figuur 1). Bedrijventerrein Hoogveld is een modern gemengd terrein van circa 27,7 ha met een kadeflengte van in totaal ruim 900 meter. Op het terrein zijn enkele bedrijven gevestigd waaronder AVG Bedrijven (verder te noemen AVG), Teunesen Zand en Grind B.V. (verder te noemen Teunesen) en ForFarmers. Deze bedrijven met ieder een eigen kade maken gebruik van de faciliteiten van de binnenhaven. AVG is daarbij actief op het gebied van beton en bouwstoffen alsmede recycling en afvalstoffen, Teunesen is actief op het gebied van de winning, opwaardering en handel in bouwgrondstoffen (o.a. zand en grind) en ForFarmers is actief op het gebied van veevoer. Daarnaast wordt de haven ook door derden gebruikt.



Figuur 1: Bedrijventerrein Hoogveld inclusief de begrenzing van het plangebied

Gelet op de toenemende vraag naar watergebonden bedrijventerrein (per schip te bereiken) met bijbehorende overslagmogelijkheden bestaat er bij AVG en Teunesen (verder te noemen de initiatiefnemers) behoefte aan uitbreiding van Haven Heijen cq nieuw bedrijventerrein voor watergebonden bedrijvigheid (zie het plangebied in Figuur 1).

Om de uitbreiding van Haven Heijen door middel van nieuw watergebonden bedrijventerrein mogelijk te maken, dient een nieuw bestemmingsplan opgesteld te worden en dienen verschillende vergunningen (waaronder mogelijk een ontgrondingsvergunning) aangevraagd te worden. Vanwege de aard en omvang van de voorgenomen activiteiten in het gebied en de mogelijke gevolgen ervan voor de omgeving, is het volgens de Wet milieubeheer (Wm) wettelijk verplicht om, gekoppeld aan de besluitvorming over het bestemmingsplan en de mogelijke ontgrondingsvergunning, een milieueffectrapportage (m.e.r.) uit te voeren.

### 1.2 Planvoornemen

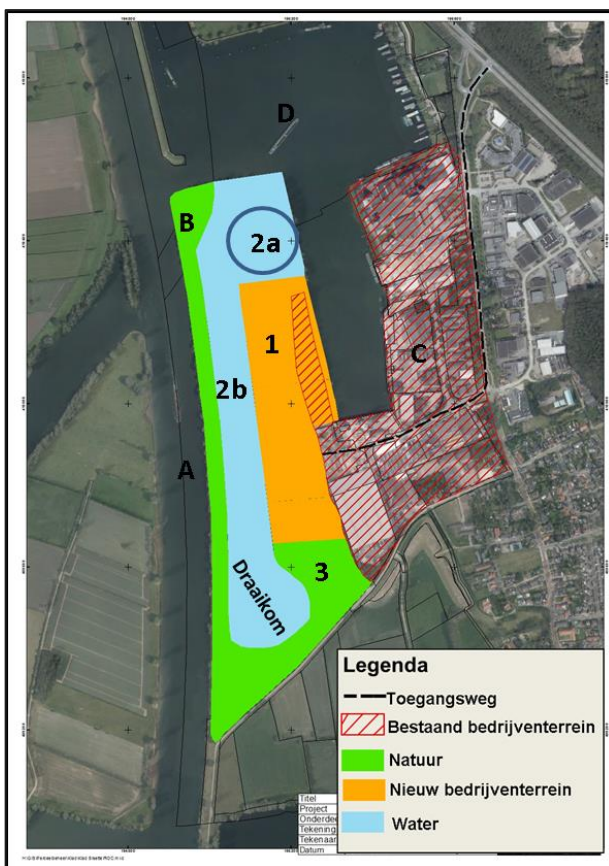
Het planvoornemen bestaat uit de volgende onderdelen (zie Figuur 2):

1. Realiseren van een watergebonden overslaglocatie / bedrijventerrein met een omvang van minimaal 12 hectare bruto en een kadeflengte van minimaal 1.100 meter (een mix van groene kade en damwand, nummer 1 in Figuur 2);

2. Graven van een toegangsgemaal en draaikom inclusief een onderwaterdepot voor delfstoffen (nummers 2a en 2b in Figuur 2). Dit gebied is in totaal 14,7 hectare groot.
 

2a: Het onderwaterdepot is nodig om als er grotere hoeveelheden grondstoffen (grind) aangeboden worden dan er ter plekke verwerkt kunnen worden of vermarkt kunnen worden, deze toch kunnen worden geaccepteerd. Deze kunnen dan later weer uit depot gehaald worden om alsnog verwerkt of vermarkt te worden. Naar verwachting wordt er circa 5x per jaar materiaal in het depot gestort en wordt het depot circa 2x per jaar geleegd. Storten vindt plaats middels onderlossers dan wel met een kraan op een ponton. Het weer ophalen van de gestorte delfstoffen vindt plaats met behulp van een zuiger of een kraan. Het depot heeft een omvang van circa 3 hectare.

2b: De toegangsgemaal is toegankelijk voor schepen van klasse Vb, heeft een vaarbreedte van circa 66 meter en is in totaal circa 90 m breed en exclusief draaikom circa 630 m lang. De toegangsgemaal is 6 meter diep. De nieuw te graven toegangsgemaal krijgt tevens een functie ten behoeve van hoogwaterbescherming (meekoppelkams);
3. Realiseren van watergebonden natuur (nummer 3 in Figuur 2). Dit gebied is circa 11,9 hectare groot.



**Verklaring Symbolen:**

- A: De Maas
- B: Natuurvriendelijke oever Rijkswaterstaat
- C: Bestaand bedrijventerrein Hoogveld
- D: Rijksvluchthaven
- 1: Nieuw bedrijventerrein
- 2a: Toegangsgemaal gedeelte onderwaterdepot
- 2b: Toegangsgemaal gedeelte insteekhaven
- 3: Watergebonden natuur

Figuur 2 Planvoornemen uitbreiding Haven Heijen



### 1.3 Voorliggend onderzoek

Wanneer het planvoornemen wordt uitgevoerd zal het gebied een andere indeling krijgen. In dit geotechnische advies wordt gekeken hoe de toekomstige werkzaamheden de omgeving beïnvloeden. Ten eerste wordt een deel van het terrein opgehoogd en zal dit zorgen voor enige zettingen in de ondergrond. Het doel van deze ophoging is het creëren van een havengebied. Hierdoor zullen er nieuwe taluds moeten worden ontworpen tussen de overgang van het haventerrein naar het water. Door het graven van een toegangseul zal een smallere oever ontstaan tussen deze eul en de Maas (dit geldt met name voor alternatief 2, zie Hoofdstuk 2). In het ontwerp van deze smalle oever zal de erosiebestendige huid gewaarborgd moeten worden.

Verder vinden de toekomstige werkzaamheden plaats bij een waterkering. Er zal nagegaan moeten worden wat voor effecten de werkzaamheden zullen hebben op de bestaande waterkering. Verder wordt er gekeken naar het profiel van vrije ruimte van de waterkering in de toekomst.

Op basis van de beschikbare grondonderzoeken zal een geotechnisch advies worden uitgebracht betreffende de opgesomde aandachtspunten. Deze informatie bestaat uit (>100) boringen [ref 1] en uit twee sonderingen. Bij dit geotechnische advies worden ontwerpaspecten en te verwachte zettingen in de ondergrond belicht.

### 1.4 Leeswijzer

Allereerst zijn in Hoofdstuk 2 de verschillende alternatieven en varianten toegelicht die zijn beschouwd binnen de MER.

In Hoofdstuk 3 worden de geotechnische uitgangspunten ten aanzien van bodemopbouw, waterstanden en geotechnische parameters beschreven. Ook wordt in dit hoofdstuk toegelicht welke berekeningsmethodes en programma's zijn toegepast.

In Hoofdstuk 4 is de relatie van de rapportage tot de alternatieven die zijn bedacht in het MER uiteengezet. Dit bevat een overzicht met relevante aspecten voor verschillende alternatieven.

Hoofdstuk 5 bevat berekeningen die gaan over de te verwachte zettingen als gevolg van de geplande werkzaamheden. In dit hoofdstuk is ook een indicatie gegeven voor de te verwachte secundaire zetting (kruip).

In Hoofdstuk 6 wordt gekeken naar de taludstabiliteit rond de uitbreiding van de haven. Eerst wordt het aangeleverde ontwerp getoetst en vervolgens worden alternatieve ontwerpen aangeboden die aan de veiligheidseis voldoen.

Hoofdstuk 7 bevat een ontwerp voor de taludbescherming. De hydraulische belastingen op het talud worden inzichtelijk gemaakt en op basis hiervan wordt een bepaalde erosiebestendigheid/bestorting voorgesteld.

Hoofdstuk 8 beschouwt de stabiliteit van de natuurvriendelijke oever tussen de havengeul en de Maas (met name voor alternatief 1 en 2).

In Hoofdstuk 9 wordt het profiel van vrije ruimte van de waterkering beschouwd. De toekomstige waterkering is tevens beoordeeld op macrostabiliteit binnenwaarts en piping.

Hoofdstuk 10 bevat een indicatieve berekening van de dimensionering van de meerpalen.

In Hoofdstuk 11 is een effect beschrijving toegevoegd wanneer voor de variant hoogte bedrijventerrein wordt gekozen.

Hoofdstuk 12 bevat een indicatieve berekening (met het programma DSheet-piling) van de damwanden die kunnen worden toegepast in de haven.

Tot slot zijn in Hoofdstuk 13 de effecten conclusies en aanbevelingen opgesomd van deze geotechnische analyse en worden in hoofdstuk 14 geotechnische aspecten van het VKA gepresenteerd.

## 2 ALTERNATIEVEN EN VARIANTEN

### 2.1 Algemeen

Een milieueffectrapportage is een onderzoek waarin de milieugevolgen van een voorgenomen activiteit, ofwel het planvoornemen inzichtelijk worden gemaakt. Dat gebeurt aan de hand van één of meerdere alternatieven die qua milieuaspecten zodanig in verhouding tot het planvoornemen zijn gekozen dat een reële bandbreedte in de milieugevolgen inzichtelijk wordt gemaakt. Onder andere op basis van de effectvergelijking van de alternatieven kan uiteindelijk een voorkeursalternatief worden gekozen.

In het MER worden naast een nulalternatief, drie alternatieven beschouwd die onderstaand nader worden beschreven, namelijk:

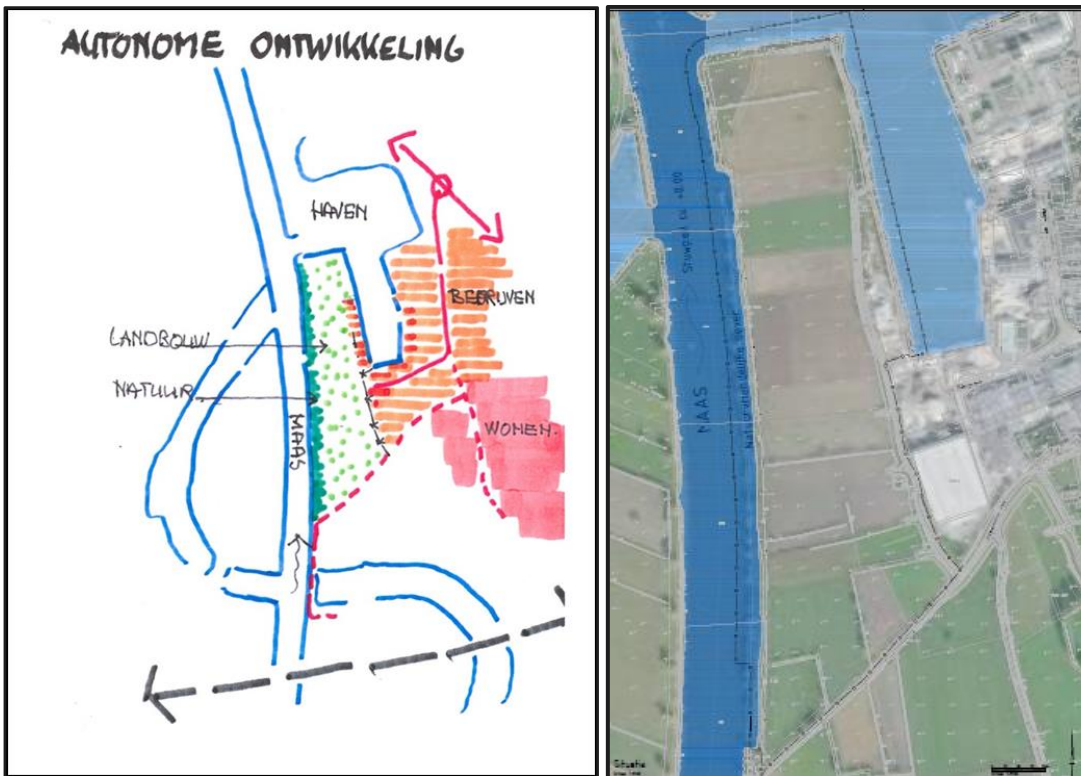
- Nulalternatief;
- Alternatief 1 'bedrijven met groene geul';
- Alternatief 2 'bedrijven met haven';
- Alternatief 3 'bedrijven langs de Maas'.

Naast deze alternatieven worden in het MER ook enkele varianten onderzocht. Deze varianten hebben betrekking op een onderdeel van het plan en zijn daarmee een beperkte variatie op een alternatief. Deze varianten zijn in paragraaf 2.6 beschreven.

In het MER worden de milieueffecten van de uitbreiding van Haven Heijen aan de hand van deze alternatieven en varianten beschreven en beoordeeld. Het gaat hierbij niet alleen om de negatieve effecten; ook positieve effecten worden beschreven. De effectbeschrijving richt zich vooral op de voor besluitvorming relevante milieuaspecten.

## 2.2 Nulalternatief

Het nulalternatief vormt de referentiesituatie voor de effectvergelijking. In het nulalternatief vindt namelijk de realisering van de voorgenomen activiteiten niet plaats (zie Figuur 3). Het gebied zal zich autonoom ontwikkelen. De gronden in het plangebied blijven in dit alternatief grotendeels in gebruik voor landbouw met daarnaast beperkt natuur.



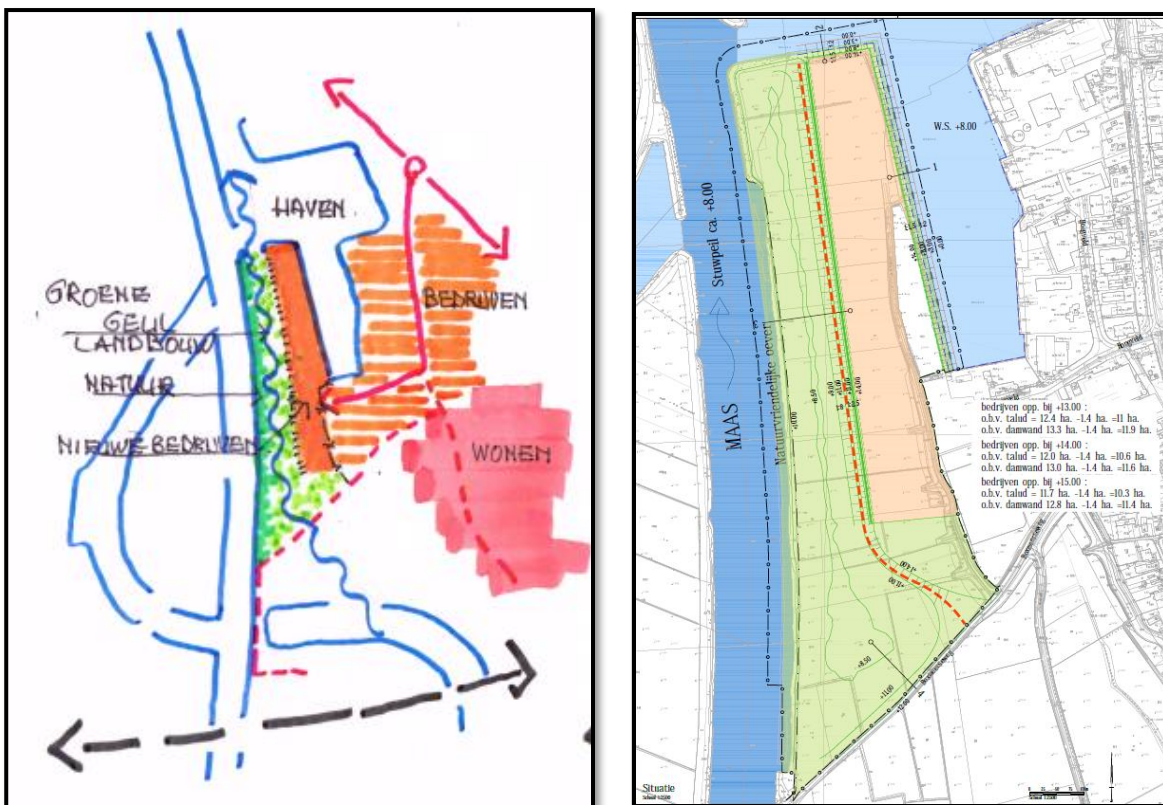
Figuur 3 Nulalternatief

### 2.3 Alternatief 1 'bedrijven met groene geul'

In dit alternatief wordt parallel aan de Maas een groene, natuurlijk ogende hoogwatergeul gerealiseerd. Grenzend aan deze groene geul wordt een nieuw bedrijventerrein gerealiseerd. Dit nieuwe bedrijventerrein bestaat voor een deel uit watergebonden bedrijvigheid die aan de havenarm is gelegen. De groene geul is niet bevaarbaar voor schepen en er is ook geen kade aan deze zijde van het bedrijventerrein. Het nieuwe bedrijventerrein is dan ook eenzijdig (aan de oostkant) voorzien van een loskade. In totaal wordt in dit alternatief 10,6 hectare nieuw bedrijventerrein gerealiseerd (de breedte van het nieuwe bedrijventerrein is circa 140 meter) met een kadeflengte van circa 600 meter. In dit alternatief is, in tegenstelling tot de alternatieven 2 en 3, geen sprake van een onderwateropslag.

Een deel van het gebied is in de toekomst geschikt voor aangepast landbouwkundig gebruik (beheerslandbouw). Daarnaast is sprake van een optimale landschappelijke inpassing door de realisatie van de groene geul met natuur.

Voor wat betreft de milieuaspecten en –effecten is in dit alternatief het accent ten opzichte van het planvoornemen wat meer op natuur gelegd. Watergebonden natuur is immers één van de doelstellingen van het planvoornemen.

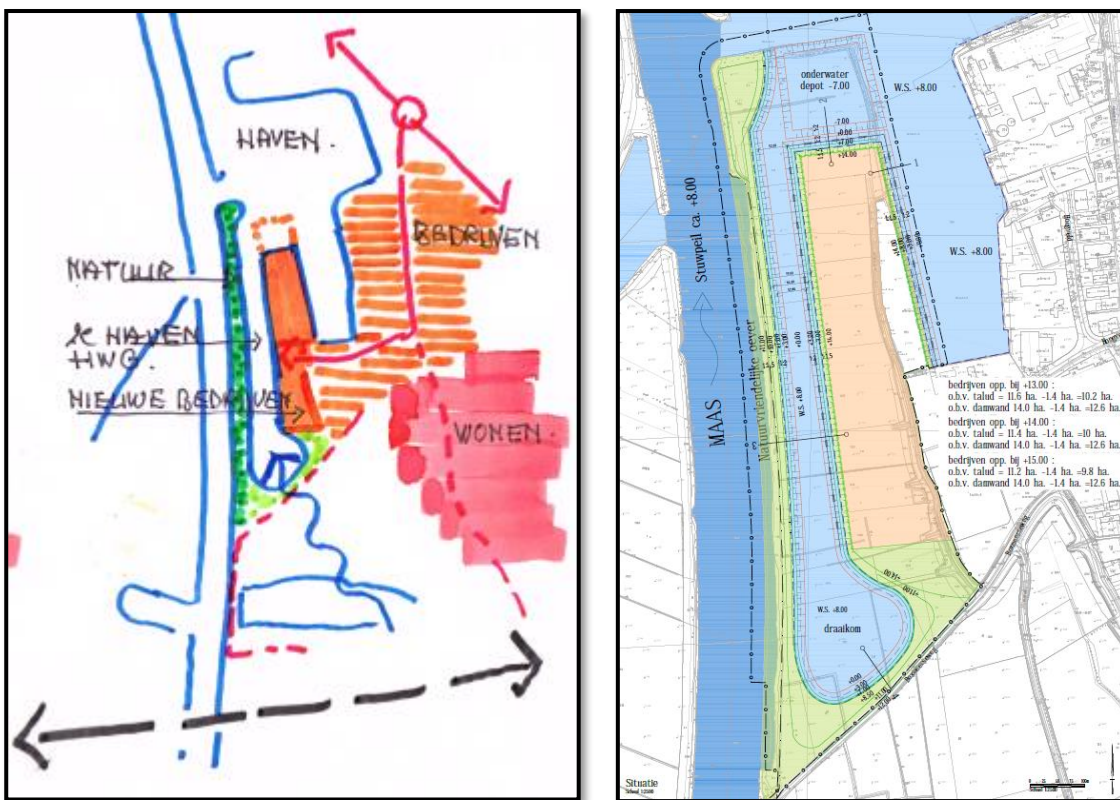


Figuur 4 Alternatief 1 'bedrijven met groene geul'

## 2.4 Alternatief 2 'bedrijven met haven'

Dit alternatief betreft in essentie het planvoornemen. In tegenstelling tot het vorige alternatief (alternatief 1) wordt in dit alternatief geen groene geul parallel aan de Maas gerealiseerd maar een nieuwe toegangsheul. De toegangsheul is toegankelijk voor schepen van klasse Vb, heeft een vaarbreedte van minimaal 52 en maximaal 75 meter en is in totaal minimaal 77 en maximaal 100 m breed en exclusief draaikom circa 720 m lang. De toegangsheul is 5 meter diep met daaronder 3 meter sedimentatieruimte. De groene zone tussen de Maas en de nieuwe toegangsheul zorgt voor een landschappelijke inpassing door de natuurlijke inrichting. Grenzend aan de nieuwe havenarm wordt een nieuw bedrijventerrein gerealiseerd dat volledig havengerelateerd is. Dit bedrijventerrein heeft een oppervlakte van 10 hectare (de breedte van het nieuwe bedrijventerrein is circa 140 - 180 meter) en een kadefengte van circa 1.350 meter. Ten noorden van het nieuwe bedrijventerrein wordt een onderwateropslag gerealiseerd met een omvang van circa 3 ha. In het meest zuidelijke deel van de nieuwe havenarm wordt een draaikom gerealiseerd met een oppervlakte van circa 4,5 ha zodat schepen kunnen draaien.

In dit alternatief, dat in essentie het planvoornemen betreft, komen de milieuaspecten en -effecten op het gebied van natuur, watergebonden bedrijvigheid en hoogwaterbeveiliging zonder specifieke accentlegging voor. Daarmee komen alle drie de doelstellingen van het planvoornemen aan de orde.



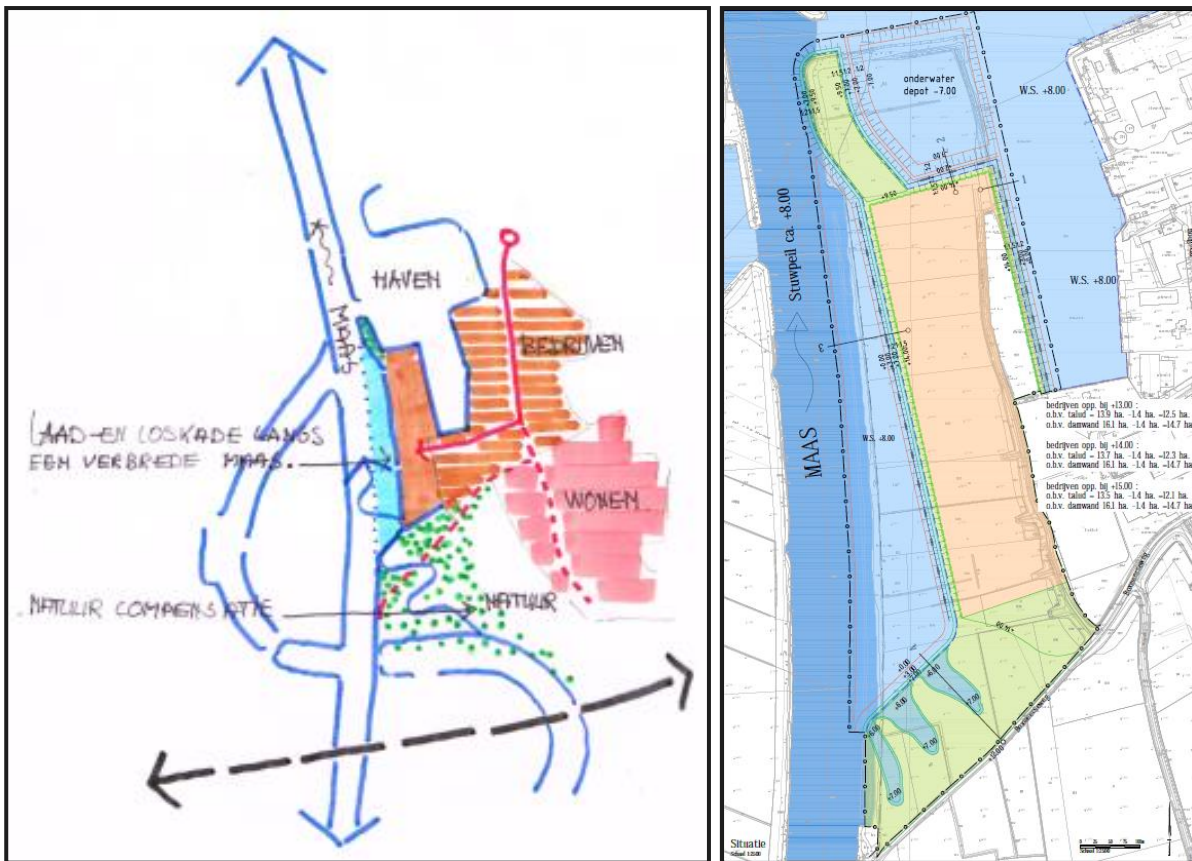
Figuur 5 Alternatief 2 'bedrijven met haven'



## 2.5 Alternatief 3 ‘bedrijven langs de Maas’

In dit alternatief staat het nieuwe watergebonden bedrijventerrein direct in verbinding met de Maas. De bestaande natuurvriendelijke oever wordt hierbij verwijderd en er wordt een uitkassing in de Maas gemaakt. Wel is er nog sprake van een dam tussen de bestaande binnenvaart en de Maas. Het nieuwe watergebonden bedrijventerrein is, net als de Maas, toegankelijk voor schepen van klasse Vb. Het nieuwe bedrijventerrein heeft een oppervlakte van 12,3 ha (de breedte van het nieuwe bedrijventerrein is circa 180 à 210 meter) en een kadeflengte van circa 1.250 meter. De bedoelde onderwaterslag is, net zoals bij het voorgaande alternatief (alternatief 2), voorzien ten noorden van het nieuwe bedrijventerrein en heeft een omvang van circa 4,5 ha. Ten zuiden van het plangebied wordt nieuwe natuur gerealiseerd ter compensatie van de natuur die verdwijnt door planrealisatie (onder andere de natuurvriendelijke oever langs de Maas). Ook blijft de natuur aan de noordzijde van de dam tussen de bestaande binnenvaart en de Maas in beperkte mate behouden.

Voor wat betreft de milieuaspecten en –effecten is in dit alternatief het accent ten opzichte van het planvoornemen wat meer op bedrijvigheid en hoogwaterbescherming, twee van de drie doelstellingen van het planvoornemen gelegd.



Figuur 6 Alternatief 3 ‘bedrijven langs de Maas’



## 2.6 Varianten

Naast de in de vorige paragraaf beschreven alternatieven, worden in het MER de volgende varianten onderzocht:

- Hoogte bedrijventerrein: de alternatieven gaan uit van een bedrijventerrein met een hoogte van 14 m +NAP. Daarnaast zal een variant worden onderzocht waarbij het bedrijventerrein een hoogte van 14,90 à 15,00 m + NAP heeft. Deze hoogte is gebaseerd op toekomstige dijkverhogingen vanwege klimaatveranderingen en de aanpassingen van de normen door het waterschap voor de hoogte van de waterkeringen. In de huidige situatie heeft de waterkering een kruinhoogte van 14,25 à 14,50 m + NAP.
- Aard van de loswal/kade: in de alternatieven wordt een loswal gerealiseerd met een talud en meerpalen. Daarnaast wordt een variant onderzocht waarbij de loswal wordt gerealiseerd met behulp van een combinatie van damwand, meerpalen en groene kaden.
- Maximalisering waterstandsdeling Maas: voor de alternatieven zal een variant worden onderzocht (door optimalisatie van de te onderzoeken alternatieven aan de voorkant) waarbij de effecten op de waterstandsdeling op de Maas wordt vergroot en daarmee de bijdrage aan het Deltaprogramma. Dit betekent dat een optimalisatie wordt gezocht tussen de diepte van de geul en de begroeiing/het beheer in de eindsituatie.
- Fasering: voor de alternatieven wordt een variant onderzocht waarbij de fasering dusdanig wordt aangepast ter bespoediging van het nieuwe bedrijventerrein zodat de economische activiteiten zo snel mogelijk ontplooid kunnen worden. Hierbij wordt in eerste instantie de kade aan de zijde van de bestaande haven gerealiseerd en vervolgens pas aan de zijde van de Maas.
- Bebouwingspercentage: de hoeveelheid bebouwing van het nieuwe watergebonden bedrijventerrein is afhankelijk van het type bedrijvigheid dat zich op het bedrijventerrein zal vestigen. Daarom worden twee varianten onderzocht met betrekking tot bebouwingspercentage. In de ene variant is het bebouwingspercentage 75% en bij de andere variant 40%.

## 2.7 Geotechniek in relatie tot alternatieven en varianten

In het voorliggende rapport worden de geotechnische consequenties van de alternatieven en varianten in beeld gebracht. Voor wat betreft de drie alternatieven uit het MER gaat het dan om de aspecten:

- Zettingen;
- Taludstabiliteit;
- Taludbescherming;
- Stabiliteit stroomgeleidende oever;
- Profiel van vrije ruimte met betrekking tot waterkering.

Voor wat betreft de vijf varianten zijn alleen de varianten “Hoogte Bedrijventerrein” en “Aard van de loswal/kade” geotechnisch van belang. De variant “Maximalisering waterstandsdeling Maas” betreft een hydraulische variant, de variant “Fasering” gaat over de versnelling van de operationalisering van de haven en de variant “Bebouwingspercentage” gaat over de invulling van het bedrijventerrein. Deze drie varianten zijn daarom geotechnisch gezien niet van belang.

Vanuit geotechnisch perspectief is nog van belang de aanleg van de onderwateropslag (onderwaterdepot) in de alternatieven 2 en 3. Vanwege de dieper gelegen bodem van het onderwaterdepot dan de vaargeulen is er een mogelijke invloed op de geotechnische stabiliteit van naastgelegen taluds. In de analyses zal dit worden meegenomen. Het gaat hierbij gelet op de afstand alleen om de taluds van het nieuwe bedrijventerrein en niet om de taluds van de waterkering.

Ter toelichting is het onderwaterdepot overigens nodig wanneer er grotere hoeveelheden schone grondstoffen (grind) aangeboden worden dan er ter plekke verwerkt kunnen worden of vermarkt kunnen worden, deze toch kunnen worden geaccepteerd. Deze kunnen dan later weer uit depot gehaald worden om alsnog verwerkt of vermarkt te worden. Naar verwachting wordt er circa 5x per jaar materiaal in het depot gestort en wordt het depot circa 2x per jaar geleegd. Storten vindt plaats middels onderlossers danwel met een kraan op een ponton. Het weer ophalen van de gestorte delfstoffen vindt plaats met behulp van een zuiger of een kraan. Het depot heeft een omvang van circa 3 hectare in alternatief 2 en circa 4,5 hectare in alternatief 3.

Ten slotte wordt er voor wat betreft de uitvoeringssituatie vanuit gegaan dat er een fasering wordt toegepast waarbij werk met werk wordt gemaakt. De verwachting is hierbij dat de situatie tijdens de uitvoering in combinatie met lagere eisen niet maatgevend is ten opzichte van de eindsituatie.

## 3 UITGANGSPUNTEN

### 3.1 Maaiveldhoogte en grondwater

In de huidige situatie bevindt zich een grotendeels braakliggend terrein (en opslagterrein van beperkte omvang) tussen de Maas en de huidige haven aan het industrieterrein. De maaiveldhoogte van dit terrein is ongeveer NAP +11 m. In het ontwerp dient het bedrijventerrein, dat komt te liggen aan de nieuwe kade, opgehoogd te worden naar NAP +14 m. Praktisch gezien is het terrein bij deze hoogte "hoogwater vrij". Voor de grondwaterstand wordt het stuwpeil van de Maas aangehouden. Het stuwpeil van de Maas ligt op een hoogte van NAP +8 m.

### 3.2 Grondcondities

#### Haventerrein

In het grootste gedeelte van het gebied dat wordt opgehoogd bevindt zich een toplaag van klei die varieert in dikte tussen de 50 cm en 2 m. Het type klei dat wordt aangetroffen in de toplaag varieert van sterk zandig tot zwak siltig. Het grootste gedeelte van de klei bevindt zich boven de grondwaterstand en is uitgedroogd. Zeer lokaal bevindt zich een diepere kleilaag die door een laag zand (+/- 1 m) wordt bedekt. Aan de kade waar het nieuwe hoogwater vrije bedrijventerrein grenst aan het bestaande bedrijventerrein is een dikke kleilaag aanwezig onder een toplaag van ongeveer 1 m tot 1,5 m zand. De dikte van de diepere kleilaag kan oplopen tot ongeveer 3 m. Onder deze kleilaag wordt de boring gestuit en daarvoor wordt verwacht dat zich hieronder een sterke grindhoudende zandlaag bevindt.

Uit de beschikbare (>100) boringen [ref 1] is een vrijwel volledig beeld verkregen van de eerste 2 m onder maaiveld. Wanneer de dikte van de bovenste kleilaag wordt geanalyseerd kan worden geconstateerd dat de gemiddelde dikte van de kleilaag 1,2 m bedraagt. Voor zettingsberekeningen wordt uitgegaan van de gemiddelde dikte van 1,2 m klei. Voor stabiliteitsberekeningen wordt gekozen om een veilige dikte van 1,5 m klei aan te houden.

Het bestaande maaiveld zal worden opgehoogd met zand. In de berekeningen is uit gegaan van verdicht zand met een karakteristieke wrijvingshoek van  $\varphi' = 32^\circ$ .

In het ontwerp bestemmingsplan en in de aanvraag voor de waterwetvergunning zal gedetailleerd worden teruggekomen op de heersende beschermingszone, de benodigde kwelweglengte in verband met piping en de noodzaak voor maatregelen in dat kader om de waterkering ook naar de toekomst toe robuust te laten zijn.

#### Dijk

Aan de rand van het plangebied ligt aan de oostzijde een primaire waterkering (zie Figuur 7). Op het tracé van deze waterkeringen zijn twee sonderingen in de kruin uitgevoerd door derden. Ten aanzien van de bodemopbouw bij de dijk zijn deze twee sonderingen gebruikt. Dit zijn de sonderingen S46D0034 en S46D0930 en deze zijn toegevoegd in de bijlage. Voor stabiliteitsanalyses van de toekomstige dijk wordt gekeken naar de maatgevende bodemopbouw. In de maatgevende sondering is een kleilaag aangetroffen tussen NAP +14 m en NAP +11,5 m. Een dunnere kleilaag is aanwezig tussen NAP +10,5 en NAP +9,8 m. Met uitzondering van deze twee kleilagen is de bodem zandig en grindhoudend.

Voor wat betreft de kern van de dijk verschillen de twee sonderingen beperkt. In de ene sondering overheerst de aanwezigheid van zand. In de andere sondering is het beeld diffuser en komt ook klei voor. Aangezien de dwarsdoorsnede met iets meer klei voor wat betreft het aspect macrostabiliteit beperkt ongunstiger uitpakt dan in het geval van een zandige kern, is voor de analyse gekozen voor een kleiige kern.



Figuur 7: Overzicht dijktracé en sonderingen

### 3.3 Bestaande infrastructuur

Over het terrein dat opgehoogd dient te worden loopt een weg genaamd “De Witte Steen”. Deze weg loopt over oostkant van het op te hogen gebied en vormt tevens het onderhouds- en inspectiepad voor de waterkering. Waar deze weg loopt bevindt zich in de toplaag beton, asfalt en puin. Op bepaalde locaties ligt asfalt, beton en puin over een slecht doorlatende kleilaag. Wanneer het maaiveld met ongeveer 3 m wordt opgehoogd zou dit nadelig kunnen werken voor de afwatering.

## 3.4 Grondparameters

### 3.4.1 Karakteristieke grondparameters

De gekozen grondparameters zijn ontleend aan een verzameling laboratoriumanalyses opgesteld door Arcadis [ref 1]. Aan de hand van deze referentie kunnen representatieve karakteristieke sterkte-eigenschappen van de grondsoort worden bepaald. De parameters ontleend aan deze verzameling zijn samengevat in Tabel 1. Verder dienen er vervormingsparameters te worden vastgesteld voor het berekenen van de zetting en de zettingsperiode.

De droge klei in dit gebied is overgeconsolideerd. Een representatieve waarde voor de overconsolidatie ratio (OCR) is 2. Door testen uit het verleden en werkzaamheden rond het gebied kan de waarde voor deze parameter worden aangehouden op basis van expert judgement. Tussen de zettingscoëfficiënt voor en de zettingscoëfficiënt na de grensspanning is een verhouding van 5 toegepast. Een gevoeligheidsanalyse zal worden uitgevoerd om te kijken of nauwkeurigere informatie voor deze parameter gewenst is. De waarden voor de Koppejan compressie indexen ( $C_p$  en  $C_s$ ) zijn bepaald aan de hand van de NEN 6740 [ref 3]. De waarden voor deze parameters voor de grondsoorten in dit gebied zijn gegeven in

Tabel 2.

Tabel 1: karakteristieke sterkte-eigenschappen gebaseerd op proevenverzameling Zandmaas [ref 2]

	Code	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{vv}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c' rep$ (kPa)	$\phi rep$ (°)
Zand dijk	OA	20	18	0	30
Klei dijk	OB	18,5	18,5	3	27
Klei	19	18	18	5	25
Klei, zandig	19A	18,5	18,5	3	27
Klei – zand	19-20	19	17	5	25
Zand, matig grof	20	20	18	0	32
Zand, grof/ grind, fijn	32	20	18	0	32
Leem	31	20	20	7,5	27,5

code Laagindeling volgens geotechnische lengteprofielen GeoDelft (2003)

$\gamma$  Volumegewicht (nat=100% verzadigd en vv=veldvochtig)

$c' rep$  Effectieve cohesie, representatieve waarde met 10% onderschrijdingskans

$\phi rep$  Hoek van inwendige wrijving, representatieve waarde met 10% onderschrijdingskans

Tabel 2: representatieve grondeigenschappen gebaseerd op NEN6740 en CUR2003-7

Grondlaag	OCR	$c_v$ (m/s)	$C_p'$	$C_s'$
Klei, siltig	2	$1 * 10^{-6}$	20	240
Zand, matig grof	1	-	400	$\infty$

OCR Overconsolidatie ratio

$c_v$  Consolidatie coëfficiënt

$C_p'$  Primaire compressie index

$C_s'$  Secundaire compressie index

### 3.4.2 Rekenwaardes grondparameters NEN 1997-1

Wanneer er een bezwijkanalyse wordt uitgevoerd dienen de karakteristieke grondparameters te worden omgerekend naar rekenwaardes. Dit gebeurt met zogeheten partiele factoren. Bij het toetsen van geotechnische constructies zoals de haventaluds, worden deze partiele factoren voorgeschreven door de Nederlandse norm NEN 1997-1. De constructie dient te worden ingedeeld in een van de drie risicoklassen (RC). Als risicoklasse wordt RC1 aangehouden. Dit is de gunstigste klasse gezien de persoonlijke veiligheidsrisico's laag zijn. De partiele factoren horend bij deze klasse zijn te vinden in Tabel 3. Het toepassen van deze factoren leidt tot de rekenwaardes zoals beschreven in Tabel 4.

Tabel 3: partiele factoren RC1 NEN 1997

Grondparameter	Partiele factor
$\gamma_{\text{nat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,0
$\gamma_{\text{vv}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,0
$c'$ (kPa)	1,3
$\tan(\varphi$ (°))	1,2

Tabel 4: rekenwaardes grondparameters NEN 1997

Grondsoort	Rekenwaardes			
	$\gamma_{\text{nat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{vv}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\varphi$ (°)
Zand, matig grof	20	18	0	27,5
Klei, siltig	18	18	2,3	23
Zand, dicht grof	20	18	0	30
Zand, verdicht	20	18	0	30

### 3.4.3 Rekenwaardes grondparameters OI2014 CSSM

Wanneer het profiel van vrije ruimte voor de toekomstige dijk wordt bepaald dienen de richtlijnen aangehouden te worden zoals voorgeschreven in het OI2014v4 [ref 4]. De rekenwaardes van de grondparameters zijn gebaseerd op het Critical State Soil Model. De rekenwaardes van deze parameters zijn weergegeven in Tabel 5.



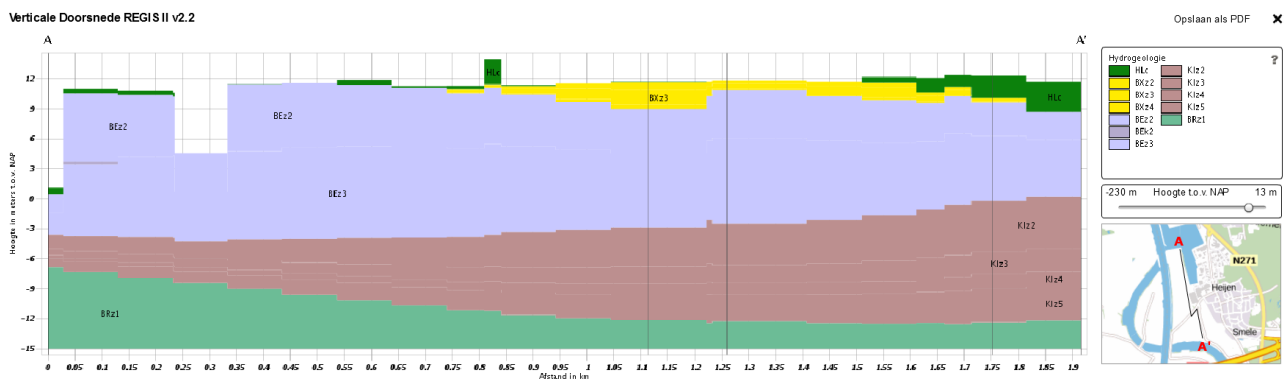
Tabel 5: rekenwaardes grondparameters OI2014 (CSSM)

Grondsoort	Rekenwaardes			
	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{vv}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi$ (°)
Zand, grindhoudend	20	18	0	32
Gestructureerde klei	18	18	0	28,9
Zand, dicht grof	20	18	0	30
Zand, verdicht	20	18	0	30

### 3.4.4 Grondparameters voor piping berekening

Voor de piping berekening is gebruik gemaakt van het rekenmodel van Sellmeijer conform OI2014v4. De rekenwaardes van de geotechnische parameters die zijn aangehouden staan in Tabel 6. De parameters zijn afgeleid op basis van de proevenverzameling van de Zandmaas [ref 2].

Voor de dikte van het watervoerend pakket is gebruik gemaakt van het REGIS II v2.2 model in Figuur 8. Er is teruggrepen naar dit geologische model, omdat sonderingen in de buurt onvoldoende diepte bereiken om iets over de begrenzing van het watervoerend pakket te zeggen. Omdat de formatie van Breda, die rond NAP +10 m begint, bestaat uit fijner zand en klei is de dikte van het watervoerend pakket aangehouden op 20 m.



Figuur 8: Geologische doorsnede REGIS II v2.2

Tabel 6: rekenwaardes grondparameters voor Sellmeijer berekening

Grondsoort	k (m/dag)	$d_{70, kar}$ (μm)	$d_{70}$ (μm)	D (m)
Grindhoudend zand	125	275	358	20

### 3.5 Berekeningen en software

De zetting ten gevolge van de ophoging wordt berekend met de Deltares software D-settlement versie 16.1.2.1. Hierbij worden karakteristieke grondparameters gebruikt in combinatie met het model van Koppejan en het consolidatiemodel van Darcy.

De stabiliteit van de taluds van de ophoging betreft een “uiterste grenstoestand (UGT)”. Grondparameters dienen te worden gecorrigeerd met partiële factoren zoals voorgeschreven in de Eurocode 7. Met deze gecorrigeerde parameters wordt een stabiliteitsanalyse worden uitgevoerd met de Deltares software D-Geo Stability versie 16.1.2.1.

Voor het berekenen van de benodigde taludverdediging wordt gebruik gemaakt van de formule van Van der Meer. Dit is een breed toepasbare formule binnen de waterbouw met betrekking tot dimensionering van de erosiebestendigheid/bestorting. Nadat deze is gedimensioneerd wordt het talud in zijn geheel opnieuw getoetst op stabiliteit. De richtlijnen zoals voorgeschreven in CUR 196 worden aangehouden.

De damwand berekening is gemaakt volgens de richtlijnen in de CUR 166. De software om de berekening te maken is D-Sheet Piling versie 16.1.2.1.

### 3.6 Hydraulische randvoorwaarden

Gezien de werkzaamheden bij een bestaande waterkering worden uitgevoerd dienen de hydraulische randvoorwaarden te worden opgesteld. De werkzaamheden mogen de veilige dijk van de toekomst niet in de weg staan. Voor de waterstand en de kruinhoogte (HBN) berekening is in afstemming met Rijkswaterstaat en het Waterschap Limburg gebruik gemaakt van Hydra NL plausibele middenwaarden.

Voor het traject rond haven Heijen gelden normaal de volgende uitgangspunten voor HWBP ontwerpen:

Rivierkilometer Maas:

- Dkr 55 Maas km 152-153 Loc 8\_195493\_409634

Normering:

- Normgetal: 1/1000 keer per jaar
- Maximale overstromingskans: 1/300 keer per jaar
- $P_{eis, HT}$ : 1/1250 keer per jaar

Databases:

- DPP\_Riv\_Maas\_oever\_2015\_ref\_S11\_DM1p1p12\_v01
- DPP\_Riv\_Maas\_oever\_W\_S12\_DM1p1p12\_v01

Overslagdebiet: 5 l/s/m  
Dijkprofiel: Taludhelling 1:3; kruinbreedte 4,5 m

Klimaatscenario's:

- W+

Afvoerstatistiek: GRADE

Met behulp van Hydra-NL plausibele middenwaarden is het hydraulisch belasting niveau (HBN) voor dit traject berekend.

#### 3.6.1 Hydraulische randvoorwaarden Profiel van vrije ruimte voor ondergrens

Voor het profiel van vrije ruimte zijn volgens opgave van het Waterschap Limburg de hydraulische randvoorwaarden voor het zichtjaar 2125 gehanteerd. Omdat dit jaar buiten de zichtjaren van de GRADE-afvoerstatistiek ligt is de waterstand voor dit jaar bepaald met lineaire extrapolatie. De berekende waterstand en het hydraulisch belasting niveau (HBN) zijn gegeven in Tabel 7. Voor het bepalen van het HBN is een kritisch overslagdebiet gehanteerd van 5 l/s/m.

Tabel 7: Waterstanden en HBN voor ondergrens (1/300)

Zichtjaar	Terugkeertijd [jaar]	Model	Waterstand [m +NAP]	HBN [m +NAP]
2125	300	Hydra NL plausibele middenwaarden	14,80	15,28

### 3.6.2 Hydraulische randvoorwaarden Profiel van vrije ruimte signaleringswaarde

In Tabel 8 is de waterstand met een terugkeertijd van 1000 jaar voor het zichtjaar 2050 bepaald. Een eis vanuit het waterschap is namelijk dat het profiel van vrije ruimte in ieder geval voor twee faalmechanismen ook voldoet aan de signaleringswaarde voor twee beoordelingsrondes (periode van 24 jaar vooruit, gerekend vanaf realisatie dus ongeveer 2050).

Tabel 8: Waterstand voor signaleringswaarde (1/1000)

Zichtjaar	Terugkeertijd [jaar]	Model	Waterstand [m +NAP]
2050	1000	Hydra NL plausibele middenwaarden	14,50

## 3.7 Veiligheidseis macrostabiliteit

### 3.7.1 Waterkering

#### Schadefactor

Voor het toetsen op macrostabiliteit moet worden voldaan aan de vastgestelde regels van het Handreiking Ontwerpen met overstromingskans OI2014 versie 4. De betreffende havenlocatie bij Heijen valt onder het normtraject 55-1 en hiervoor bedraagt de maximaal toelaatbare overstromingskans 1/300 jaar. De lengte van dit traject is 7,9 km. Dit resulteert in een schadefactor van 0,96.

#### Schematiseringsfactor

Er wordt uitgegaan van een schematiseringsfactor van 1,2 omdat:

- Grondparameters zijn gebaseerd op een proevenverzameling in het Maasdal;
- Een geologische interpretatie is gemaakt op basis van veel boringen (>100) en enkele sonderingen.

#### Modelfactor

De modelfactor die in rekening wordt gebracht verschilt per model. De eerste verkennende stabiliteitsberekening wordt uitgevoerd met het model van Bishop. Een vervolgberekening wordt gemaakt met het UpliftVan model. De modelfactor in het Bishop model en het UpliftVan model bedragen respectievelijk 1,11 en 1,06.

#### Veiligheidseis

De veiligheidseis met betrekking tot macrostabiliteit wordt verkregen door het product te nemen van de vorige drie factoren. De veiligheidseis voor de verschillende modellen bedraagt:

- Bishop: 1,28
- UpliftVan: 1,22

### 3.7.2 Oevers haven

De oevers van de haven worden getoetst conform de richtlijnen in NEN-1997-1. Er kan gebruik worden gemaakt van het model van Bishop in combinatie met rekenwaardes van de grondparameters zoals voorgeschreven in de NEN-1997-1 (3.4.2). De veiligheidseis voor het model bedraagt:

- Bishop: 1,00

## 3.8 Veiligheidseis piping

Ook ten aanzien van piping wordt het OI2014v4 aangehouden. De weerstand tegen het faalmechanisme piping dient te worden bepaald met het aangepaste rekenmodel van Sellmeijer 2011. Voor de toetsberekening worden twee verschillende factoren in rekening gebracht.

### Partiele factor voor piping

De partiele factor voor piping voor onzekerheid in grondopbouw en schematiseren voor het deelmechanisme piping. Wanneer er wordt uitgegaan van een partiele factor van 1,2 is dit een conservatief vertrekpunt.

### Veiligheidsfactor

De veiligheidsfactor is een partiele factor voor de model- en parameteronzekerheid in het deelmechanisme piping. Deze is afhankelijk van de maximale overstromingskans en heeft een voor het betreffende traject een waarde van 1,42.

De factoren dienen te worden te worden vermenigvuldigd met het optredende verval alvorens een minimale kwelweglengte kan worden bepaald met de regel van Sellmeijer conform OI2014v4.

## 4 RELATIE TOT DE MER

De onderhavige rapportage beschrijft een geotechnisch advies dat voor vier alternatieven (inclusief 0 alternatief) en twee varianten binnen het MER relevant is. In dit hoofdstuk is aangegeven welke onderdelen van het advies voor welke alternatieven en varianten binnen het MER representatief zijn. De alternatieven en varianten zijn beschreven in Hoofdstuk 2. Een totaaloverzicht van de analyses binnen deze rapportage en de relatie tot het MER is weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9: Relevantie rapportage met betrekking tot de alternatieven en varianten in het MER

	Huidige situatie (alternatief 0)	Bedrijven met groene geul (alternatief 1)	Bedrijven met haven (alternatief 2)	Bedrijven langs de Maas (alternatief 3)
Zettingen (H5)	n.v.t.	1=2=3	1=2=3	1=2=3
Taludstabiliteit (H6)	n.v.t.	1=2=3	1=2=3	1=2=3
Taludbescherming (H7) <sup>(1)</sup>	n.v.t.	1=2=3	1=2=3	1=2=3
Stabiliteit stroom geleidende oever (H8)	n.v.t.	2>1	2>1	n.v.t.
Profiel van vrije ruimte (H9)	n.v.t.	1=2=3	1=2=3	1=2=3
Meerpalen (H10)	n.v.t.	1=2=3	1=2=3	1=2=3
Variant hoogte (H11)	n.v.t.	1=2=3	1=2=3	1=2=3
Variant damwanden (H12)	n.v.t.	1=2=3	1=2=3	1=2=3

1=2=3: *alternatieven 1, 2 en 3 zijn vergelijkbaar waardoor met één berekening kan worden volstaan*

2>1: *alternatief 2 is maatgevend ten opzichte van alternatief 1*

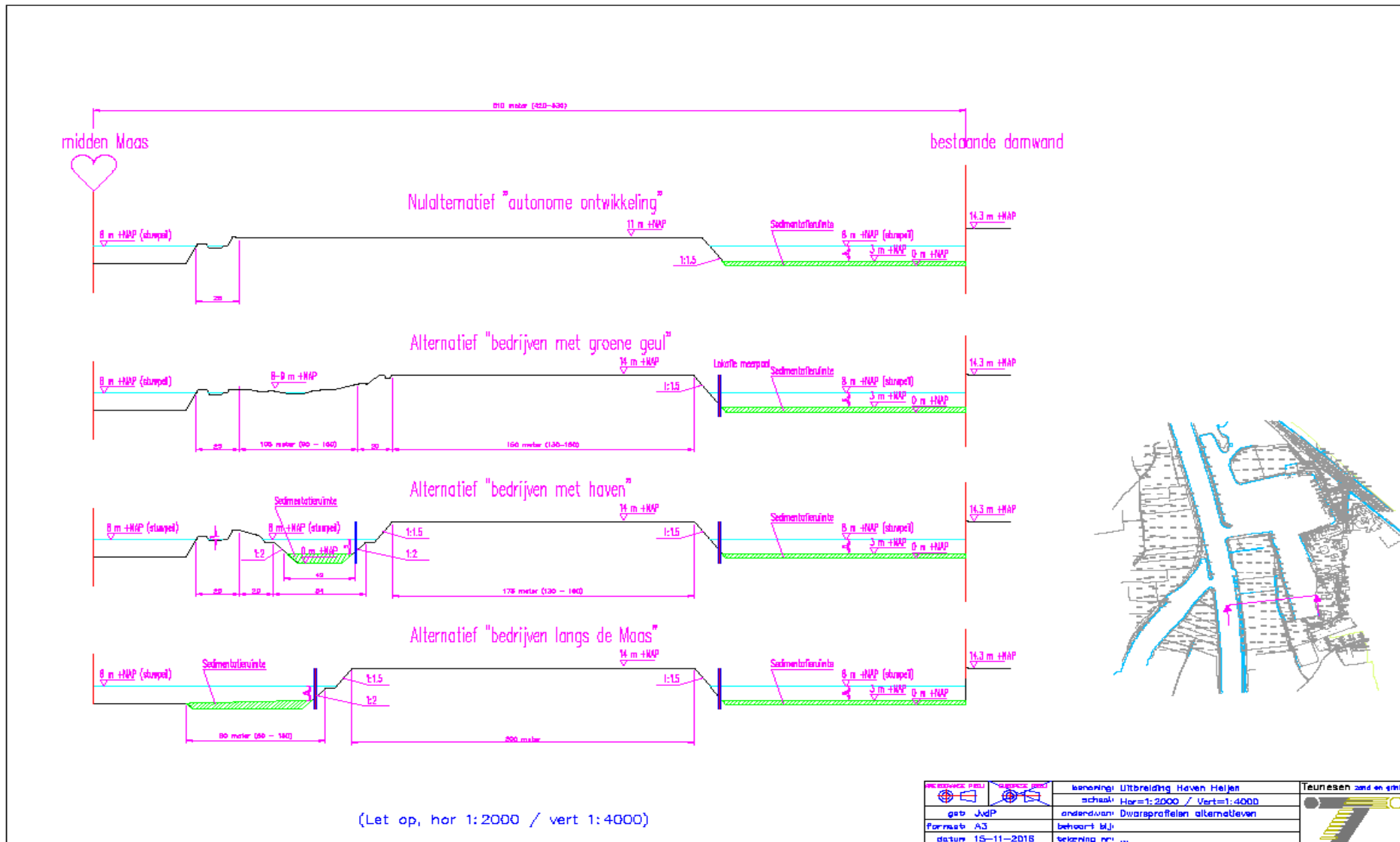
<sup>(1)</sup> *Voor taludbescherming en erosiebestendigheid is de stroomsnelheid vanwege de schroefbelasting verregaand maatgevend boven de stroombelasting bij hoogwater en daarom zijn alternatieven 1, 2 en 3 vergelijkbaar waardoor met één berekening kan worden volstaan.*

Uit de bovenstaande tabel blijkt dat voor wat betreft het aspect geotechniek de alternatieven en varianten niet onderscheidend zijn. Alleen voor wat betreft het aspect stabiliteit stroomgeleidende oever is alternatief 2 maatgevend. Daarom wordt voor alle geotechnische analyses uitgegaan van alternatief 2, Bedrijven met haven.

Toelichting: de keuze voor alternatief 2 wordt medebepaald door:

- Er net als in de andere alternatieven sprake is van een ophoging en dus zetting;
- Er overgangen van havenbodem naar ophoging aanwezig zijn en dat er dus een stabiliteitsvraagstuk beantwoord moet worden;
- Er een smalle landtong resteert tussen de Maas en de te graven haven die gevoelig kan zijn voor erosie.

In Figuur 9 is de maatgevende geometrie ten behoeve van de bovengenoemde analyses weergegeven. Voor de volledige vormgeving van de alternatieven wordt verwezen naar de tekeningen daterend van 8-05-2017, nummers: 347421-T001 -ALT0-DO1-LO1 tot en met 347421-T001 – ALT3-DO1-LO1



Figuur 9: Dwarsprofielen van de verschillende alternatieven



## 5 ZETTINGSBEREKENING

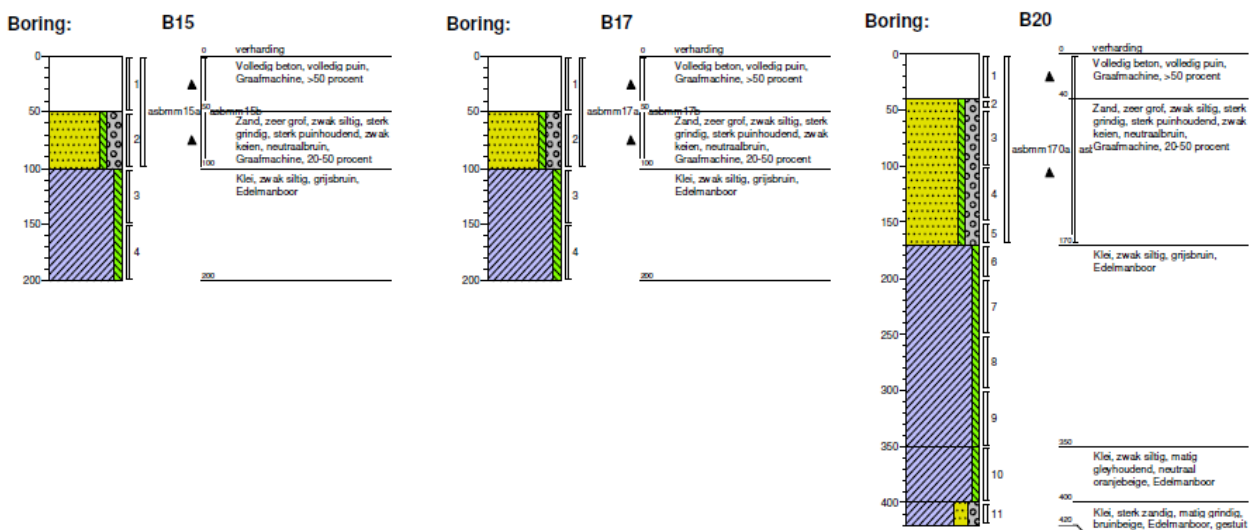
### 5.1 Inleiding

Een deel van het gebied dient te worden opgehoogd naar een maaiveld niveau van NAP +11 m naar NAP +14 m. Om deze ophoging te realiseren moeten de zettingen in de ondergrond ten gevolge van deze ophoging in kaart worden gebracht. Uit deze zetting kan de benodigde overhoogte worden bepaald. Verder dient de zettingsperiode te worden vastgesteld. De siltige klei in het Maasdal is overgeconsolideerde stevige klei. Ervaring binnen dit gebied leert dat de zettingen in het algemeen gering zijn.

### 5.2 Doorsnedeprofielen

Voor een zettingsanalyse worden twee locaties geanalyseerd. De desbetreffende locaties zijn bepaald uit het eerder verricht grondonderzoek op het terrein [ref 1]. Een representatieve bodemopbouw voor het gehele ophooggebied is een kleilaag van ongeveer 1,2 m. met daaronder een zandlaag. Deze bodemopbouw geeft een goede indicatie welke zettingen over het hele gebied zullen optreden ten gevolge van de verhoging van het maaiveld.

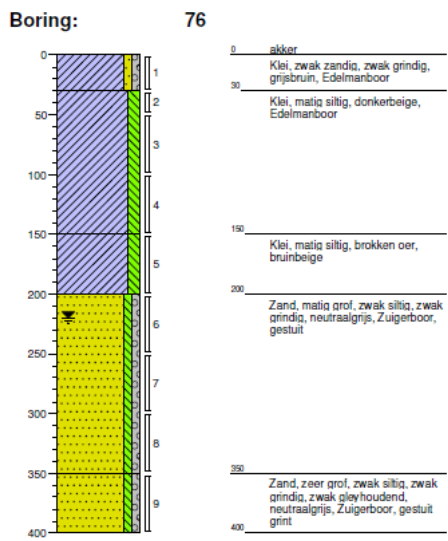
Verder kan er plaatselijk een iets andere bodemopbouw worden aangetroffen. Boringen die dit illustreren zijn gegeven in doorsnede 1 en doorsnede 2 (zie Figuur 10 en Figuur 11). Waar beide doorsneden representatief zijn voor de bodemopbouw over het havengebied is indicatief aangegeven in Figuur 12. In dit figuur geven de rode bolletjes de locaties aan van de boringen uit de doorsnedes.



Figuur 10: gebruikte boorprofielen voor doorsnede 1

In Figuur 10 zijn de boorprofielen van de eerste doorsnede naast elkaar gezet. Deze boringen zijn dicht bij elkaar uitgevoerd. Twee van deze boringen zijn tot 2 m diepte uitgevoerd en de derde boring is gestuit na 4 m. Uit de boorprofielen kan worden opgemaakt dat deze doorsnede bestaat uit een dunne silthoudende zandlaag, een kleilaag van een maximaal 3 m dik met daaronder een zandlaag. De diepere boring loopt vast na 4 m. Wanneer er gekeken wordt naar de sondering (bijlage A) kan worden geconcludeerd dat hier een zeer sterke grindhoudende zandlaag begint ( $q_c > 20$  MPa). Uit de ondiepere boringen kan worden opgemaakt dat de kleilaag 1 m onder maaiveld kan beginnen.

De tweede doorsnede wordt getypeerd door de boring in Figuur 11. In deze doorsnede bestaat de toplaag uit een ongeveer 2 m dikke siltige kleilaag met daaronder een zandlaag (matig grof).



Figuur 11: boorprofiel voor doorsnede 2



Figuur 12: Typen bodemopbouw binnen havengebied

## 5.3 Resultaten zettingsberekening

De zetting is berekend met behulp van de Koppejan methode in combinatie met het Darcy consolidatie model. De software die hiervoor is gebruikt is D-settlement. Er is een berekening gemaakt voor alle doorsnedes. De zetting berekend bij de maatgevende doorsnede is een indicatie van de maximale zetting die kan worden verwacht. De zetting berekend bij de kenmerkende doorsnede geeft een indicatie van de zetting van het totale ophooggebied.

### 5.3.1 Kenmerkende zetting hele gebied

De verwachte zetting die representatief is voor het gehele ophooggebied is gegeven in Tabel 10. Tevens is een indicatie gegeven over de duur van de primaire zetting (consolidatie). Er dient rekening te houden geworden met een kleine secundaire zetting (kruip). De verwachte zetting bij deze doorsnede is in totaal rond de 109 mm. Er wordt verwacht dat deze zetting in de eerste 50 dagen optreedt. Het verloop van de zetting met de tijd is gepresenteerd in de tijd-zakkingsdiagram in bijlage B.

Tabel 10: verwachte zetting in het ophooggebied

	Zetting (mm)	Tijd (dagen)
Primaire zetting	109	50
Secundaire zetting	15	10000
Totaal	124	

### 5.3.2 Zetting doorsnede 1

De verwachte zetting ter plaatse van doorsnede 1 is berekend en samengevat in Tabel 11. De verwachte zetting bij deze doorsnede is rond de 63 mm. Verwacht wordt dat de primaire zetting binnen 90 dagen na het aanbrengen van de ophoging optreedt. Het verloop van de zetting met de tijd is gepresenteerd in de tijd-zakkingsdiagram in bijlage B.

Tabel 11: verwachte zetting ter plaatse van doorsnede 1

	Zetting (mm)	Tijd (dagen)
Primaire zetting	63	90
Secundaire zetting	8	10000
Totaal	70	

### 5.3.3 Zetting doorsnede 2

Eveneens is een zettingsberekening gemaakt voor doorsnede 2. De zetting berekening van deze doorsnede is representatief voor het hele ophooggebied gezien het grootste gedeelte van het gebied getypeerd wordt door deze doorsnede. De berekende zettingen en de duur van de consolidatie zijn gepresenteerd in Tabel 12. De zetting bij doorsnede 2 ligt rond de 129 mm. Verwacht wordt dat de primaire zetting optreedt binnen 70 dagen na het aanbrengen van de ophoging. Het verloop van de zetting met de tijd is gepresenteerd in de tijd-zakkingsdiagram in Bijlage B.

Tabel 12: verwachte zetting ter plaatse van doorsnede 2

	Zetting (mm)	Tijd (dagen)
Primaire zetting	129	70
Secundaire zetting	19	10000
Totaal	148	

### 5.3.4 Overweging zetting

Ervaringen binnen het gebied leren dat de zettingen in de omgeving gering zijn. Daardoor kan de berekende zetting worden aangehouden als bovengrens van de verwachte zetting. Tevens dient te worden opgemerkt dat het overgrote gedeelte van de zetting plaatsvindt binnen de faseringsfase van de bouw. Voor de verwachte restzetting na ophoging kan 20 mm worden aangehouden als bovengrens.

Vanwege de samenstelling van de klei blijven de zettingen zeer gering. Dermate gering dat er geen grondverbeteringsmaatregel noodzakelijk is en de klei kan blijven zitten.

## 5.4 Conclusie zetting

Aan de hand van de doorsnedes zijn berekeningen gemaakt voor de verwachte zetting na het ophogen van het maaiveld. Een kenmerkende doorsnede voor het hele gebied betreft een kleilaag van 1,2 m waaronder zich een zandlaag bevindt. De verwachte zettingen die representatief zijn voor het hele gebied liggen rond de 1 dm. Gezien de ervaring in binnen dit gebied (en de conservatieve inschatting van de zettingsparameter voor klei) kan dit worden gezien als een bovengrens voor de verwachte zetting.

## 6 TALUDSTABILITEIT ANALYSE

### 6.1 Inleiding

In het maatgevende alternatief (zie Hoofdstuk 4) zijn er drie verschillende taluds voor het nieuwe bedrijventerrein ontworpen/te onderscheiden. Aan de oostzijde betreft dit een doorlopend talud van 1:1,5. Aan de westzijde is een talud van 1:2 naar 1:1,5 met een horizontale middenberm van 5 m ontworpen. Het ontwerp aan de noordzijde lijkt op het ontwerp aan de westzijde alleen is hier een onderwaterdepot ontworpen. In dit hoofdstuk wordt de stabiliteit van deze ontwerpen onderzocht en waar nodig een andere oplossing geboden.

### 6.2 Stabiliteitseis en uitvoeringseis

De haventaluds dienen te worden ontworpen volgens de richtlijnen in NEN-1997. Hierin worden karakteristieke grondparameters gecorrigeerd met partiele factoren. Voor de geotechnische parameters en partiele factoren van deze berekening wordt verwezen naar 3.4.2. Vervolgens wordt een berekening gemaakt in D-Geo Stability met het model van Bishop. De uitkomst van deze som betreft een zogeheten Factor of Safety. De constructie wordt als stabiel beschouwd wanneer deze Factor of Safety groter is dan 1.

Verder is er verondersteld dat de toplaag zand van 3 m die wordt aangebracht, bestaat uit verdicht zand ( $\varphi' = 32^\circ$ ).

### 6.3 Belastingsituaties

Door werkzaamheden, materieel en opslag van zand/grind zal het opgehoogde bedrijventerrein op een bepaalde manier worden belast. Twee verschillende belastingsituaties zijn onderscheiden namelijk Belastingsituatie A en belastingsituatie B.

#### Belastingsituatie A

In het geval van belastingsituatie A zal worden uitgegaan van uniform verdeelde belasting van  $50 \text{ kN/m}^2$  boven op het talud. Deze schematisatie komt overeen met een drie meter hoog zandpakket dat over het gehele oppervlakte aanwezig is.

#### Belastingsituatie B

In belastingsituatie B wordt uitgegaan van een 10 m brede kraan en vrachtwagenroute met daarachter een zandbult die oploopt tot een hoogte van 10 m. In de schematisatie komt dit overeen met een 10 m brede uniform verdeelde belasting van  $15 \text{ kN/m}^2$  en daarachter een trapsgewijs oplopende belasting naar  $165 \text{ kN/m}^2$ .

### 6.4 Taludsstabiliteitsanalyse voor haventaluds

De stabiliteit van de ontworpen taluds zal worden beschouwd. Het betreft hier een haventalud dat zal worden ontworpen conform de normering van de NEN-1997-1.

#### Haventalud westzijde

Een stabiliteitsanalyse is uitgevoerd met D-Geo Stability waarin de stabiliteit van het oorspronkelijke ontwerp wordt getoetst met het model van Bishop. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 9. Met deze berekening is aangetoond dat het haventalud van 1:1,5 te steil is ontworpen en niet voldoet aan de veiligheidseis. Uit de beschikbare boorprofielen is een kenmerkende doorsnede geanalyseerd met een kleilaag dikte van 1,5 m. De geometrie en het glijvlak zijn te vinden in Bijlage C.

### Haventalud oostzijde

Ook de oostzijde van de ophoging is getoetst. Ter plaatse van de oostzijde van de ophoging bevindt zich een diepere kleilaag waarvan de dikte kan oplopen naar 3 m. Hier is in het origineel ontwerp een doorlopend haventalud getekend van 1:1,5. Een stabiliteitsberekening is gedaan om de veiligheid van dit ontwerp te toetsen. De resultaten van de analyse zijn samengevat in Tabel 13. Er is te zien dat het taludontwerp van 1:1,5 een ontwerp is dat niet aan de veiligheidseis voldoet.

### Haventalud Noordzijde

Het haventalud aan de noordzijde is bijna identiek aan het haventalud aan de westzijde alleen is hier ook nog een onderwaterdepot ontworpen van 1:2 na een berm van 5 m. Met een berekening is aangetoond dat de voor de stabiliteit het talud bovenin maatgevend is. De stabiliteit van het onderwaterdepot is gewaarborgd wanneer deze wordt aangelegd op 1:2.

### Alternatief ontwerp

Er is een nieuwe stabiliteitsanalyse uitgevoerd met alternatieve ontwerpen. In de alternatieve ontwerpen is bestortingsmateriaal aangebracht. Dit bestortingsmateriaal verhoogt vanwege zijn eigenschappen de stabiliteit zonder dat een al te flauw talud nodig is. De uitgebreide dimensionering van de bestorting staat beschreven in hoofdstuk 5. De geometrieën en glijvlakken van de alternatieven zijn te vinden in Bijlage D. De resultaten van de berekeningen zijn bijgevoegd in Tabel 13.

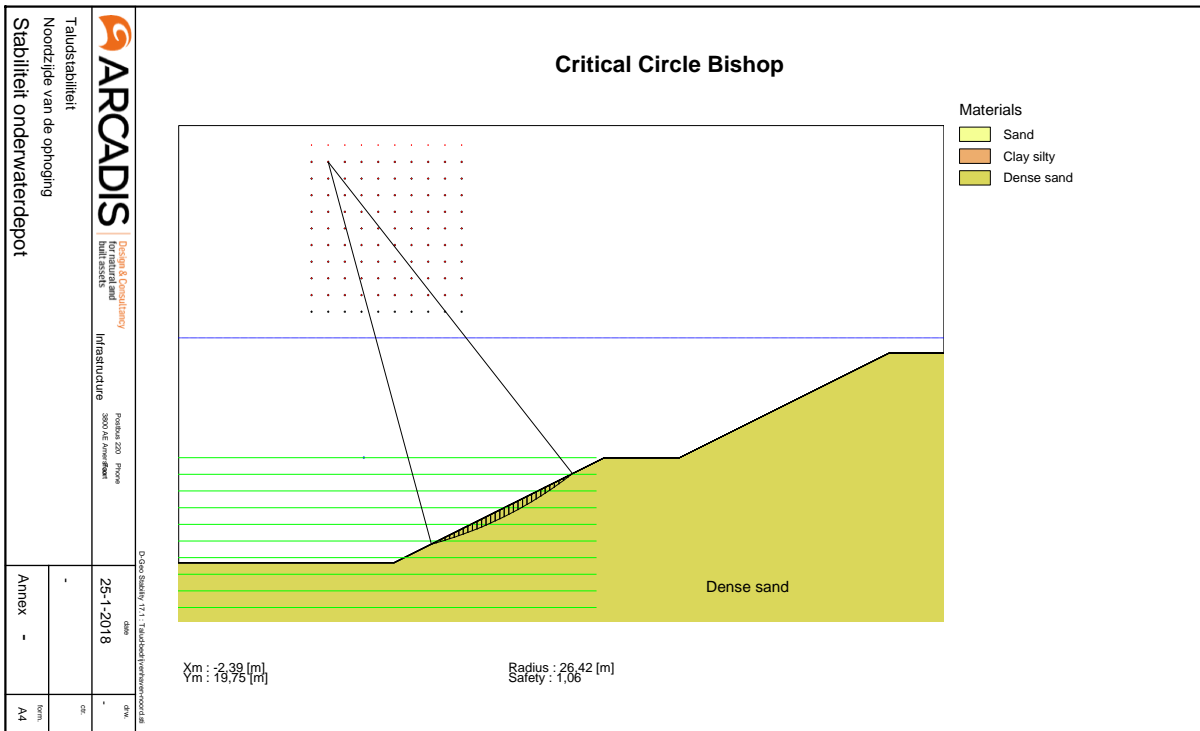
Tabel 13: resultaten taludsstabiliteit volgens Bishop model

Taluds		Belastingssituatie	Veiligheidsfactor	Voldoet (>1)
<b>Origineel (westzijde/noordzijde)</b>	1:2 en 1:1,5	A	0,80	Nee
		B	0,80	Nee
<b>Origineel (oostzijde)</b>	1:1,5	A	0,73	Nee
		B	0,73	Nee
<b>Herontwerp (westzijde/noordzijde)</b>				
Doorlopend	1:2	A	1,02	Ja
		B	1,02	Ja
<b>Herontwerp (Oostzijde)</b>				
Doorlopend	1:2	A	1,00	Ja
		B	1,01	Ja

Uit de berekeningen kan worden geconcludeerd dat een doorlopend talud pas stabiel is bij een taludhelling van 1:2. Er dient dan echter wel bestorting te zijn aangebracht.

Het onderwaterdepot dat ontworpen is aan de noordzijde van de ophoging is niet maatgevend in de stabiliteitsanalyse. De afschuifveiligheid van dit talud van 1:2 is gelijk aan 1,06 en is dus stabiel (zie Figuur 13). Voor het alternatief ontwerp van de noordzijde kan dus hetzelfde ontwerp als voor de westzijde worden aangehouden. Dit houdt in dat een doorlopend talud van 1:2 inclusief bestorting kan worden toegepast tot NAP +0 m. Vervolgens een horizontale berm van 5 m waarna het onderwaterdepot kan worden gerealiseerd met een talud van 1:2 tot een hoogte van NAP -7 m.





Figuur 13: Stabiliteit onderwaterdepot Noordzijde

## 6.5 Conclusie macrostabiliteit

De huidige ontwerpen van de haventaluds voldoen niet aan de veiligheidsnormen zoals zijn voorgeschreven in NEN 1997-1. Er zijn verschillende stabiele alternatieve ontwerpen aangeboden. Het efficiëntste ruimtegebruik wordt behaald wanneer er wordt gekozen voor een doorlopend talud van 1:2 met bestorting. Voor de noordzijde geldt hetzelfde ontwerp als voor de westzijde tot een hoogte van NAP +0 m. Het overige gedeelte van het ontwerp voldoet aan de veiligheid.

## 7 TALUDBESCHERMING

### 7.1 Inleiding

Naast de stabiliteit van het gehele talud dient ook de erosiegevoeligheid te worden onderzocht. Bij erosie worden gronddeeltjes van de het talud meegenomen door stromend water. Dit kan gebeuren door:

- Golfslag van schepen en wind onder dagelijkse omstandigheden
- Schroefwerking door schepen
- Langstromingen na gereed komen van de hoogwatergeul

De toepassing van oeververdediging staat beschreven in de CUR197 [ref 6] en de Rock Manual [ref 7]. Verrichte berekeningen en ontwerpadviezen zijn gebaseerd op dit rapport.

### 7.2 Golfslag

#### 7.2.1 Golfslag door wind

De golfhoogte zal bepaald worden met behulp van de formule van Brettschneider. Deze formule bepaalt de hoogte van de golf bij een bepaalde windsnelheid ten opzichte van een bepaalde waterstand.

Bij de berekening volgens Brettschneider wordt gekeken naar de maximaal te verwachte golfhoogte door harde wind. Dit gebeurt wanneer de zogenaamde strijklengte maximaal is. Voor het gebied rond Heijen is een zuidwestenwind de maatgevende windrichting. Deze windrichting is gebaseerd op lange termijn gegevens van het KNMI (weerstation Arcen). De ontwerpwindnelheid is gesteld op 20 m/s. Dit correspondeert met stormachtige omstandigheden horend bij windkracht 8. Het resultaat van de berekening is te vinden in Tabel 14. De significante golfhoogte en de golfperiode zijn ook bepaald voor andere waterstanden en er blijkt dat beiden (vrijwel) gelijk zijn voor andere waterstanden.

Tabel 14: significante golfhoogte volgens Brettschneider

Waterstand + NAP (m)	Significante golfhoogte (m)	Golfperiode (s)
8	0,20	1,39

#### 7.2.2 Golfslag door schepen

Door de scheepvaart wordt het haventalud ook belast door scheepsgolven. Inzicht in deze golven zijn noodzakelijk om te bepalen welke taludbescherming moet worden gekozen. Volgens de CUR197 zijn typische waarden voor golfslagen door schepen in kanalen opgenomen. Dit zijn waarden tussen de 0,25 en 0,75 m. Aan deze waarden is te zien dat de te verwachten golven door scheepvaart waarschijnlijk maatgevend zijn ten opzichte van de golven die veroorzaakt worden door wind. Een preciezere waarde voor de te verwachten golven ten gevolge van schepen wordt gegeven aan de hand van een berekening. De type bestorting is vervolgens berekend met formule 5.147 uit de Rock Manual [ref 7]. De berekening is ook toegevoegd aan Bijlage F. De resultaten zijn samengevat in Tabel 15.

Tabel 15: taludbescherming gedimensioneerd op scheepvaartgolven

Primaire golfhoogte (m)	D <sub>n50</sub> (mm)	Type sortering
0,91	260	40-200 kg

### 7.3 Schroefwerking van schepen

De boegschroef van een schip veroorzaakt een aanzienlijke hydraulische belasting op de bekleding van het talud. Wanneer het schip aanmeert of afmeert bij de haven, wordt de boegschroef dicht bij het talud aangezet. Op basis van een rapport door het waterloopkundig laboratorium kunnen stroomsnelheden bij de oever bepaald worden als gevolg van boegschroeven [ref 8]. De vaarwegklasse van Nederlandse wateren zijn aangegeven in de zogenaamde CEMT Klasse. De CEMT Klasse horend bij de Maas is Vb. Dit correspondeert met een schipbreedte van 11,4 m en een diepte tot 4 m.

De uitstroomsnelheid is de snelheid direct achter de boegschroef. Vanuit deze parameter kan de stroomsnelheid ter plaatse van de taludbekleding worden berekend (in de analyse is uitgegaan van een afstand van 3 m de boegschroef haaks op het talud). De diameter van de bestorting is bepaald met de formule 5.226 uit de Rock Manual [ref 7] en toegevoegd als berekening in Bijlage F. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Tabel 16.

Tabel 16: taludbescherming gedimensioneerd op schroefbelasting

Karakteristiek vermogen (kW)	Schroefdiameter (m)	Uitstroomsnelheid (m/s)	Stroomsnelheid bij bekleding (m/s)	D <sub>n50</sub> (mm)	Type sortering
330	1,24	6,76	7,83	260	40-200 kg

### 7.4 Conclusie taludbescherming

Aan de hand van de bovenstaande berekeningen kan de taludbescherming worden ontworpen. Bij de locatie van de meerpaal dient rekening gehouden te worden met hoge stroomsnelheden ten gevolge van de boegschroef. Rekening gehouden met zowel de belasting van de scheepsgolven als met de invloed van de boegschroef kan worden verondersteld dat een 40-200 kg sortering voldoende bescherming moet bieden. De minimale laagdikte van anderhalf keer de nominale diameter.

Er dient echter ook rekening gehouden te worden met de taludhelling. Uit de CUR 197 volgt dat wanneer de gewenste taludhelling 1:2 is er geen lichtere bestorting kan worden toegepast dan een 40-200 kg sortering. De nominale diameter hiervan is circa 340 mm. Verder dient er rekening gehouden te worden met een bepaalde bodembescherming bij de teen van het talud. De stroomsnelheid ten gevolge van de boegschroef aan de teen van het talud is berekend op een hoogte van NAP +3 m (hoogte bodem na opvulling sedimentatieruimte). De maximale snelheid op de bodem is 0,88 m/s. Bij matig grof zand wordt er bij deze snelheid geen transport verwacht.

Voor het ontwerp dient geotextiel te worden aangebracht op het normale talud, waarover een filterlaag laag wordt gestort. Voor deze filterlaag kan worden gekozen voor een sortering van 40/100 mm. De laagdikte die hoort bij deze filterlaag is 20 cm. De toplaag bestaat uit de 40-200 kg bestorting en heeft een dikte van 68 cm. De waterstand met een terugkeertijd van 10 jaar is NAP +12,75 m [ref 9]. Er wordt geadviseerd een bestorting toe te passen die wordt aangebracht tot NAP +12 m. De rest van het talud kan worden beschermd door een kleilaag aan te brengen in combinatie met ingezaaid gras. Hierbij dient wel rekening gehouden te worden met onderhoud en met herstelwerkzaamheden na zeer hoogwater.

Er kan worden gekozen voor een lichter ontwerp, maar dit zal leiden tot meer schade en herstelwerkzaamheden.

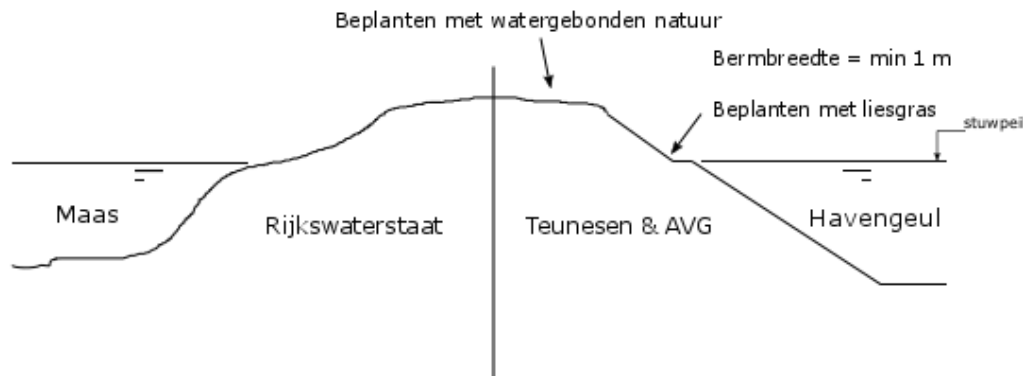
## 8 STABILITEIT STROOM GELEIDENDE OEVER

Door de uitbreiding van de haven zal de oever langs de Maas worden versmald. Hierdoor ontstaat een dam, waarbij de westzijde grenzend aan de Maas de natuurvriendelijke oever van Rijkswaterstaat betreft. De oostzijde van deze dam dient stabiel te worden uitgevoerd. In het navolgende wordt weergegeven hoe deze oever eruit moet zien.

De toekomstige (maatgevende, zie hoofdstuk 4) dam ligt tussen de Maas en de nog te graven havengeul in en de breedte daarvan bedraagt ongeveer 25 meter. Door golven van de scheepvaart zal deze oever worden belast. De oever kan verder worden belast wanneer deze met hoogwater onder het waterniveau komt te liggen. Wanneer geen maatregelen worden genomen om de oever te beschermen zal deze eroderen. Er wordt geadviseerd de oever te laten begroeien met watergebonden natuur waarvan de wortels in staat zijn de ondergrond bij elkaar te houden en daarmee het erosieproces te beperken. Mogelijk zal er aan de rivierzijde ook extra verdediging moeten komen om de dam qua erosie intact te houden.

In het huidige ontwerp is gekozen voor een talud van 1:1,5. Uit stabiliteitsanalyses in hoofdstuk 6 is echter gebleken dat dit talud niet stabiel is en minimaal 1:2 moet bedragen. Daarom is het huidige ontwerp niet nader geanalyseerd en is direct een geoptimaliseerd minimaal benodigd profiel ontworpen.

Er wordt vanuit dit kader geadviseerd gebruik te maken van een talud van 1:2 met een middenberm van 1 m ter hoogte van het stuwpeil van NAP +8 m (een bredere middenberm kan overigens ook, maar een steiler talud niet). De middenberm (geschikte groeiplaatsomstandigheid) kan worden beplant met riet of met liesgras. Dit is in een schets weergegeven in Figuur 14. Hierbij is aangegeven dat het gedeelte waar de oever grenst aan de havengeul onder verantwoording valt van Teunesen en AVG. Het deel van de oever dat grenst aan de Maas valt onder de verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat.



Figuur 14: schets van natuurvriendelijke oever (niet op schaal)

Tot slot is gekeken naar de stabiliteit van het ontworpen talud aan de havengeul. De bodemopbouw kan worden bepaald uit de beschikbare boringen. Hieruit blijkt dat de toplaag in het ongunstigste geval bestaat uit ongeveer 4 m zwak zandige klei met daaronder matig grof zand. Voor de rekenwaarden van de parameters wordt verwezen naar 3.4.2. Het resultaat van de berekening is samengevat in Tabel 17. Het glijvlak is gepresenteerd in Bijlage E. Er is te zien dat de ontworpen oever ruimschoots aan de veiligheidseis voldoet.

Tabel 17: resultaat taludstabiliteit natuurvriendelijke oever

Natuurvriendelijke oever	Veiligheidsfactor	Voldoet (> 1)
Talud 1:2 Middenberm 1 m t.h.v. stuwpeil	1,07	Ja

## 9 PROFIEL VAN VRIJE RUIMTE WATERKERING

### 9.1 Inleiding

De ontwikkeling van de haven mag een veilige dijk niet in de weg staan en een gedeelte van de ophoging grenst aan een bestaande dijk. De eisen ten aanzien van werkzaamheden bij een bestaande primaire waterkering zijn opgenomen in de Keur van het waterschap. De richtlijnen voor een het ontwerp van een veilige dijk staan beschreven in het OI2014 versie 4.

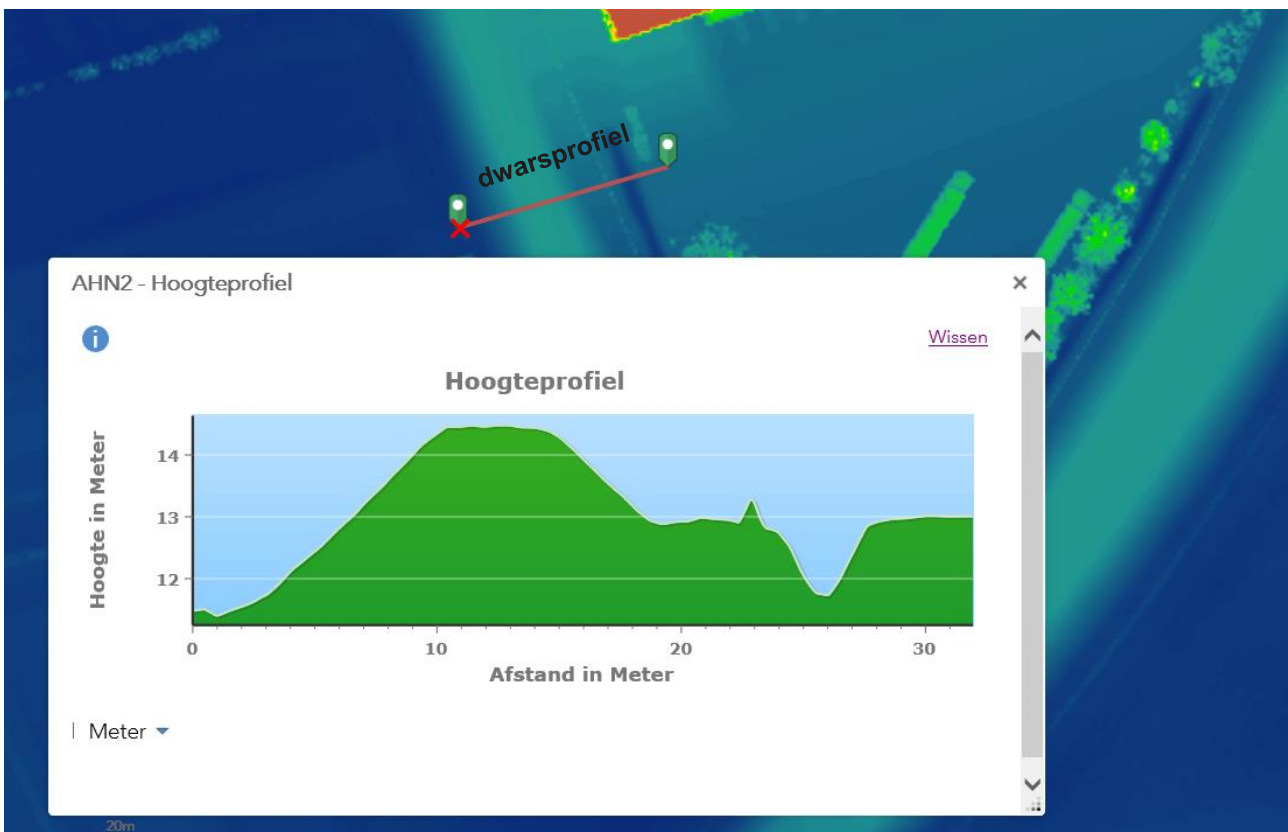
### 9.2 Huidig dijkeprofiel

De huidige dijk is ontworpen volgens de overschrijdingsfrequentie benadering bij een herhalingsstijd van 1/250<sup>e</sup> keer per jaar. Door klimaatontwikkelingen, voortschrijdend inzicht in berekeningswijze en wijzigingen in de normering is het waarschijnlijk dat de dijk in de toekomst zal worden aangepast.

#### 9.2.1 Ophoging bij bestaande waterkering (2125)

Een deel van de ophoging zal worden aangelegd in het voorland van een bestaande waterkering. Er dient rekening gehouden te worden met de werkzaamheden ten aanzien van het toetsen van de bestaande waterkering. Er wordt een haven gegraven in het voorland waardoor het intredepunt met betrekking tot piping verandert voor deze waterkering.

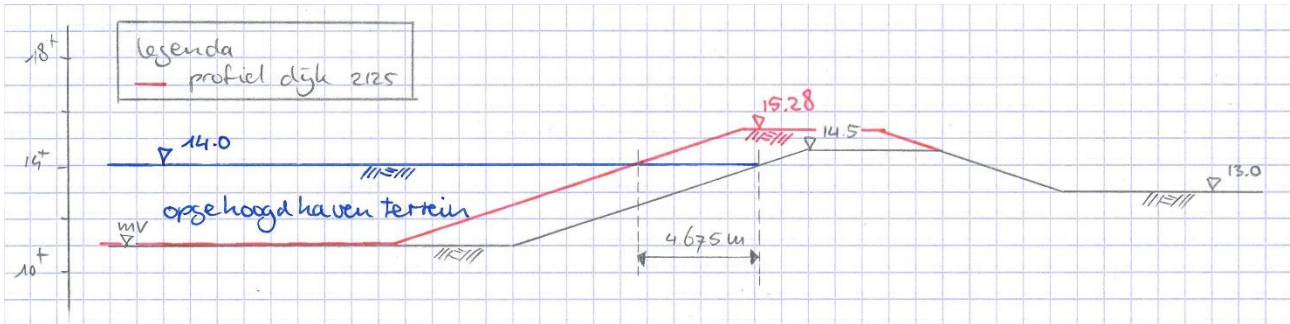
Wanneer er een doorsnede wordt gemaakt ter plaatse van de desbetreffende dijk wordt het hoogteprofiel in Figuur 15 verkregen. Uit dit figuur kan geconcludeerd worden dat de huidige kruinhoogte van de dijk ligt op NAP +14,5 m en een kruinbreedte heeft van 5 m. Voor het profiel van vrije ruimte van de dijk wordt het de kruinhoogte vastgesteld op NAP +15,28 m in 2125. Dit betekent dat de huidige dijk ongeveer 0,8 m wordt opgehoogd in de komende eeuw.



Figuur 15: huidig representatief dijkeprofiel uit het Actueel Nederlands Hoogtebestand

### 9.3 Dijkprofiel voor zichtjaar 2125

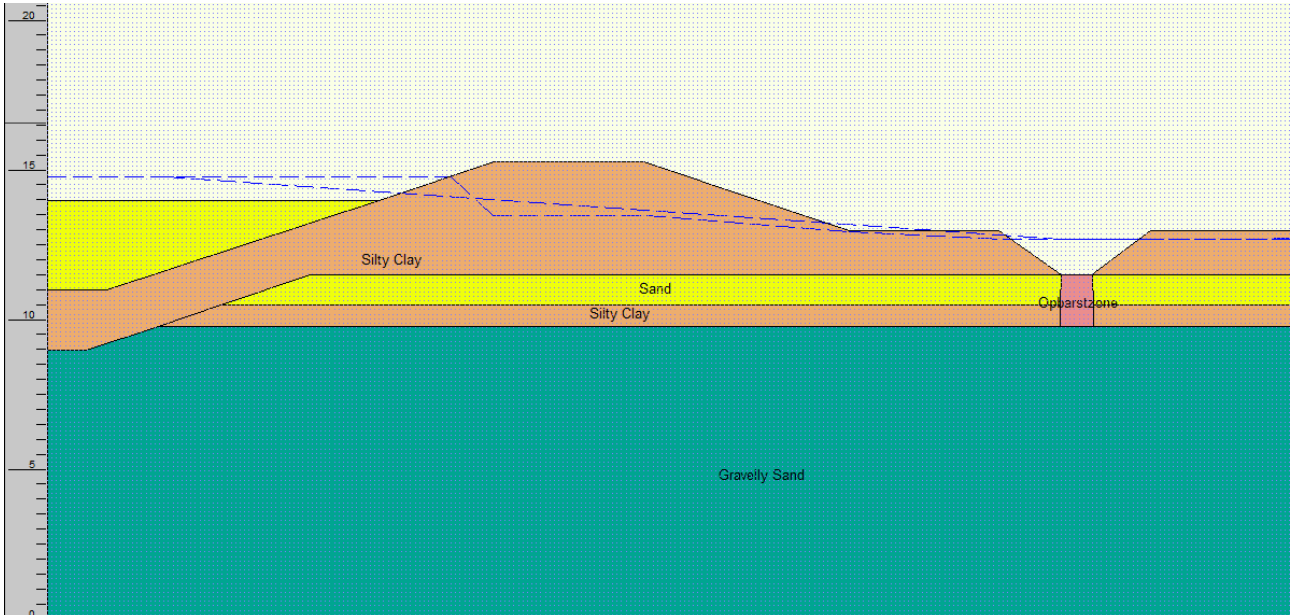
In deze paragraaf wordt er gekeken naar het profiel van de toekomstige dijk. Het profiel met taludhelling 1:3 wordt aangehouden met de kruinhoogte die in paragraaf 3.6.1 is aangegeven. De huidige kernzone en legger zonerings blijven van toepassing op het huidige maaiveld. Het dijkprofiel voor het zichtjaar 2125 is gegeven in Figuur 16. In deze figuur is te zien dat de fysiek extra gereserveerde ruimte voor de dijk ongeveer 5 m van het haventerrein bedraagt. Onder het haventerrein loopt de ruimtelijke reservering door.



Figuur 16: Dijkprofiel voor zichtjaar 2125

### 9.4 Macrostabiliteit

De waterstand voor zichtjaar 2125 is NAP +14,80 m. Er wordt eerst een berekening uitgevoerd met Bishop model en vervolgens met het UpliftVan model. De geometrie van het dijklichaam is weergegeven in Figuur 17. De resultaten van de beide berekeningen zijn samengevat in Tabel 18 en in Bijlage E zijn de maatgevende glijcirkels opgenomen.



Figuur 17: Geometrie dijklichaam 2125

Dit voor macrostabiliteit maatgevende profiel bevindt zich in de oksel van de Boxmeerseweg en de dijk parallel aan het geplande haventerrein bij dijkspaal 55.054.

Tabel 18: Resultaat macrostabiliteit dijkprofiel 2125

Macrostabiliteit dijk 2125	Model	Veiligheidsfactor	Veiligheidseis	Voldoet
Standaard 1:3 profiel	Bishop	1,46	1,28	Ja
	UpliftVan	1,43	1,22	Ja

Omdat de waterstand met een terugkeertijd van 1/300 in 2125 hoger is dan de 1/1000 waterstand in 2050 kan tevens worden geconcludeerd dat er aan de signaleringswaarde in 2050 wordt voldaan ten aanzien van macrostabiliteit.

## 9.5 Piping

Met Sellmeijer (nieuwe rekenregel 2011) wordt een minimale kwelweglengte bepaald om piping te voorkomen. Deze minimale kwelweglengte wordt vergeleken met de aanwezige kwelweglengte. Op basis hiervan kan een toetsoordeel worden gegeven. Vooruitlopend op de wettelijke beoordeling die in 2023 gereed moet zijn, is dit toetsoordeel opgesteld.

Het dijkprofiel van 2125 heeft een breedte van 25 m. Deze lengte plus de aangebrachte klei met een gemiddelde breedte van 15 m [ref 11] als gevolg een pipingmaatregel in het verleden kan worden gerekend tot de kwelweglengte.

De breedte van het totale voorland op het maatgevende punt is 220 m. Uit de beschikbare boringen komt naar voren dat eigenlijk overal klei aanwezig is in lagen met verschillende diepteligging en voor piping voldoende dikte. Hieruit wordt de indruk verkregen dat voldoende intredeweerstand aanwezig is, hetgeen in het kader van de waterwetvergunning nog nader zal moeten worden aangetoond.

Er is echter ook vuistregel die zegt dat voor de aanwezige klei in het voorland maximaal twee keer de breedte van de dijk tot kwelweg gerekend mag worden. Derhalve wordt de aanwezige kwelweg vooralsnog aangehouden op 75 m.

Voor het peil in de sloot is NAP +12,7 m aangehouden (zie Figuur 17). Wanneer piping optreedt zal conform de vorige schematisatie (voor macrostabiliteit) de lengte van het opbarstkanaal 1,75 m bedragen. Het resultaat van de Sellmeijer berekening met deze parameters is gepresenteerd in Tabel 19. Er dient vermeld te worden dat de bermzone valt binnen het profiel van vrije ruimte en in de toekomst lokaal moet worden aangevuld met klei tot een hoogte van NAP +13 m.

Tabel 19: Resultaat piping dijkprofiel 2125

Piping dijk 2125	Aanwezig verval (m) ( $\Delta H-0,3d$ )	Rekenwaarde toelaatbaar verval (m) ( $\Delta H_0$ )	Voldoet
Standaard 1:3 profiel	1,58	1,59	Ja

Omdat de waterstand met een terugkeertijd van 1/300 in 2125 hoger is dan de 1/1000 waterstand in 2050 kan tevens worden geconcludeerd dat er aan de signaleringswaarde in 2050 wordt voldaan ten aanzien van piping.



## 9.6 **Bebouwing**

De aanwezigheid van de waterkering heeft mogelijk ook invloed op de inrichting van het toekomstige bedrijventerrein. In de nabijheid van de waterkering zijn bijvoorbeeld geen kelders bij bedrijfsgebouwen toegestaan, of alleen met extra maatregelen. Ook voor de minimale afstand van deze bedrijfsgebouwen tot aan de waterkering zijn er mogelijk beperkingen. Dit dient in het bestemmingsplan zowel in de toelichting als in de planregels op hoofdlijnen tot uitdrukking te komen. In de waterwetvergunning dient dit tot voldoende detailniveau te worden vastgelegd. In het bestemmingsplan zullen overigens op de verbeelding ook de beperkingenzones rond de waterkering moeten worden opgenomen (kernzone, (buiten)beschermingszone).

## 10 MEERPALLEN

### 10.1 Inleiding

Aan de haventaluds zullen meerpalen worden ontworpen waar de schepen kunnen aanmeren bij de haven. Gevraagd is een inschatting te maken voor de dimensies en kosten van deze meerpalen op basis van vuistregels en expert judgement. In dit hoofdstuk wordt dit verder behandeld. Gebruik wordt gemaakt van het document "Handreiking rekenmethodieken NIC" van Rijkswaterstaat voor het kwantificeren van de belasting [ref 10]. Er wordt gekozen voor een buispaal ontwerp. Verder zijn de afmetingen gebaseerd op vuistregels en productiematen.

### 10.2 Belastingen

#### Aanvaarbelasting

De belasting op de te ontwerpen meerpalen zijn is van de scheepsvaartklasse die is toegestaan in de haven. Wanneer de scheepsvaartklasse van de Maas wordt aangehouden betreft dit de CEMT-klasse Vb. Een vuistregelwaarde voor de energiewaarde bij meerpalen is 120 kNm. Dit betreft een component loodrecht op de constructie.

Maximale botskrachten per scheepsvaartklasse zijn vastgesteld in verband met mogelijke beschadigingen aan het schip. Kenmerkende waarden voor de belastingparameters zijn:

- Botskracht: 200 kN voor klasse I tot 1200 kN voor klasse VI
- Vaarsnelheid: 3,0 m/s voor klasse I tot 1,5 m/s voor klasse VI
- Hoeksnelheid: 0,01 rad/s voor klasse I tot 0,004 rad/s voor klasse VI

Voor de tussenliggende klassen dient lineair te worden geïnterpoleerd. De belasting die hoort bij CEMT-klasse Vb is 1000 kN. Er kan een vaarsnelheid worden aangehouden van 1,8 m/s en een hoeksnelheid van 0,0072 rad/s.

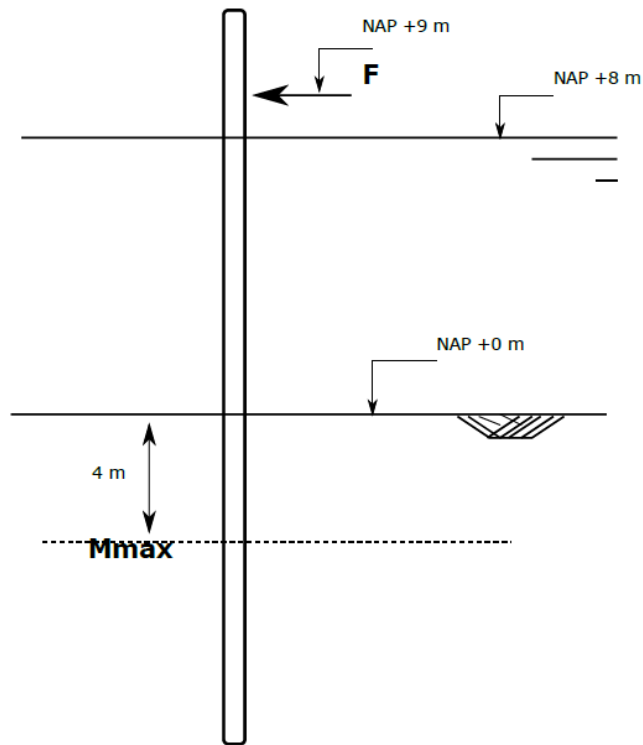
#### Bolderkrachten

De bolderconstructie heeft de functie om de troskrachten van een schip over te dragen naar de meerpaal. De bolderkracht kan worden beschouwd als een statische trekkracht die over een gebied van 180 graden kan optreden. Volgens de CUR 166 kan de bolderkracht worden bepaald per scheepsvaartklasse. Voor de karakteristieke waarde voor de bolderkracht voor klasse V kan 250 kN worden aangehouden.

### 10.3 Dimensionering op basis van vuistregels

Om een eerste indicatie te geven van de dimensionering van de meerpalen is gebruik gemaakt van vuistregels. Verondersteld wordt dat de hoogte van de afmeerpaal op NAP +14 m komt. Een gangbare vuistregel voor het inschatten van de inheidiepte is dat de helft van de paal boven en de andere helft onder de grond zit. Dit komt neer op een paal met een lengte van 28 m met een inheidiepte van NAP -14 m.

Het stuwpeil op de Maas is NAP +8 m. Als uitgangspunt is aangenomen dat een schip 1 m boven het stuwpeil aanmeert. Het maximale moment in de paal treedt ongeveer 4 m onder de waterbodem op. Verder dient er rekening gehouden te worden met een partiële factor van 1,35 op de belasting. De situatie is geschetst in Figuur 18.



Figuur 18: Situatieschets meerpaal

Op basis van het bovenstaande is het maximale moment in de meerpaal berekend op:

$$M_{max} = 1,35 \cdot F \cdot d = 1,35 \cdot 1000 \cdot 13 = 17550 \text{ kNm}$$

Als eerste inschatting is hierbij een staalprofiel (staalkwaliteit X70) met een diameter van 1620 mm en een wanddikte van 22 mm aangehouden met een elastische momentcapaciteit van 21113 kNm.

## 10.4 Conclusie meerpalen

Als indicatie kunnen ten behoeve van het aanleggen van schepen tot en met CEMT-klasse Vb meerpalen worden gebruikt met een diameter van 1620 mm en een wanddikte van 22 mm.

## 11 VARIANT HOOGTE BEDRIJVENTERREIN

In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op de effecten wanneer het bedrijventerrein op NAP +15 m hoogte wordt aangelegd.

Het verschil in zetting door 1 m extra op te hogen is marginaal (orde 1 cm). Dit komt omdat binnen het gebied enkel zwaar overgeconsolideerde klei voorkomt waarvan de dikte beperkt is. Tevens is de belastingtoename ten opzichte van het beschouwde alternatief klein.

Een hoger haventerrein geeft in theorie een iets lagere stabiliteitsfactor. Wanneer de taluds echter worden ontworpen als voorgesteld in Hoofdstuk 6 (met een doorlopend talud) geldt dit echter niet omdat:

De afschuifveiligheid wordt gedomineerd door de gehanteerde taludhelling en de zwaarte van de bestorting. Gezien de vorm en locatie van het afschuifvlak (ligt bovenin het talud) is te concluderen dat het ophogen van het haventerrein de stabiliteit niet nadelig zal beïnvloeden. In de situatie waarbij een doorgetrokken talud over dusdanige lengte wordt toegepast wordt het stabiliteitsvraagstuk volledig gedomineerd door de taludhelling en niet door de hoogte.

Deze variant heeft echter mogelijk wel invloed op de bestaande waterkering. Met een aanleghoogte van NAP +15 m, komt het bedrijventerrein namelijk boven de huidige waterkering uit. Naar verwachting pakt dit gunstig uit voor de waterkering, omdat gunstige bijdragen van hooggelegen voorlanden meegenomen mogen worden bij de veiligheidsbeoordeling. Dit is een inverdieneffect van de POV voorlanden. Indien deze variant in het voorkeursalternatief wordt gekozen dienen aanvullende berekeningen dit voordeel te onderbouwen. Tevens dienen daarbij uiteraard uitvoeringsaspecten mee in beschouwing te worden genomen.

## 12 VARIANT DAMWANDEN

### 12.1 Inleiding

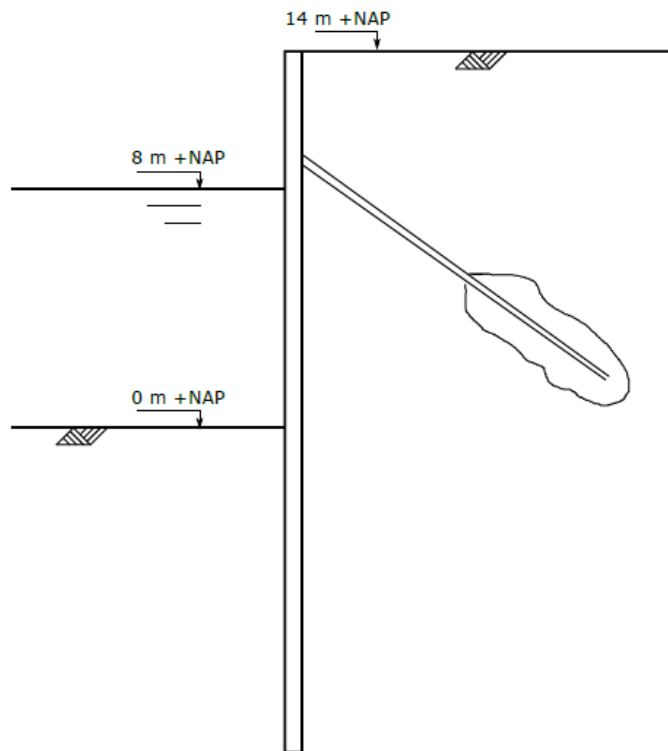
In de alternatieven wordt een loswal gerealiseerd met een talud en meerpalen. In dit hoofdstuk wordt een variant onderzocht waarbij de loswal wordt gerealiseerd met behulp van een damwandconstructie. In dit hoofdstuk wordt een globale berekening gemaakt van een damwandconstructie aan de oost- of westzijde van het nieuwe bedrijventerrein die in de toekomst de functie van de haventaluds kan overnemen (aangezien het een indicatieve berekening betreft wordt de situatie aan de noordzijde waar zich het onderwaterdepot bevindt nu niet in beschouwing genomen, dat gebeurt in de rapportage van het voorkeursalternatief). Het grootste voordeel van een damwandconstructie is het efficiëntere ruimtegebruik. Schepen kunnen hierdoor dichterbij de kade komen waardoor het makkelijker is deze vol te laden met kranen vanaf de kade. In dit hoofdstuk worden de ontwerpaspecten van deze mogelijke damwand uitgelicht. Voor het ontwerpen van de damwandconstructie wordt gebruik gemaakt van het rapport CUR 166. De damwandconstructie zal worden berekend met behulp van het programma D-Sheet Piling.

De methode die wordt aangehouden om de damwand op stabiliteit te toetsen volgt de CUR 166. Met deze methode dient de constructie ingedeeld te worden in een bepaalde veiligheidsklasse. De damwandconstructie die bij de havenuitbreiding wordt beschouwd valt in veiligheidsklasse II. De constructie wordt berekend op de uiterste grenstoestand (UGT) voor het bepalen van de stabiliteit en in de bruikbaarheid grenstoestand (BGT) voor het bepalen van de verplaatsing.

### 12.2 Voorontwerp op basis van vuistregels

In deze sectie wordt een zeer globaal ontwerp voorgesteld op basis van vuistregels. In de meeste Nederlandse omstandigheden kan gebruik worden gemaakt van stalen damwanden. Gezien de beschikbare installaties kan over het algemeen een maximale damwandlengte van 25 m worden aangehouden.

Bij een vrije wand (niet verankerd) kan als eerste schatting worden aangehouden dat  $2/3$  van de wand onder de grond moet zitten. Bij een verankerde wand kan op basis van vuistregels worden aangehouden dat  $1/2$  van de wand onder de grond moet zitten. Een schets van de situatie voor de damwand aan de haven is gegeven in Figuur 19.



Figuur 19: ontwerpschets damwand, met gemiddelde waterstand (zonder veilige aanname voor waterstandsverschil)

Gezien de diepte wordt gekozen voor een verankerde wand (aan de zijde van de bestaande haven is de damwand ook zo uitgevoerd). Wanneer er wordt uitgegaan van de vuistregels betekent dat de helft van de wand onder het linker maaiveldniveau moet liggen. Dit betekent in dit geval dat er een damwandlengte nodig is van 28 m. Dit is ongebruikelijke en onpraktische lengte. Er wordt daarom een meer gedetailleerde analyse gedaan met D-Sheet Piling om het ontwerp te optimaliseren en de damwandlengte te reduceren.

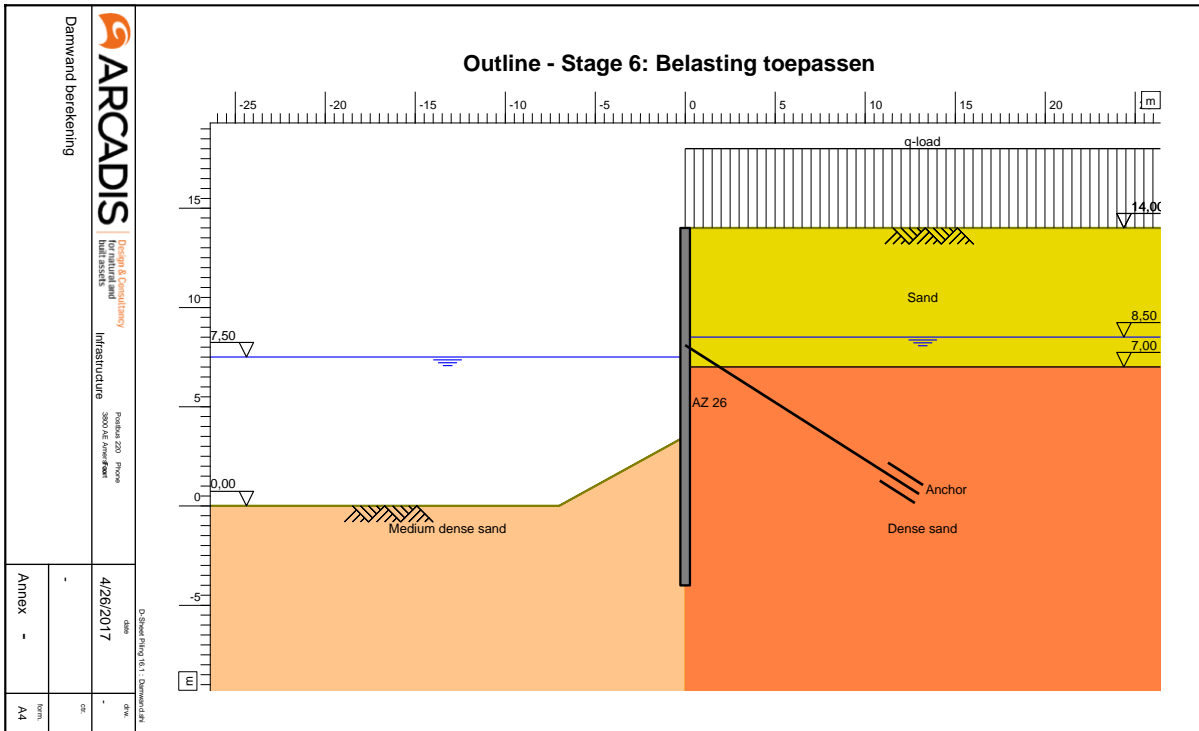
### 12.3 Damwand ontwerp met D-Sheet Piling

Uit het voorontwerp gebaseerd op vuistregels volgt dat er behoefte is aan een nadere analyse met betrekking tot het damwandontwerp. Een gedetailleerder ontwerp is in deze paragraaf uitgewerkt. In het programma D-Sheet Piling zit een verificatie module die CUR 166 aanhoudt. De betreffende damwand is in te delen in veiligheidsklasse II.

De te ontwerpen damwand dient in alle constructiefases veilig te zijn. Verder worden er aan het definitieve ontwerp eisen gesteld met betrekking tot de horizontale verplaatsing van de wand. Vanuit Rijkswaterstaat wordt gesteld dat een definitieve damwand een maximaal horizontale verplaatsing mag hebben van 100 mm.

Voor deze sectie is gekozen voor een AZ-26 profiel met staalkwaliteit S355. De gekozen lengte van de damwand is 18 m (en is vergelijkbaar met de damwandlengte langs de bestaande haven). Het anker is ingebracht NAP +8,1 m onder een hoek van 30 graden. Het ontwerp van deze damwand is weergegeven in Figuur 20. De maatgevende belasting situatie is een uniform verdeelde belasting van 50 kN/m<sup>2</sup>.

In damwandberekeningen is het gebruikelijk om een verval over de damwand aan te houden. Gelet op de zandige bodem is in dit geval uitgegaan van 1 m.



Figuur 20: ontwerp damwand AZ-26 profiel met anker en veiligheidshalve 1 m verval over de damwand rond stuwpeil NAP +8 m (plus of min 0,5 m als veilige aanname voor het waterstandsverschil)

Dit ontwerp is doorgerekend met behulp van D-Sheet Piling aan de hand van de methode zoals voorgeschreven in de CUR 166. De resultaten van deze samengevat berekening zijn te vinden in Tabel 20.

Tabel 20: samengevatte resultaten damwandberekening

Maximaal moment (kNm/m)	Maximale dwarskracht (kN/m)	Maximale ankerkracht (kN/m)	Maximale verplaatsing (mm)
527	349	630	78

Het maximaal moment moet kunnen worden opgenomen door het damwandprofiel. Er dient ook rekening te worden gehouden met corrosie die de sterkte van de damwand aantast. Voor een damwand met een levensduur van 100 jaar in zoet water condities kan een corrosietoeslag van 1,4 mm worden aangehouden.

Wanneer gekozen wordt voor staalkwaliteit S355 wordt gekozen heeft het profiel een elastische momentcapaciteit van 639 kNm/m. Om te corrigeren voor het optreden van corrosie wordt een reductie op de momentcapaciteit van 15% toegepast. De momentcapaciteit wordt dan 543 kNm/m. Er kan worden geconcludeerd dat de damwand voldoet aan de veiligheidseis volgens EC7 (u.c. =  $596/707 = 0,84$ ).

De maximale ankerkracht is 559 kN/m. Uit veiligheidsoverwegingen dient volgens de CUR 166 correctiefactoren te worden toegepast op de rekenwaarde van de ankerbelasting.

Er wordt gekozen voor een Titan 73/45 injectieanker. De specificaties van dit ankertype zijn:

- Diameter anker: 70 mm
- Diameter groutlichaam: 200 mm
- Maximale capaciteit: 1585 kN

Het gekozen anker wordt getoetst zoals voorgeschreven in de CUR 166.



**Ankerstaaf:**

Rekenwaarde belasting per meter:	1,25*630 = 788 kN/m
h.o.h. afstand:	1,5 m
Rekenwaarde belasting:	1,5*788=1182 kN
Check:	1585 kN > 1182 kN

Voor de toetsing van het ankerlichaam kan de minimale houdkracht van het anker worden berekend met de empirische relatie:

$$R_{a,min} = 0,015 \cdot q_{c,gem} \cdot \pi \cdot d \cdot L$$

Waarin:

$R_{a,min}$	indicatie van minimale houdkracht
$q_{c,gem}$	gemiddelde conusweerstand in zandlaag
d	diameter groutlichaam
L	lengte groutlichaam in de zandlaag

Het volledige anker bevindt zich in de zandlaag. Een representatieve gemiddelde conusweerstand voor deze laag is 15 MPa. De benodigde lengte van het groutlichaam kan worden berekend.

**Ankerlichaam:**

Rekenwaarde belasting per meter:	1,1*630=693 kN/m
h.o.h. afstand:	1,5 m
Rekenwaarde belasting:	1,5*693=1040 kN
Lengte groutlichaam:	8 m
Toelaatbare belasting:	1131 kN
Check:	1131 kN > 1040 kN

## 12.4 Constructiefases

Het plaatsen van de damwand vindt in verschillende fases plaats. De damwanden zullen worden geplaatst nadat het talud is aangelegd. Verschillende constructiefases kunnen worden onderscheiden. Gezien de onzekerheid van de locatie van de kleilaag wordt geadviseerd het anker onder een hoek in te brengen naar de diepere zandlaag. In deze laag is het zand dichter gepakt en dit zal leiden tot een sterkere ankerconstructie door meer frictie tussen het zand en het groutlichaam. De fasering van de damwand aanleg zal nader worden gedetailleerd in de rapportage van het voorkeursalternatief.

## 12.5 Conclusie damwandconstructie

Met behulp van DSheet-Piling is een ontwerp gemaakt van de damwandconstructie. Er kan worden gekozen voor een verankerd AZ-26 profiel met staalkwaliteit S355 met een lengte van 18 m. Voor de verankering kan worden gekozen voor een Titan 73/45 injectieanker met een lengte van 15 m. De hart-op-hart afstand van de ankers wordt dan 1,5 m. Het anker dient te worden ingebracht onder hoek van 30 graden (t.o.v. horizontaal) op een niveau van NAP +8,10 m. In het anker wordt een voorspanning aangebracht van 150 kN/m.

## 13 EFFECTEN, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Gelet op de toenemende vraag naar watergebonden bedrijventerrein (per schip te bereiken) met bijbehorende overslagmogelijkheden bestaat er behoefte aan uitbreiding van Haven Heijen cq nieuw bedrijventerrein voor watergebonden bedrijvigheid. Ten behoeve van dit planvoornemen is een m.e.r.-procedure doorlopen voor de benodigde bestemmingsplan wijziging en vergunningen. Het onderhavige geotechnisch onderzoek maakt hier deel van uit. In dit onderzoek worden de geotechnische consequenties van drie alternatieven en twee varianten in beeld gebracht.

De drie alternatieven hebben vanuit de geotechniek gezien geen onderscheidende effecten. Onder andere de zettingen en maatregelen ter verbetering van de stabiliteit zijn in alle alternatieven gelijk. In alternatief 2 is de erosie van de smalle landtong tussen de haven en de Maas een punt van aandacht. Echter door het juiste beheer toe te passen is er geen significant effect te verwachten. Dit beheer is tevens noodzakelijk voor normaal gebruik van de haven.

Wat betreft de beide varianten geeft allereerst een haventerrein op NAP +15 m ten opzichte van NAP +14 m iets meer zetting en een iets lagere stabiliteitsfactor. Het verschil in zetting is echter marginaal (orde 1 cm) en de afschuifveiligheid wordt vooral bepaald door taludhelling en de zwaarte van de bestorting. Aangezien deze niet veranderen en alleen het talud beperkt langer wordt zal de afschuifveiligheid niet noemenswaardig veranderen. Geotechnisch gezien geeft de aanleg op NAP +14 m of op NAP +15 m geen onderscheidende uitkomsten.

Voor wat betreft de tweede variant, het aanbrengen van de damwand, is er een beperkt effect te verwachten tijdens de uitvoering. Hierbij moet vooral gedacht worden aan trillingen en transport.

De resultaten zijn samengevat als volgt:

- De verwachte zettingen die representatief zijn voor het hele gebied liggen rond de 1 dm. Gezien de ervaring in binnen dit gebied (en de conservatieve inschatting van de zettingsparameter voor klei) kan dit worden gezien als een bovengrens voor de verwachte zetting;
- De huidige ontwerpen van de haventaluds voldoen niet aan de veiligheidsnormen zoals zijn voorgeschreven in NEN 1997-1. Er zijn verschillende stabiele alternatieve ontwerpen aangeboden. Het efficiëntste ruimtegebruik wordt behaald wanneer er wordt gekozen voor een doorlopend talud van 1:2 met bestorting;
- Voor de erosiebestendigheid dient allereerst geotextiel te worden aangebracht op het normale talud, waarover een filterlaag laag wordt gestort. Voor deze filterlaag kan worden gekozen voor een sortering van 40/100 mm (dikte 20 cm). De toplaag bestaat uit 40-200 kg bestorting en heeft een dikte van 53 cm;
- Voor de stabiliteit van de stroomgeleidende oever wordt geadviseerd gebruik te maken van een talud van 1:2 met een middenberm van 1 m ter hoogte van het stuwpeil van NAP +8 m (een bredere middenberm kan overigens ook, maar een steiler talud niet). De middenberm (geschikte groeiplaatsomstandigheid) kan worden beplant met riet of met liesgras;
- Voor het profiel van vrije ruimte van de dijk beslaat ongeveer 5 m van het toekomstige haventerrein. Deze ruimte moet hiervoor worden gereserveerd. Wanneer de dijk conform uitgangspunten wordt opgehoogd ontstaan er geen problemen omtrent macrostabiliteit of piping;
- Als indicatie kunnen ten behoeve van het aanleggen van schepen tot en met CEMT-klasse Vb meerpalen worden gebruikt met een diameter van 1620 mm en een wanddikte van 22 mm;
- De variant hoogte bedrijventerreinen is geotechnisch gezien niet onderscheidend;
- Voor de variant damwanden is een eerste indicatie gegeven voor de dimensionering van de constructieve elementen. Deze dienen nader te worden uitgewerkt in de rapportage van het voorkeursalternatief.

Resumerend wordt aanbevolen wanneer gekozen wordt voor taluds deze uit te voeren onder een helling van 1 op 2 inclusief toepassing van stortsteen om daarmee flauwere taluds te voorkomen en het laden en lossen van schepen te vergemakkelijken.

## 14 VOORKEURSALTERNATIEF

De aanleiding is reeds in paragraaf 1.1 beschreven.

### 14.1 Alternatievenafweging in milieueffectrapportage

#### Algemeen

De uitbreidingsbehoefte van Haven Heijen is door de initiatiefnemers vertaald in een planvoornemen, dat is voorgelegd aan de bevoegde gezagen. Uiteindelijk hebben deze bevoegde gezagen er onder voorwaarden mee ingestemd hun medewerking te verlenen aan dit planvoornemen en is de procedure om te komen tot bestemmingsplanwijziging en vergunningverlening van start gegaan met het doorlopen van de m.e.r.-procedure. Nadat deze m.e.r.-procedure is doorlopen, is naar aanleiding van de daarin gegeven resultaten een voorkeursalternatief bepaald, waarmee de verdere procedure van bestemmingsplanwijziging en vergunningverlening wordt ingezet.

In het MER zijn een nulalternatief (referentiesituatie), drie inrichtingsalternatieven op het planvoornemen en vijf varianten onderzocht. Mede op basis van het MER is vast komen te staan dat alternatief 2 'bedrijven met haven' inclusief enkele, beperkte aanpassingen (zie verderop) enerzijds het meest recht doet aan de doelen gesteld aan het planvoornemen en anderzijds voor wat betreft de meest bepalende milieueffecten de voorkeur heeft.

#### Toets aan plandoelen

Voor het planvoornemen is een hoofddoel bepaald. Het hoofddoel is om de bestaande haven uit te breiden met een nieuw watergebonden bedrijventerrein inclusief overslagkade. In alle alternatieven wordt hier in meer of mindere mate aan voldaan. Tussen de alternatieven bestaan verschillen waaronder verschillen in oppervlakte (watergebonden) bedrijventerrein en kadellengte. In alternatief 3 is de omvang van het nieuwe bedrijventerrein en de kadellengte het grootst, gevolgd door alternatief 2 en vervolgens alternatief 1. Met name in de alternatieven 2 en 3 ontstaat voor de initiatiefnemers voldoende watergebonden bedrijventerrein en kadellengte. In alternatief 1 is de oppervlakte watergebonden bedrijventerrein beperkter, net zoals de kadellengte. Dit omdat het nieuwe bedrijventerrein slechts aan één zijde in directe verbinding met de haven staat. Alternatief 1 beantwoordt dan ook niet voldoende aan het hoofddoel.

Naast het hoofddoel zijn twee neven-doelen gesteld:

1. Bijdragen aan de opgave voor hoogwaterbescherming;
2. Ontwikkelen van watergebonden natuur.

Van de drie onderzochte alternatieven leveren alternatief 2 en alternatief 3 de grootste bijdrage aan het eerste neven-doel, de hoogwaterbescherming, doordat de waterstands-daling op de Maas in deze alternatieven het grootste is. Alternatief 3 scoort daarbij beperkt beter dan alternatief 2. Alternatief 1 levert geen extra waterstands-daling op en blijkt na uitgebreide analyse niet te voldoen aan de benodigde rivierkundige compensatie ter verkrijging van de waterwetvergunning.

Voor het tweede neven-doel geldt dat alternatief 1 de grootste natuurbijdrage levert. In dit alternatief wordt immers een groene geul gerealiseerd. In alternatief 2 ontstaan ook kansen voor natuurontwikkeling in het zuidelijk deel van het plangebied en ter plaatse van de dam tussen de Maas en de nieuwe haven (de natuurvriendelijke oever kan aan de nieuwe havenzijde worden versterkt). In alternatief 3 zijn zeer beperkte mogelijkheden voor de ontwikkeling van watergebonden natuur. Bovendien komt in dit alternatief de natuurvriendelijke oever te vervallen. Dit alternatief levert per saldo dan ook een negatief resultaat op voor deze natuurdoelstelling.

Vanuit de plan- en neven-doelen bezien heeft alternatief 2 de voorkeur omdat het aan alle doelstellingen voldoet.

## Milieueffecten

Voor de milieueffecten worden de effecten op de woonomgeving (waaronder verkeersaantrekkende werking en geluid), natuur en waterveiligheid als het meest bepalend gezien.

De negatieve effecten op de woonomgeving zijn vanwege de relatief grote omvang van het bedrijventerrein het grootste bij alternatief 3. De alternatieven 1 en 2 scoren vergelijkbaar op de effecten op de woonomgeving, beiden zijn positiever dan alternatief 3.

De effecten op natuur en waterveiligheid zijn hiervoor beschreven bij de plandoelen.

Op basis van effecten op de woonomgeving, natuur en waterveiligheid is ook vanuit de onderzochte milieueffecten de voorkeur gegeven aan alternatief 2.

## Van alternatief 2 naar het voorkeursalternatief

Vanwege de aan het MER ten grondslag liggende onderzoeksrapporten en adviezen met betrekking tot de aspecten geotechniek, nautica en hydraulica, landschap/natuur is alternatief 2 beperkt aangepast om daarmee te komen tot het uiteindelijke voorkeursalternatief. De belangrijkste aanpassingen betreffen:

- Vanuit het aspect geotechniek bleken de taluds van 1:1,5 van het bedrijventerrein en van de Maasoever niet aan de stabiliteitseisen te kunnen voldoen. Deze zijn in het voorkeursalternatief aangepast naar taluds van 1:2;
- Vanuit het aspect nautica bleek het behouden van de oorspronkelijke steenbestorting als gevolg van de doortrekking van de Maas in de jaren '70 de toegang tot de haven te bemoeilijken. Deze bestorting is in het voorkeursalternatief verwijderd om de toegang tot de haven te verbeteren;
- Vanuit het aspect hydraulica bleek de hiervoor genoemde bestorting eveneens ongewenst en is deze ook mede hierdoor in het voorkeursalternatief verwijderd;
- Vanuit het aspect hydraulica bleek het doorstroomprofiel van de havengeul te klein. In het voorkeursalternatief is deze verbreed met als gevolg dat de oppervlakte van het bedrijventerrein iets verkleind is;
- Vanuit landschap en natuur zijn diverse land- en waterovergangen door middel van ondiepe onderwaterbermen verfijnd;
- Tenslotte maakt het toepassen van damwanden (één van de onderzochte varianten in het MER) onderdeel uit van het voorkeursalternatief. Deze damwanden kunnen direct worden toegepast, maar zullen geheel of gedeeltelijk mogelijk pas op termijn worden gerealiseerd.

Het voorkeursalternatief is uiteindelijk het plan zoals dat in het bestemmingsplan mogelijk gemaakt wordt. In hoofdstuk 14.2 wordt het plan nader beschreven.

## 14.2 Planbeschrijving

### 14.2.1 Beschrijving van de uitbreiding

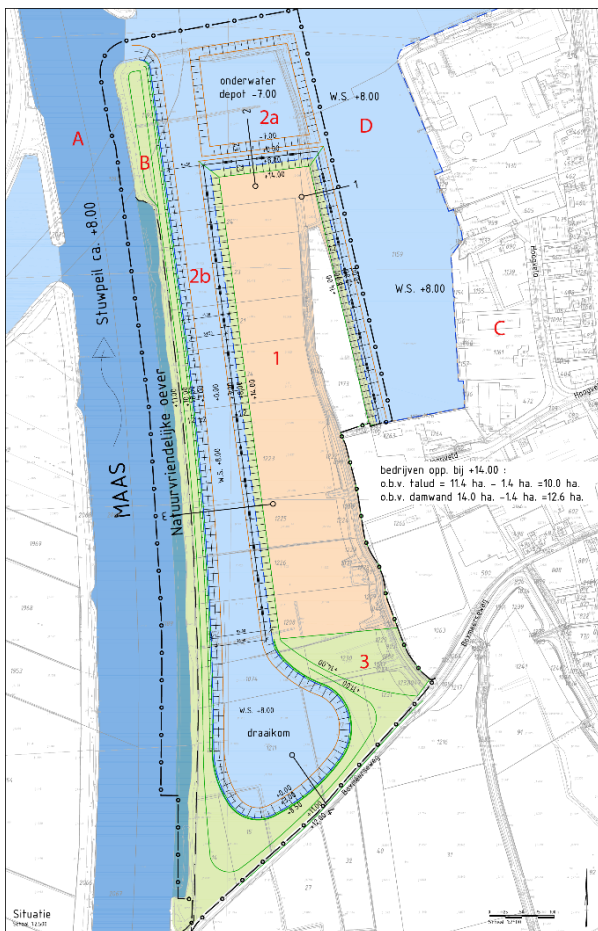
Met het plan wordt de bestaande Haven Heijen uitgebreid met een nieuw watergebonden bedrijventerrein, inclusief overslagkade. Het plan bestaat uit de volgende onderdelen (zie Figuur 21):

1. Realiseren van een watergebonden overslaglocatie / bedrijventerrein met een omvang van maximaal circa 12,6 hectare bruto (de breedte van het nieuwe bedrijventerrein is circa 140 - 180 meter) en een kadelenkte van minimaal 1.270 meter (nummer 1 in Figuur 21). Hierop wordt maximaal milieucategorie 5.2 toegestaan en is een maximale bouwhoogte van 20 meter voorzien;
2. Graven van een toegangsheul en draaikom inclusief een onderwaterdepot voor tijdelijke opslag van grondstoffen (nummers 2a en 2b in Figuur 21). Dit gebied is in totaal 14,7 hectare groot. De nieuw te graven toegangsheul krijgt tevens een functie ten behoeve van hoogwaterbescherming (meekoppelkans). 2a: Het onderwaterdepot is nodig om als er grotere hoeveelheden grondstoffen (grind) aangeboden worden dan er ter plekke verwerkt kunnen worden of vermarkt kunnen worden, deze toch kunnen worden geaccepteerd. Deze kunnen dan later weer uit depot gehaald worden om alsnog verwerkt of vermarkt te worden. Naar verwachting wordt er circa 5x per jaar materiaal in het depot gestort en wordt het depot circa 2x per jaar geleegd. Storten vindt plaats middels onderlossers danwel met een kraan op een

ponton. Het weer ophalen van de gestorte delfstoffen vindt plaats met behulp van een zuiger of een kraan. Het depot heeft een omvang van circa 3 hectare.

2b: De toegangsheul is toegankelijk voor schepen van klasse Vb, heeft een vaarbreedte van 52 tot 75 meter en is in totaal maximaal 100 meter breed en exclusief draaikom circa 720 m lang. De toegangsheul is 5 meter diep, doch heeft in verband met sedimentatie een overdiepte van 3 meter. De draaikom in het meest zuidelijke deel van de nieuwe havenarm heeft een oppervlak van circa 4,6 hectare, zodat schepen kunnen draaien;

3. Realiseren van watergebonden natuur (nummer 3 in Figuur 21). Dit gebied is circa 11,9 hectare groot.



Figuur 21: Planvoornemen uitbreiding Haven Heijen

#### Verklaring Symbolen:

A: De Maas

B: Natuurvriendelijke oever Rijkswaterstaat

C: Bestaand bedrijventerrein Hoogveld

D: Rijksvluchthaven

1: Nieuw bedrijventerrein

2a: Toegangsheul gedeelte onderwaterdepot

2b: Toegangsheul gedeelte insteekhaven

3: Watergebonden natuur

## 14.2.2 Type bedrijvigheid

Het nieuwe bedrijventerrein wordt, in tegenstelling tot het bestaande bedrijventerrein Hoogveld (inclusief de bestaande opslagstrook van AVG), niet gezoneerd in het kader van de Wet geluidhinder. Dit betekent dat grote geluidsproducerende activiteiten niet mogelijk zijn op het nieuwe bedrijventerrein. Om dit te borgen is op het bedrijventerrein alleen vestiging van bedrijven tot maximaal milieucategorie 5.2 mogelijk. Door hiervoor te kiezen wordt tevens zo veel mogelijk rekening gehouden met de wens van omwonenden om de milieubelasting niet verder toe te laten nemen.

Op dit moment is niet bekend welke bedrijven zich op het nieuwe bedrijventerrein zullen vestigen. Vanuit de gemeente is de openbaarheid van de haven en het gebruik door derden een belangrijke voorwaarde. De havenuitbreiding zal om aan het openbaar belang tegemoet te komen worden vormgegeven door middel van de oprichting van een havenbedrijf. Zodra dit bedrijf na aanleg van de haven operationeel is, zal zij aan geïnteresseerde partijen vergunningen afgeven om van de haven gebruik te gaan maken, al dan niet voor eenmalige, korte of langere tijd. Dit gebruik zal daarbij beperkt blijven tot schepen van maximaal Klasse Vb met ladingsoorten gerelateerd aan en begrensd door de Staat van bedrijfsactiviteiten die als bijlage bij de Regels van het Bestemmingsplan wordt gevoegd. Hierbij zijn onder andere activiteiten die in belangrijke mate geluidhinder kunnen veroorzaken, bedrijven die vallen onder het Besluit externe veiligheid inrichtingen en vuurwerkbedrijven uitgesloten. Meer specifieke beschrijving van scheepsomvang en ladingsoorten zal duidelijk worden na oprichting en operationeel worden van het toekomstige havenbedrijf.

## 14.2.3 Ontsluiting

Voor de ontsluiting per as van het nieuwe bedrijventerrein wordt gebruik gemaakt van de bestaande, eerder geoptimaliseerde infrastructuur van het bedrijventerrein Hoogveld. De aan- en afvoerroute van het bestaande bedrijventerrein loopt via de Hoofdstraat en de weg Hoogveld naar de N271. Vanuit de N271 kan het verkeer de A77 bereiken vanwaar het verkeer verder verspreid wordt. Deze ontsluiting geldt ook voor het nieuwe bedrijventerrein. Het nieuwe watergebonden bedrijventerrein wordt via het bestaande bedrijfsperceel van AVG ontsloten. De aan- en afvoer vindt dan ook niet plaats via de kern van Heijen.

## 14.2.4 Hoogwaterbescherming

Met de aanleg van de nieuwe toegangseuwl wordt bijgedragen aan de opgave voor hoogwaterbescherming die in het kader van het Deltaprogramma wordt uitgewerkt. Door het plan wordt de doorstroming door het gebied vergroot en ontstaat een waterstandsverlaging van circa 1 tot 2 cm (afhankelijk van de uitvoering van de kade met damwand of met talud). In combinatie met andere maatregelen die zowel stroomopwaarts als -afwaarts in het kader van het Deltaprogramma zullen worden uitgevoerd, zal de waterstandsverlaging groter uitpakken.

De as van de bestaande primaire waterkering zal niet worden verplaatst. De uitbreiding van de haven vindt tegen de bestaande waterkering plaats. Ook de onderhoudsstrook op de waterkering blijft behouden waardoor de toegang tot de waterkering gegarandeerd is.

## 14.2.5 Natuur- en landschapsontwikkeling

Het voornemen strookt met het Natuur- en Landschapsbeleid van de Provincie Limburg. De aanwezige natuurvriendelijke oever aan de oostzijde langs de Maas wordt door het initiatief geoptimaliseerd.



### 14.3 Geotechnische aspecten voorkeursalternatief

Gelet op de toenemende vraag naar watergebonden bedrijventerrein (per schip te bereiken) met bijbehorende overslagmogelijkheden bestaat er behoefte aan uitbreiding van Haven Heijen cq nieuw bedrijventerrein voor watergebonden bedrijvigheid. Ten behoeve van dit planvoornemen is na een m.e.r.-procedure doorlopen te hebben uiteindelijk voor de benodigde bestemmingsplanwijziging en vergunningen een voorkeursalternatief vastgesteld. Voor wat betreft het aspect geotechniek zijn alle aanbevelingen uit de m.e.r.-procedure onveranderd overgenomen.

Samengevat zijn de geotechnische resultaten van het voorkeursalternatief als volgt:

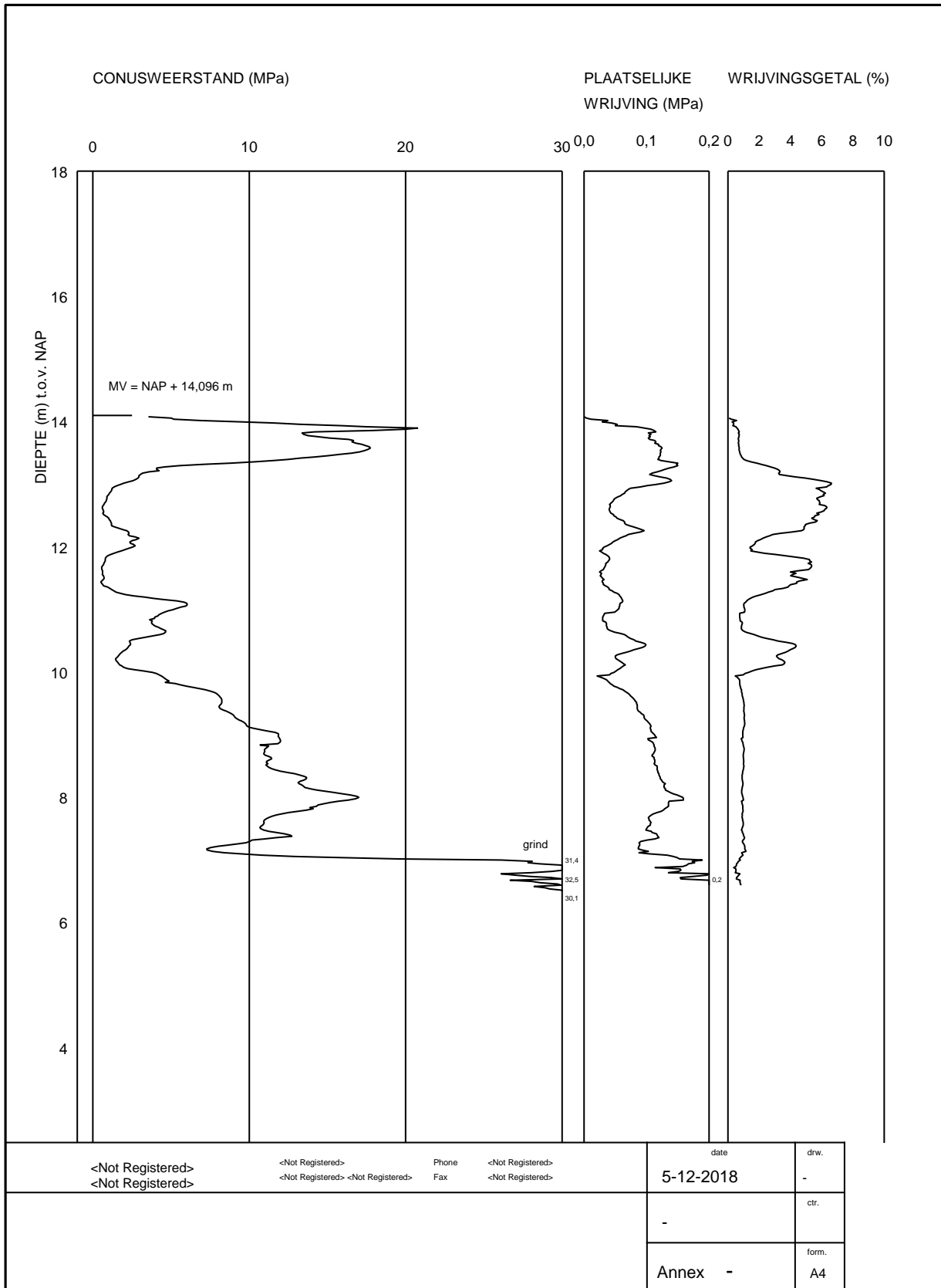
- De verwachte zettingen die representatief zijn voor het hele gebied liggen rond de 1 dm. Gezien de ervaring in binnen dit gebied (en de conservatieve inschatting van de zettingsparameter voor klei) kan dit worden gezien als een bovengrens voor de verwachte zetting;
- De ontwerpen van de haventaluds van het voorkeursalternatief voldoen aan de veiligheidsnormen zoals zijn voorgeschreven in NEN 1997-1. De taluds zijn doorlopend met een helling van 1:2 inclusief bestorting;
- Voor de erosiebestendigheid dient allereerst geotextiel te worden aangebracht op het normale talud, waarover een filterlaag laag wordt gestort. Voor deze filterlaag kan worden gekozen voor een sortering van 40/100 mm (dikte 20 cm). De toplaag bestaat uit 40-200 kg bestorting en heeft een dikte van 53 cm;
- Voor de stabiliteit van de Maasoever dient deze te worden uitgevoerd met een talud van 1:2 met een middenberm van 1 m ter hoogte van het stuwpeil van NAP +8 m (een bredere middenberm kan overigens ook, maar een steiler talud niet). De middenberm (geschikte groeiplaatsomstandigheid) kan worden beplant met riet of met liesgras;
- Voor het profiel van vrije ruimte van de dijk beslaat ongeveer 5 m van het toekomstige haventerrein. Deze ruimte moet hiervoor worden gereserveerd. Wanneer de dijk conform uitgangspunten wordt opgehoogd ontstaan er geen problemen omtrent macrostabiliteit of piping;
- Als indicatie kunnen ten behoeve van het aanleggen van schepen tot en met CEMT-klasse Vb meerpalen worden gebruikt met een diameter van 1620 mm en een wanddikte van 22 mm;
- Voor de damwanden is een eerste indicatie gegeven voor de dimensionering van de constructieve elementen.

Ten slotte wordt er voor wat betreft de uitvoeringssituatie vanuit gegaan dat er een fasering wordt toegepast waarbij werk met werk wordt gemaakt. De verwachting is hierbij dat de situatie tijdens de uitvoering in combinatie met lagere eisen niet maatgevend is ten opzichte van de eindsituatie.

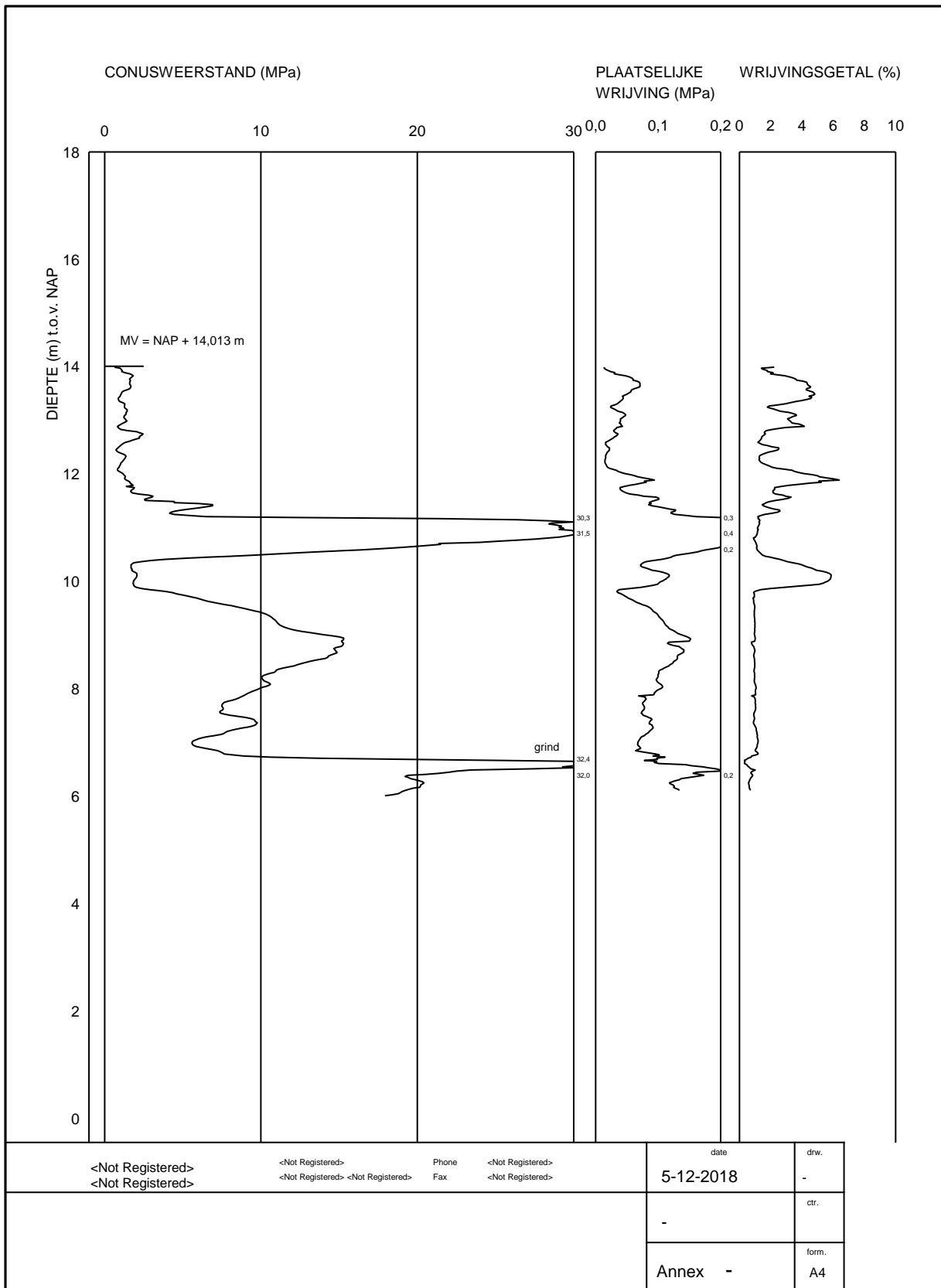
## 15 REFERENTIES

- ref 1 Waterbodem onderzoek plangebied uitbreiding haven Heijen, Econsultancy, 2016
- ref 2 De proevenverzameling van de Zandmaas, Arcadis, 2011
- ref 3 Geotechniek-TGB1990-Basiseisen en belastingen, NEN 6740, 2006
- ref 4 Handreiking ontwerpen met overstromingskans OI2014v4, Rijkswaterstaat, 2017
- ref 5 Bepaling van geotechnische parameters, CUR 2003-7, 2003
- ref 6 Breuksteen in de praktijk, CUR 197, 2000
- ref 7 The Rock Manual, Use of rock in hydraulic engineering, 2007
- ref 8 Stroomsnelheden bij de oever veroorzaakt door boegschroeven, waterloopkundig laboratorium, 1993
- ref 9 Waterloopkundige berekeningen TMR 2006 benedenrivierengebied, Rijkswaterstaat, 2007
- ref 10 Handreiking rekenmethodieken NIC, Rijkswaterstaat, 2005
- ref 11 Pipingmaatregelen RVG restpunt 5 technisch achtergrondrapport, Arcadis, 2012

# BIJLAGE A SONDERINGEN

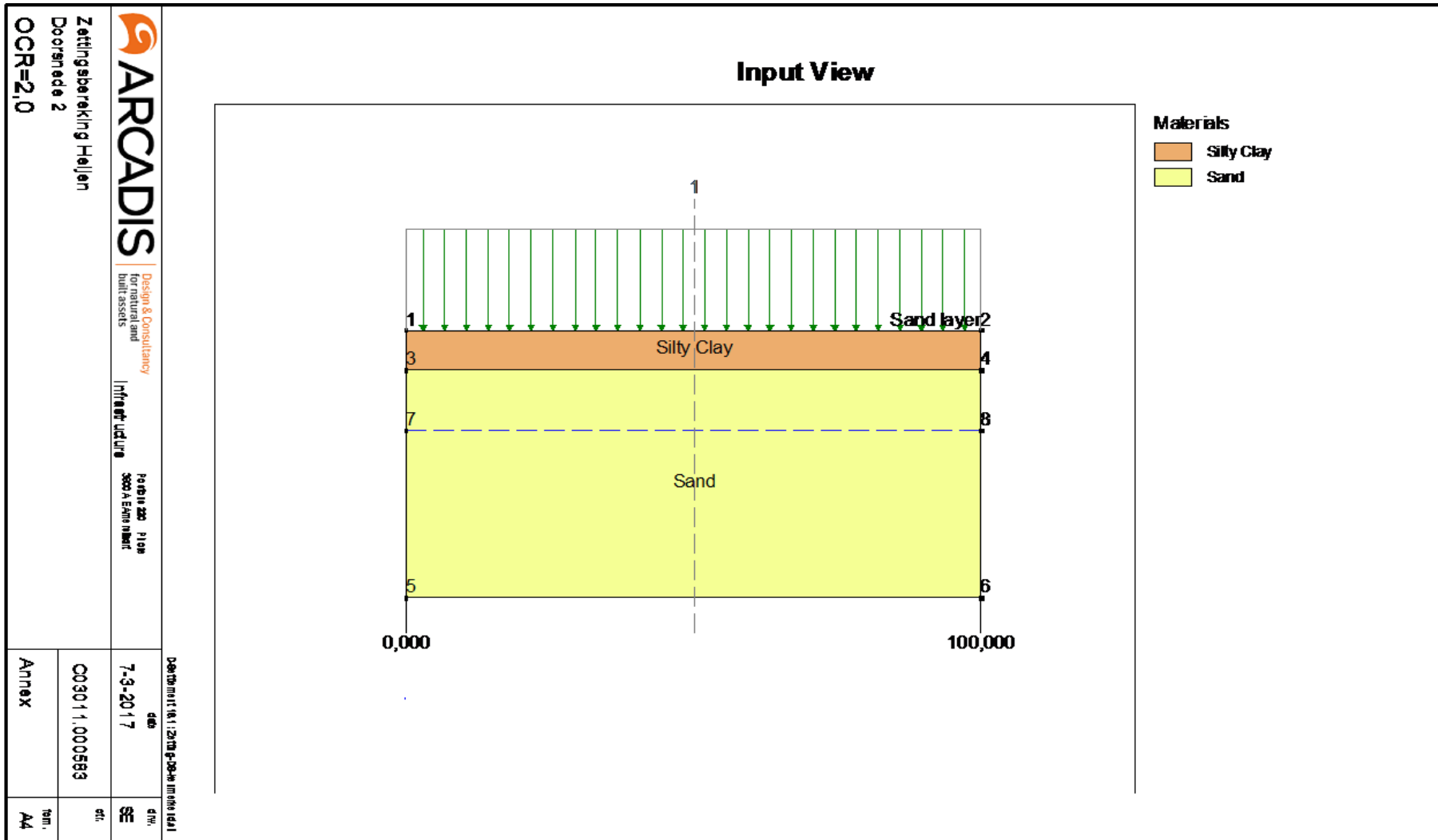


408600\_310\_SONDERING\_S46D0930\_(Gennep)



408600\_310\_SONDERING\_S46D0934\_(Genep)

BIJLAGE B ZETTINGSBEREKENINGEN



Zettingberekening Heijen  
 Doorsnede 2  
 OCR=2,0

**ARCADIS** Design & Consultancy  
 for natural and built assets  
 Postbus 2500  
 3920 Assen  
 Infrastructure

D-settlement: 1.1 : Zetting-2.5 - annex 2.11

date  
 7-3-2017

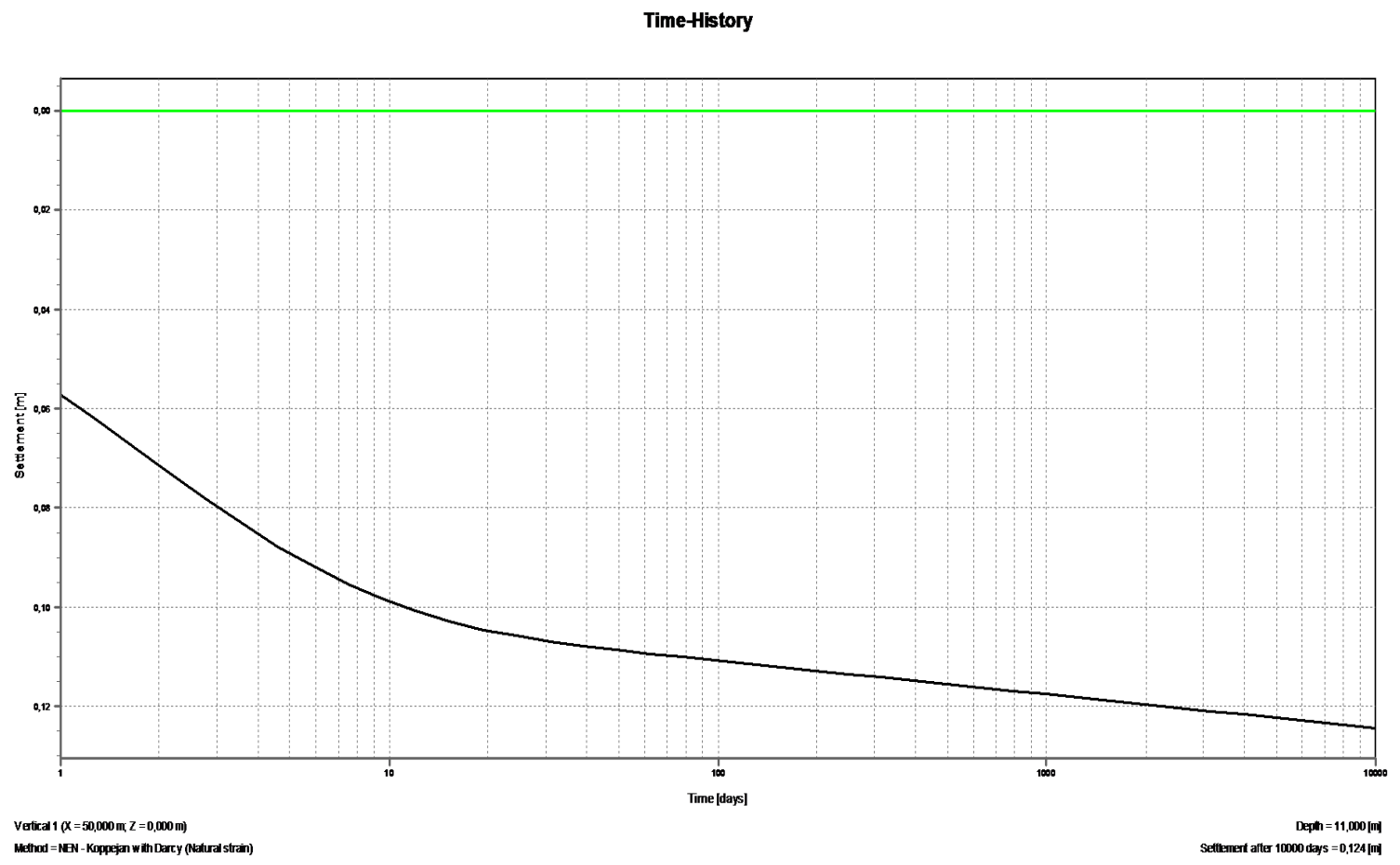
C03011.000583

Annex

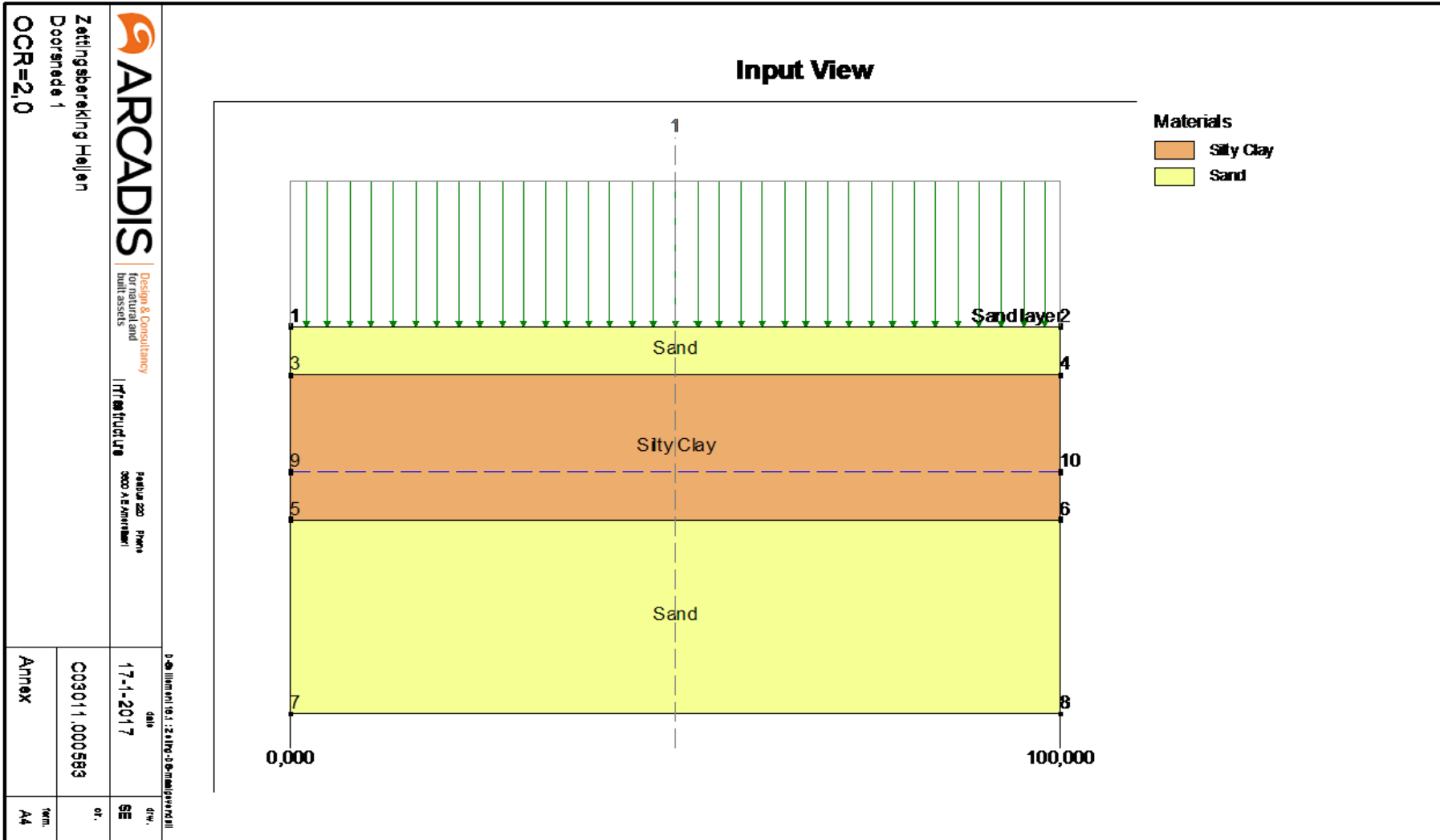
drw.  
 SE

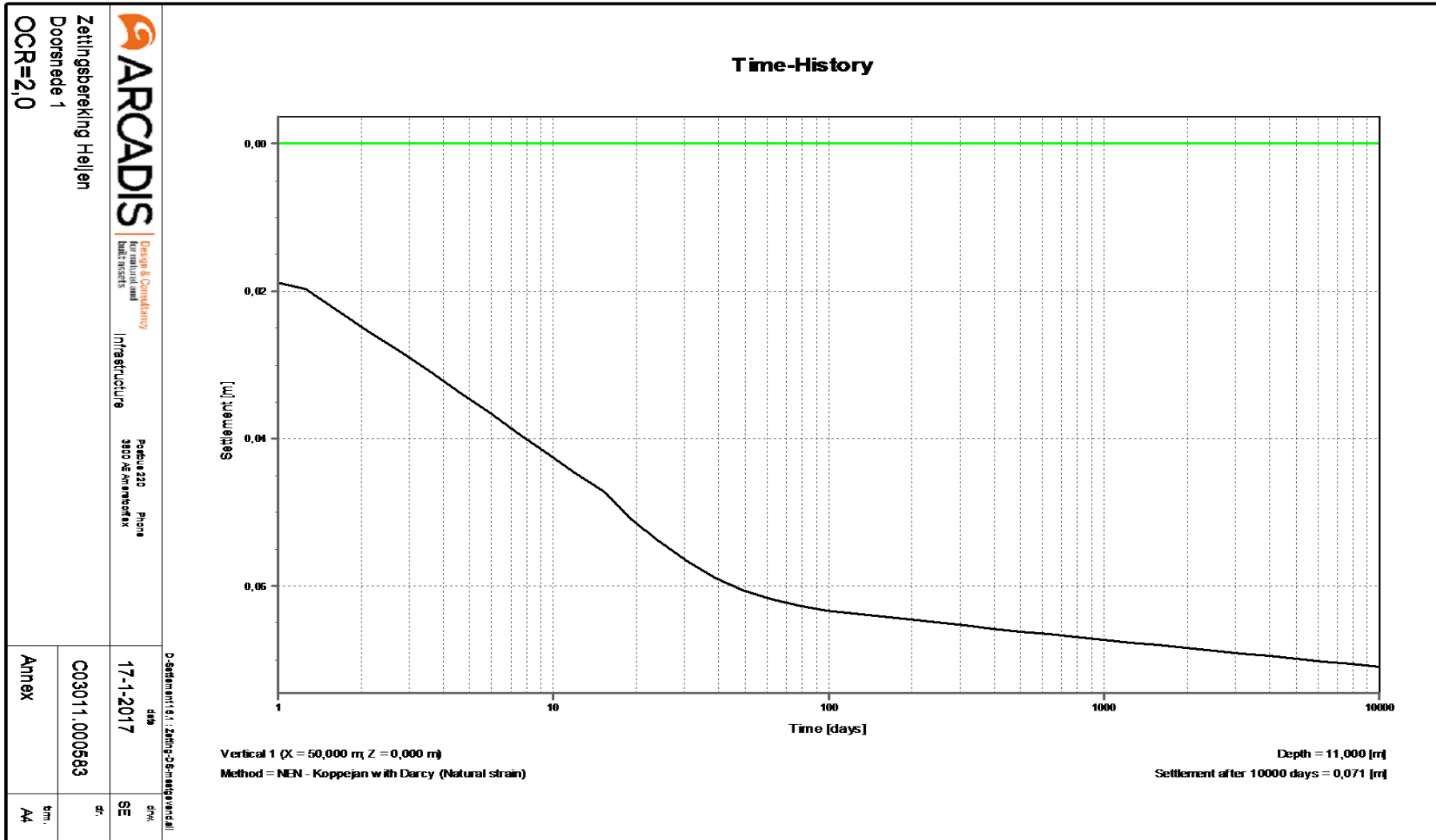
chr.

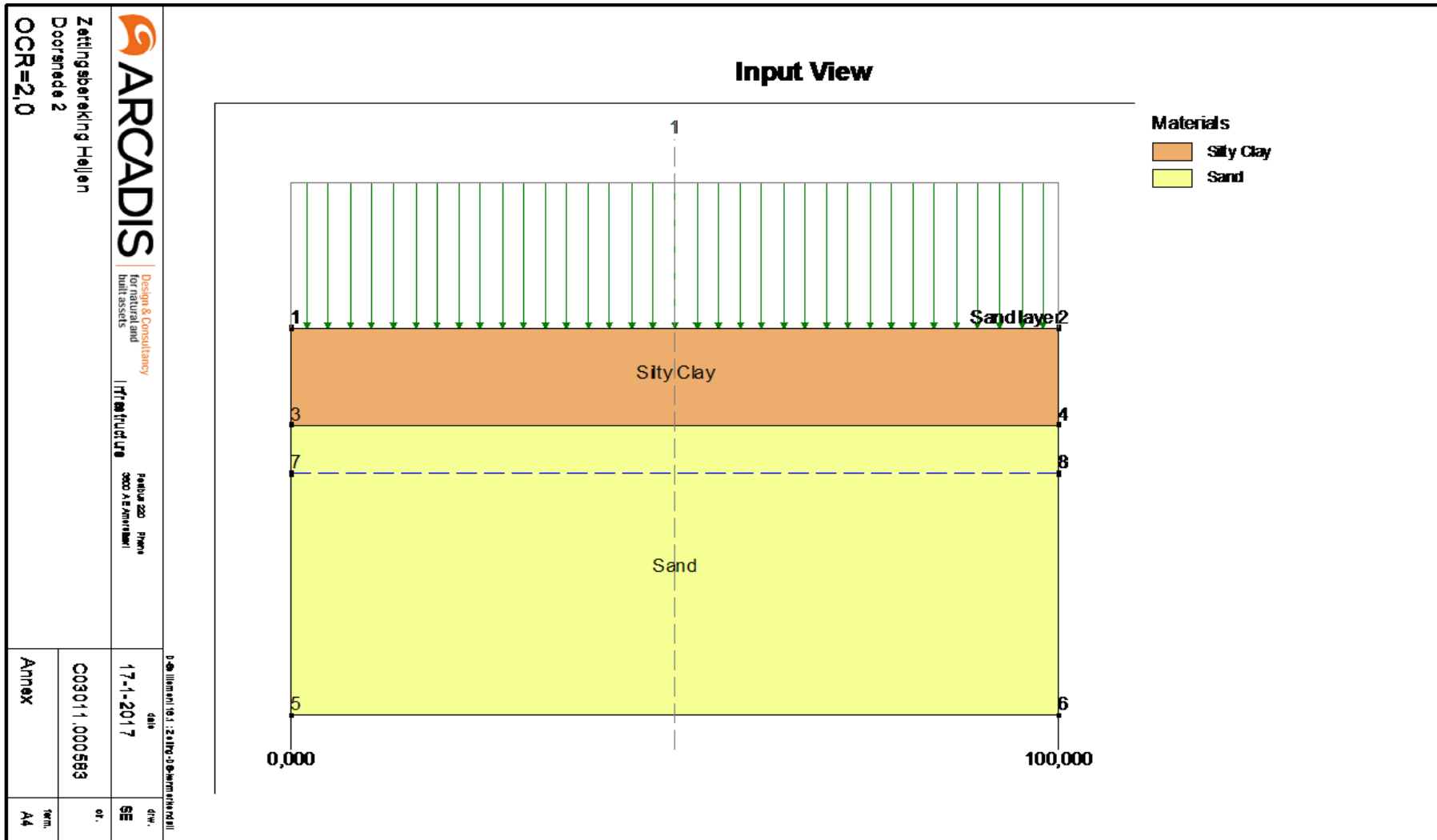
10m.  
 A4

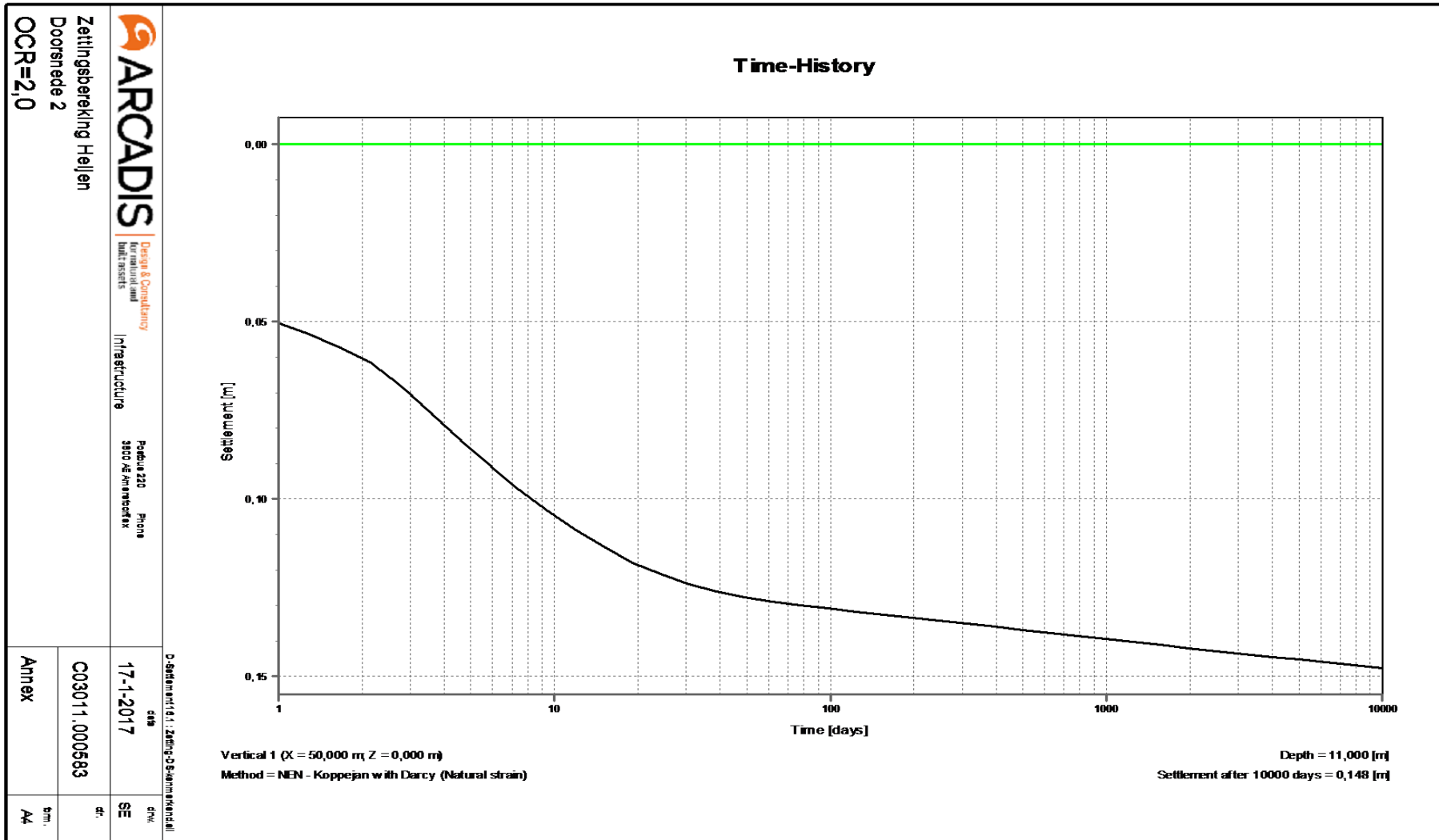




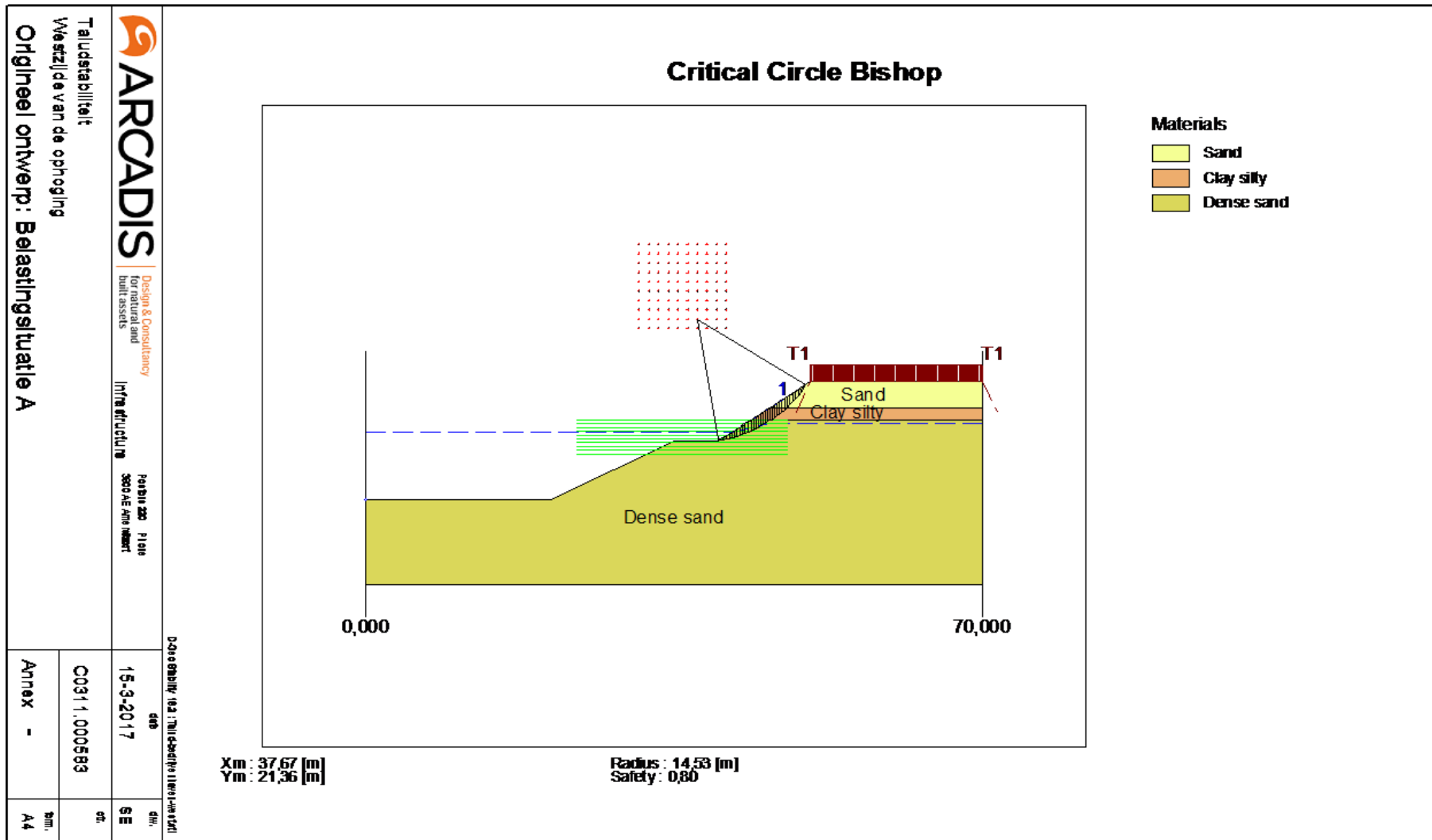


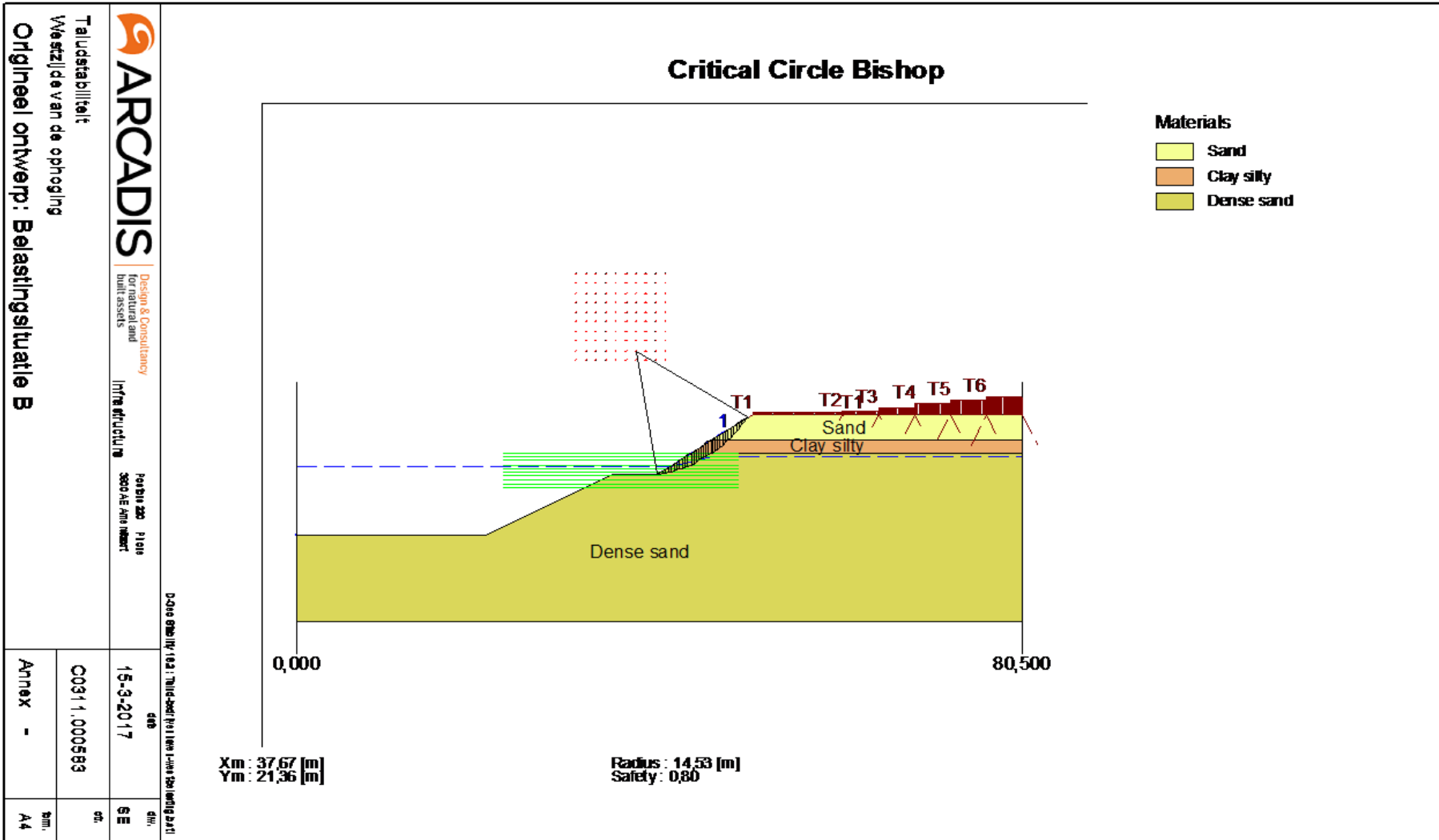


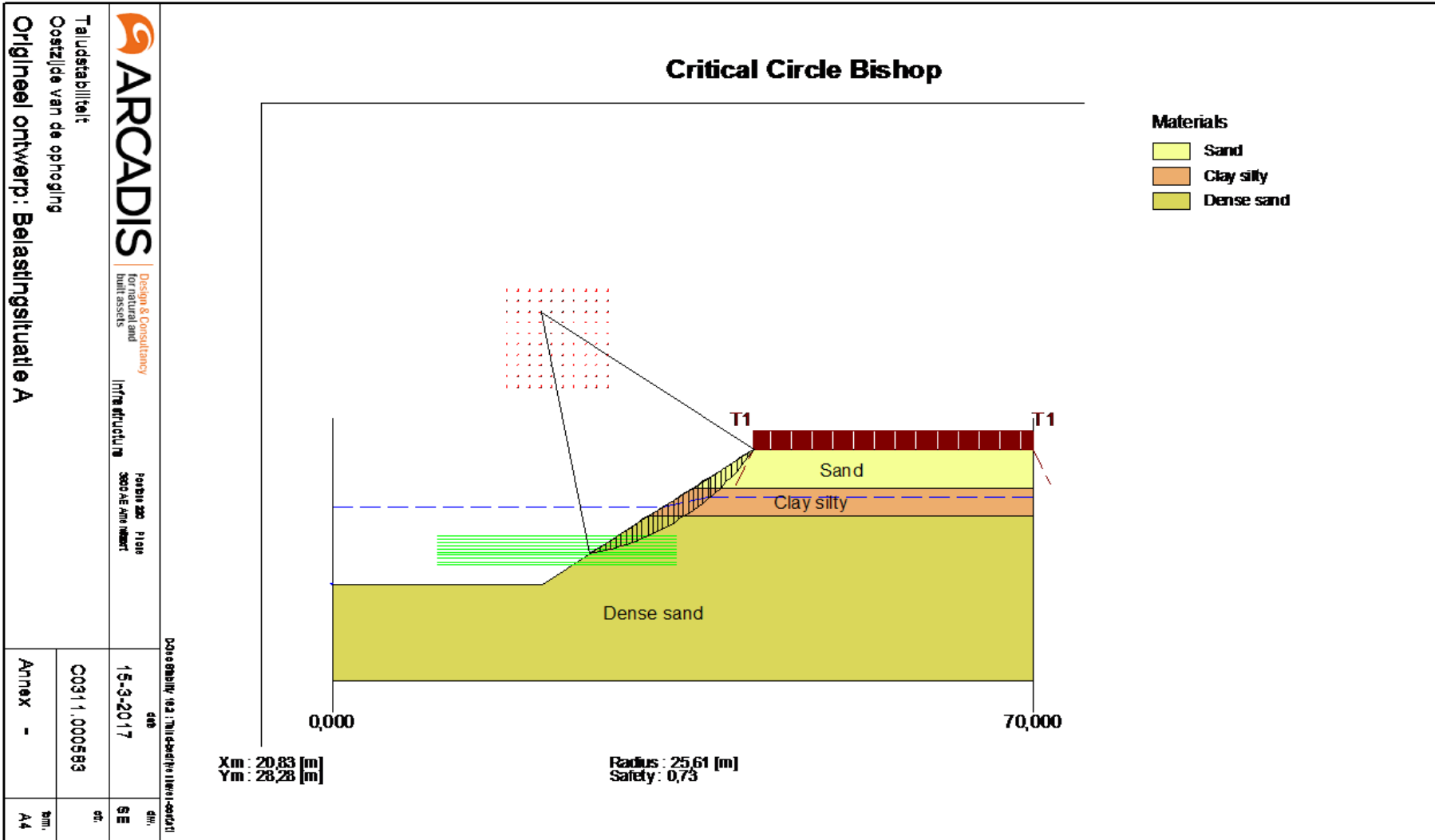




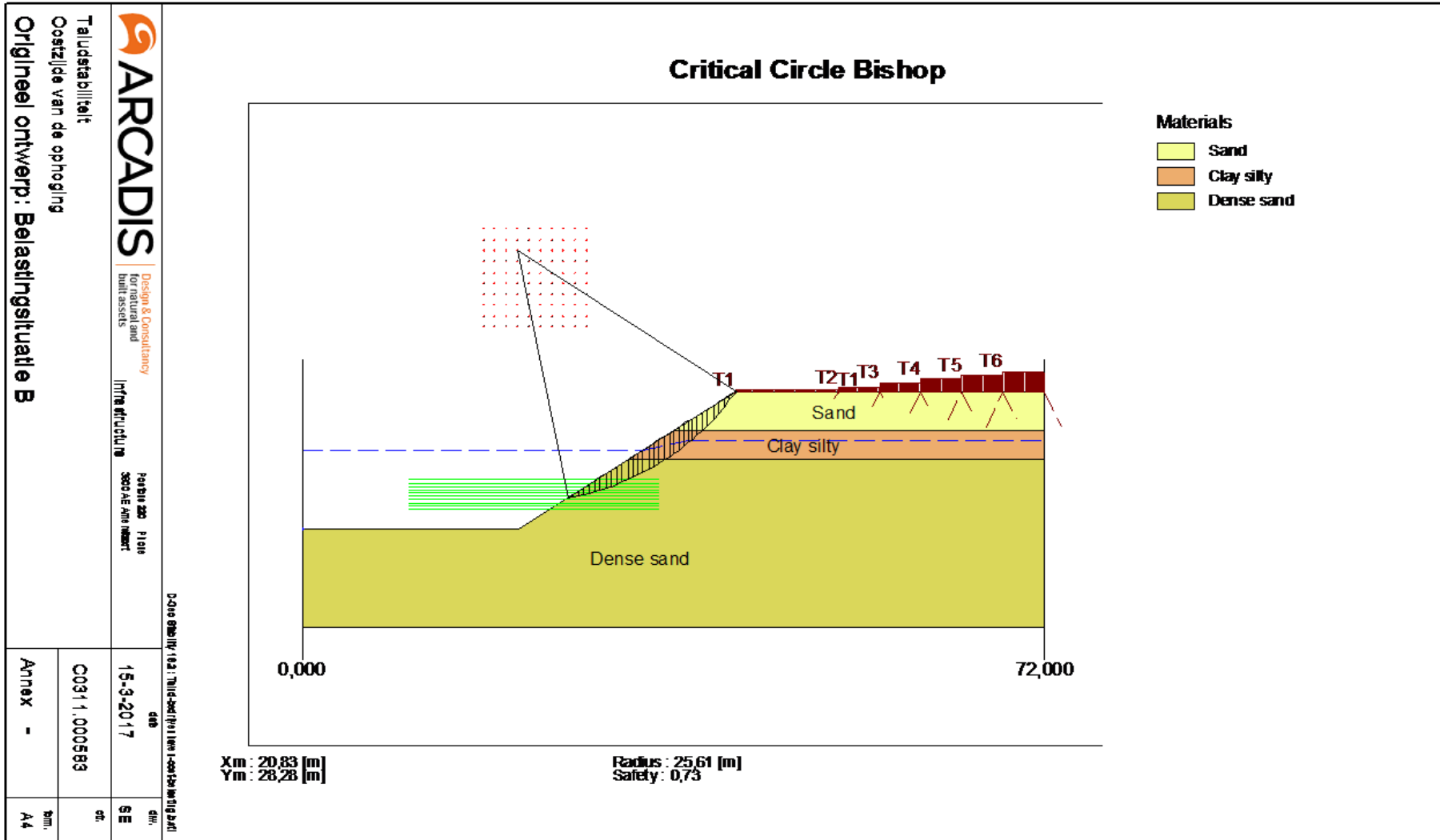
BIJLAGE C TALUD STABILITEIT ORIGINEEL ONTWERP

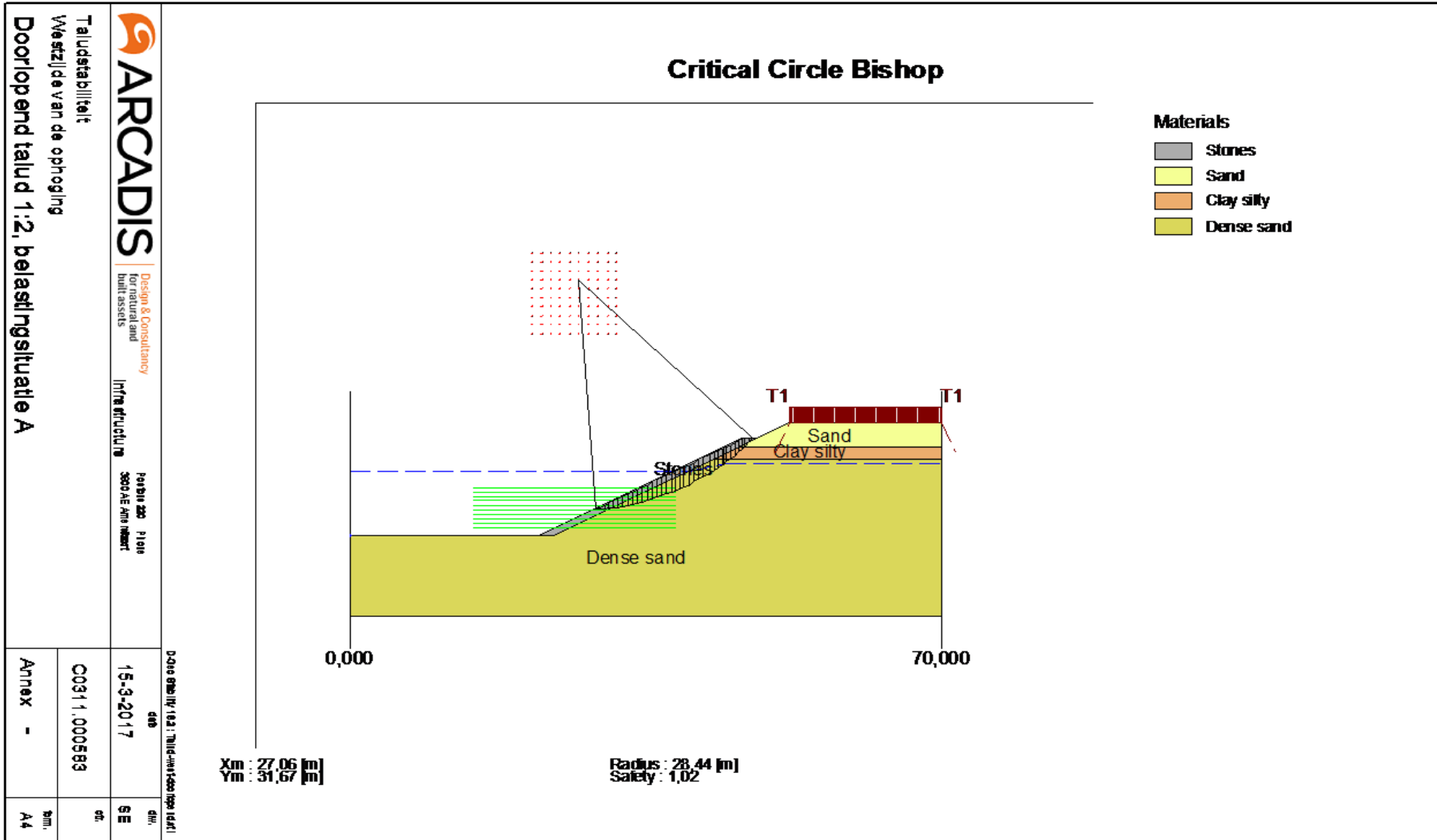


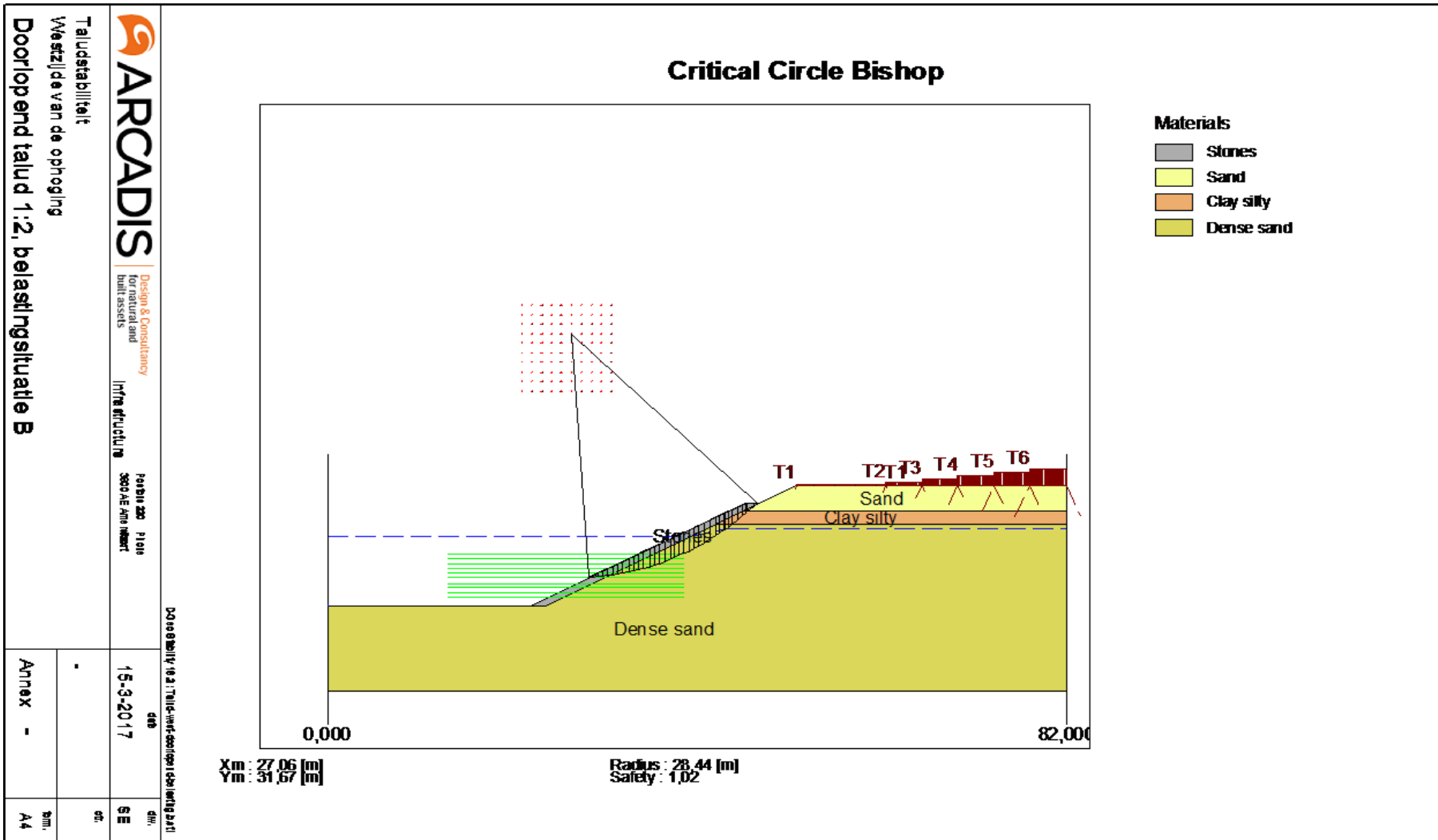


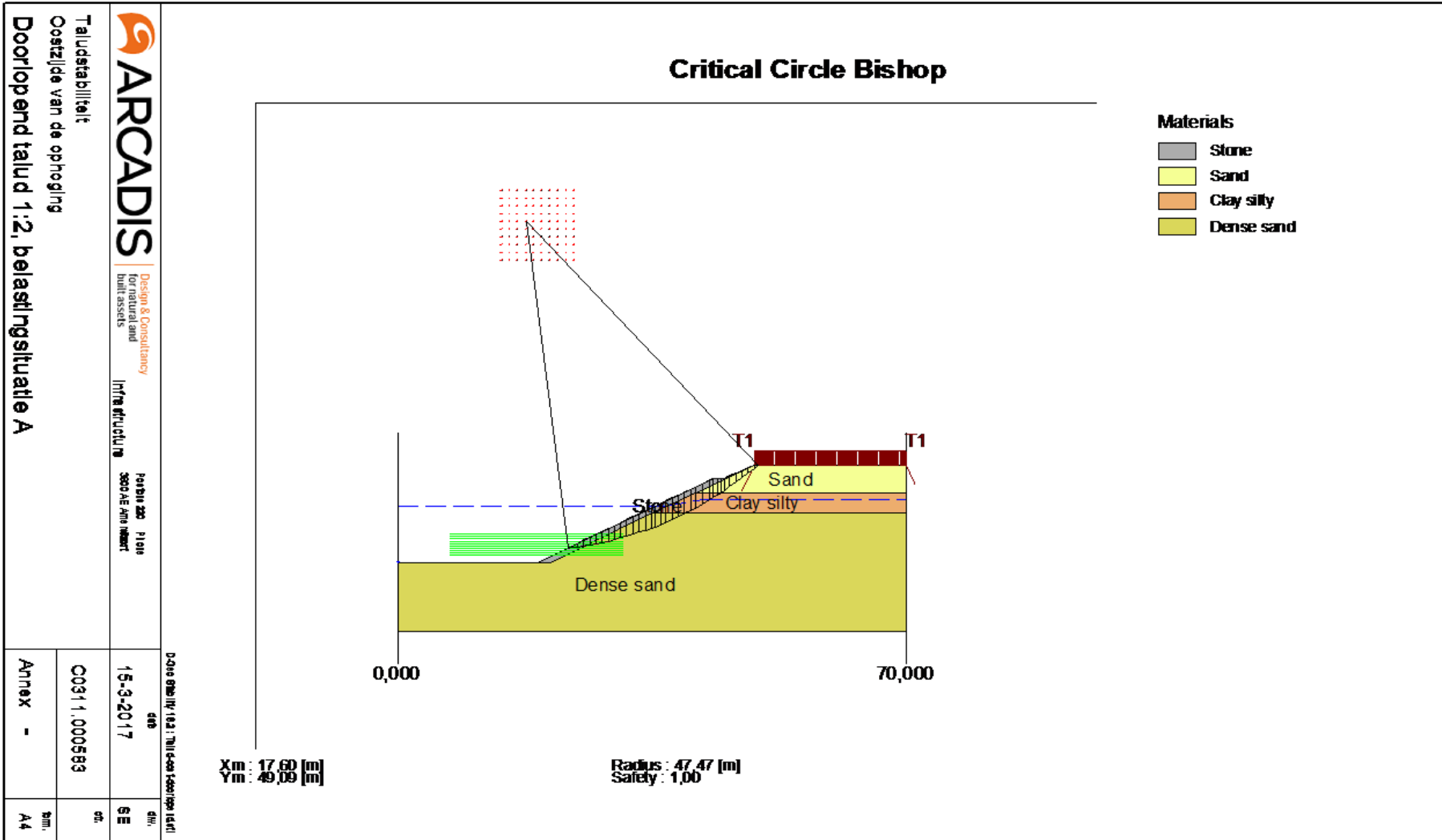


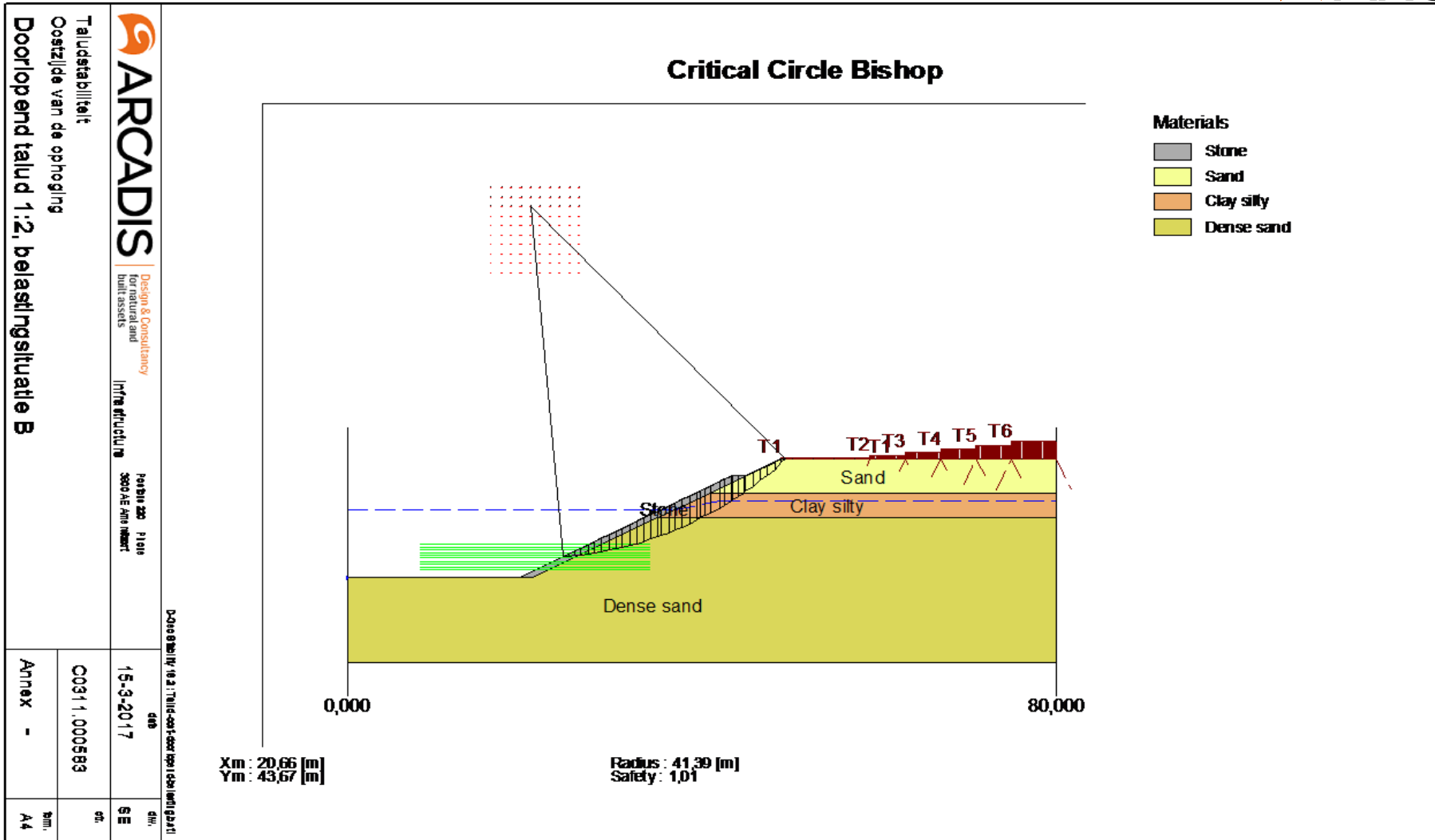




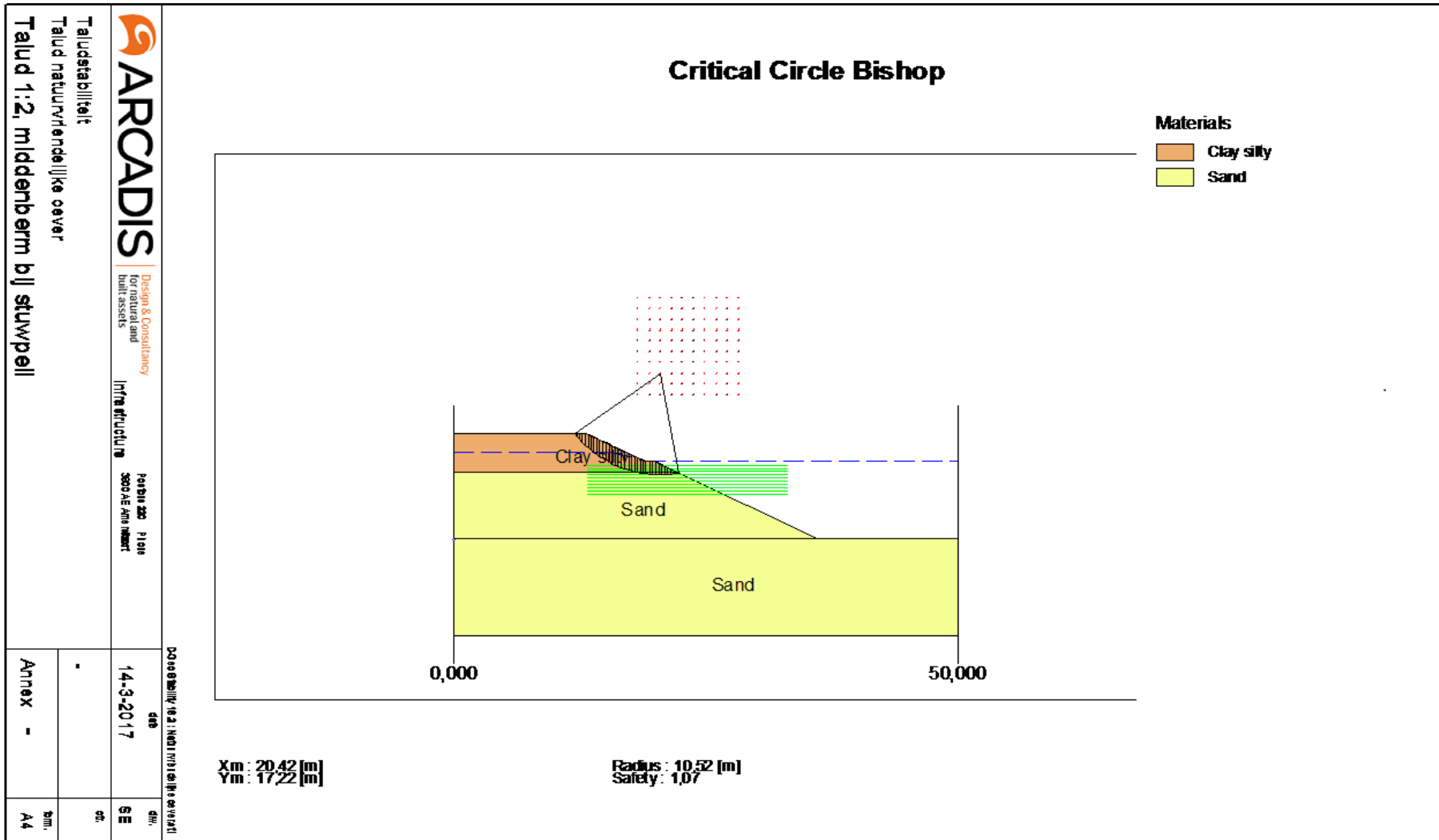




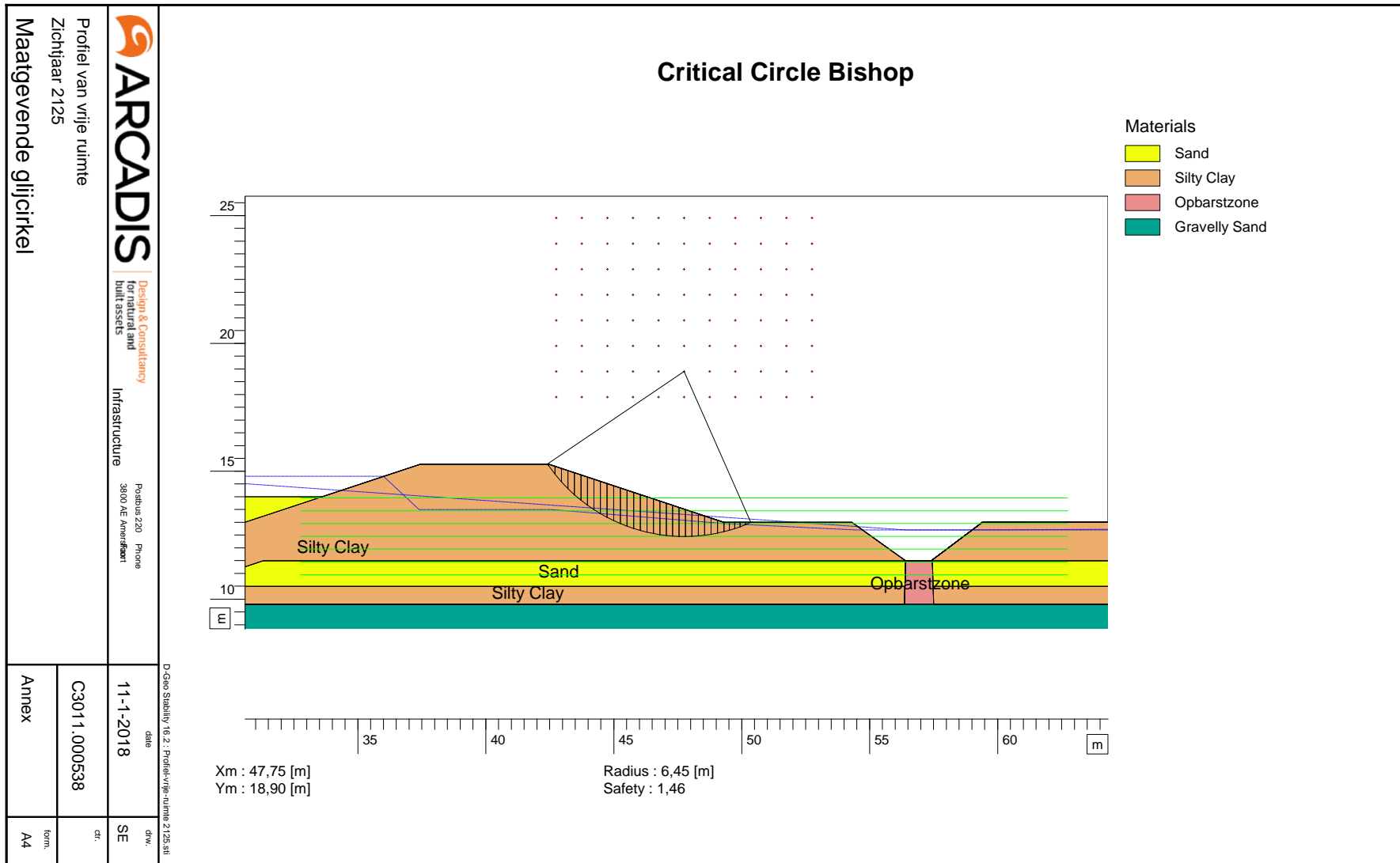




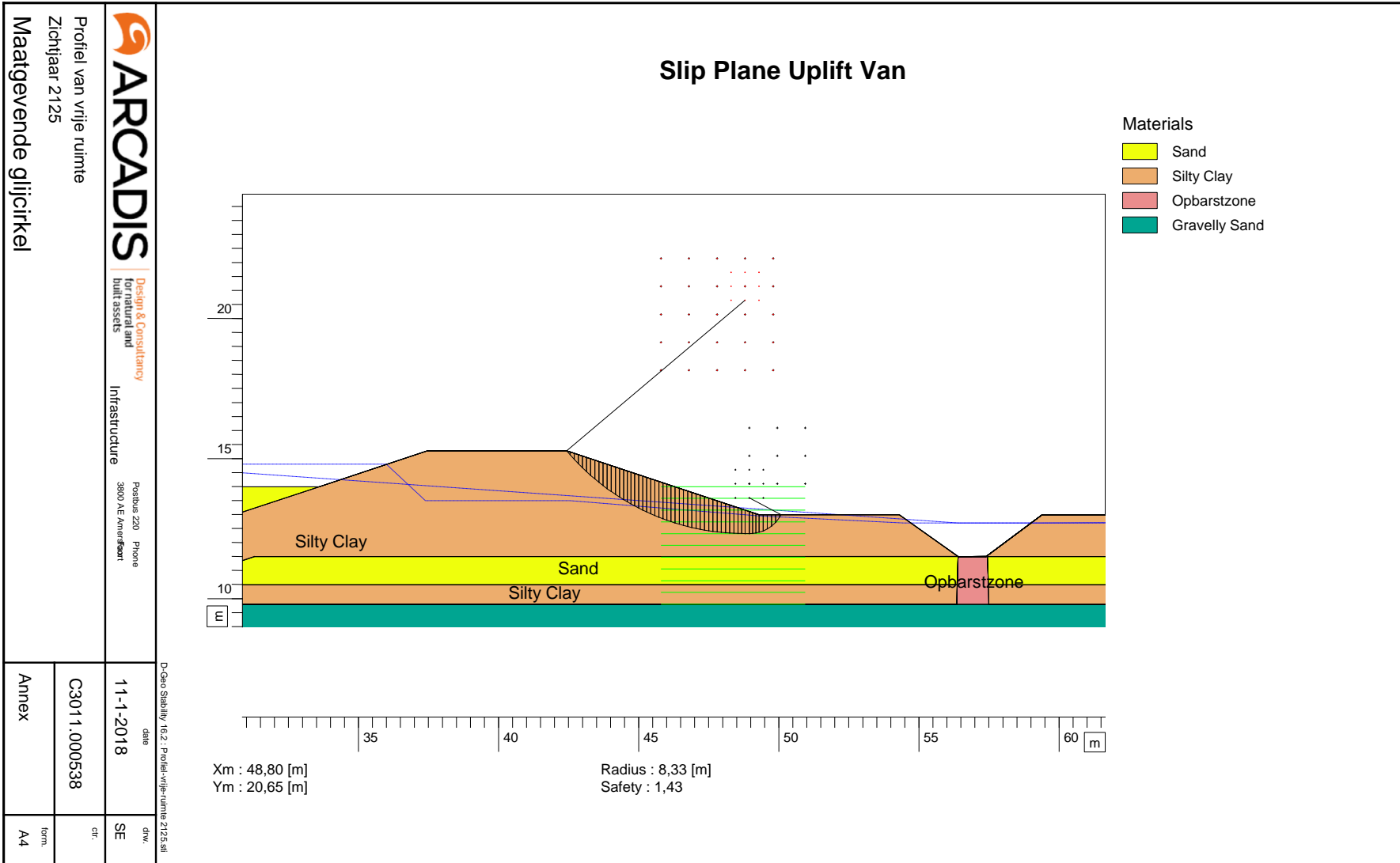
BIJLAGE D TALUD STABILITEIT NATUURVRIENDELIJKE OEVER



BIJLAGE E TALUD STABILITEIT PROFIEL VAN VRIJE RUIMTE







Profiel van vrije ruimte  
 Zichtjaar 2125  
 Maatgevende glijcirkel



Design & Consultancy  
 for natural and  
 built assets  
 Infrastructure

Postbus 220 Phone  
 3800 AE Amersfoort

D-Gee Stability 16.2 : Profiel-vrije-ruimte 2125.sif

date  
 11-1-2018

dvw.

C3011.000538

cfr.

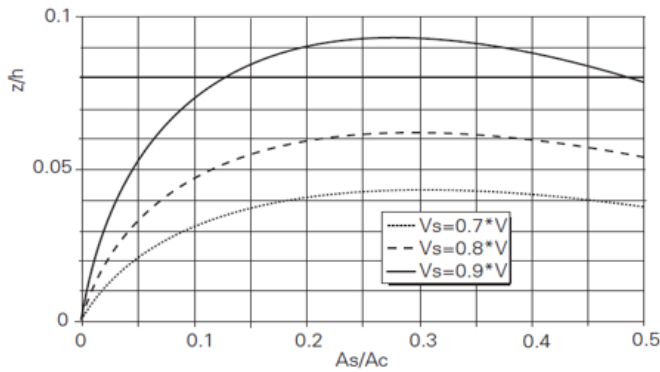
Annex

form.  
A4

## BIJLAGE F BEREKENINGEN TEN BEHOEVE VAN TALUDBESCHERMING

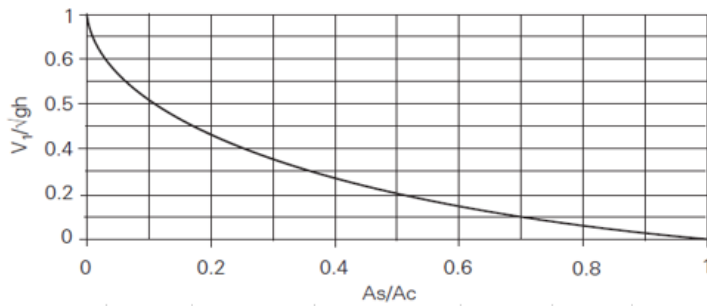
### Berekening golfhoogte scheepvaart

	B <sub>kanaal</sub>	B <sub>schip</sub>	Diepgang	Diepte	A <sub>c</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>s</sub> /A <sub>c</sub>	V <sub>i</sub> (m/s)	V <sub>i,design</sub> (m/s)	z (m)
Primary wave	60	11.4	4	5	300	45.6	0.15	3.29	2.96	0.425
Excentriciteit (m)	12.9									
	z <sub>ecc</sub> (m)	z <sub>max</sub> (m)								
	0.61	0.91								



$$z_{ecc} = \left(1 + \frac{2y}{b}\right) z \quad u_{r-ecc} = \left(1 + \frac{y}{b}\right) u_r$$

$$z_{max} = 1.5 z_{ecc}$$



### Dimensionering bestorting voor golven scheepvaart

#### Formule 5.147 scheepsgolven

$$z_{max} := 0.91m$$

Conform jouw Excel

$$D_{50} := \frac{\frac{z_{max}}{\Delta}}{1.5 \cdot \cot(\alpha)^{\frac{1}{3}}} = 31 \cdot cm$$

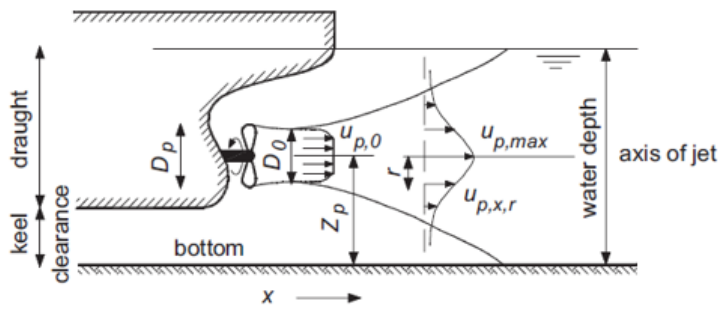
Let op: d50 niet dn50

$$D_{m50} := 0.84 \cdot D_{50} = 26 \cdot cm$$

+

Dimensionering bestorting boegschroef

Ontwerp taludbescherming		$P_{\text{ karakteristiek (kW)}}$	$D_0$ (m)	$u_0$ (m/s)	$z_b$ (m)	$u_{b,max}$ (m/s)	$d_{50}$ (m)
Boegschroef	100%	330	1.24	6.76	2	0.88	0.059879
					$z_{\text{talud}}$	$u_{\text{talud}}$ (m/s)	
Vaarwegklasse Vb	100%	330	1.24	6.76	3	7.83	0.254757
snelheid op talud	Velocity along jet axis (see Equation 4.188):			$a=$	2.8		
				$m=$	1		
	$u_{p,axis}(x) = a u_{p,0} (D_0/x)^m$						
Bestorting	$\frac{U^2/2g}{\Delta D_{50}} = 2 \frac{k_{sl}}{k_t^2}$			$kt^2=$	1.4		
				$ksl=$	5.2		



## COLOFON

UITBREIDING HAVEN HEIJEN  
GEOTECHNISCH ADVIES

### KLANT

Teunesen Zand en Grint b.v.

### AUTEUR

Stef Engels

### PROJECTNUMMER

C03011.000583.0120

### ONZE REFERENTIE

079271474 B

### DATUM

1 maart 2019

### STATUS

Definitief

### GECONTROLEERD DOOR

Rimmer Koopmans  
geotechnisch adviseur

### VRIJGEGEVEN DOOR

Rimmer Koopmans  
geotechnisch adviseur

### Arcadis Nederland B.V.

Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland  
+31 (0)88 4261 261

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)