

RoRo-voorziening

Adviesrapport

Een nieuwe roro-voorziening voor ASK Romein



Auteur: J.R. de Kock

Course: Afstudeerstage

Opleiding/groep: CT8H

Instelling: HZ University of Applied Sciences / DIMCO

Stage begeleiders: Ir. P. Dekker, ing. W. Korte

Plaats van uitgave: Dordrecht

Datum: 12 juni 2018

Versienummer: 1.0

RoRo-voorziening

Adviesrapport

Een nieuwe roro-voorziening voor ASK Romein

Auteur: J.R. de Kock

Course: Afstudeerstage

Opleiding/groep: CT8H

Instelling: HZ University of Applied Sciences / DIMCO

Stage begeleider: Ir. P. Dekker, ing. W. Korte

Plaats van uitgave: Dordrecht

Datum: 12 juni 2018

Versienummer: 1.0

Bronvermelding: (Maps)

Samenvatting

ASK Romein is bezig met het herinrichting van hun vestiging in Vlissingen-Oost. Dit is gedaan door het bedrijventerrein naast hen op te kopen. Dit bedrijventerrein zijn ze momenteel aan het verbouwen zodat het zal voldoen aan de wensen van het bedrijf. Met deze uitbreiding is ASK Romein ook van plan grotere offshore modules te produceren op deze werf. ASK Romein heeft een aanbesteding gedaan voor een nieuwe roro-voorziening, voor hun vestiging in Vlissingen-Oost. DIMCO is één van de aanbieders om een roro-voorziening te ontwerpen en te calculeren. Deze roro-voorziening zal gebruikt worden om hun offshore modules van de wal op een ponton te krijgen.

Aan de hand van de verkregen documenten van ASK Romein zijn de uitgangspunten, functionele en technische eisen opgesteld. Doormiddel van deze uitgangspunten en eisen zijn er 5 varianten voor de roro-voorziening opgesteld. Van deze 5 varianten zijn de 3 meest kansrijke varianten gedimensioneerd. Vanuit de dimensioneringsberekeningen zijn de kosten per variant bepaald aan de hand van kengetallen en zijn de 3 varianten met elkaar vergeleken doormiddel van een matrix op basis van 4 criteriums.

Uit de matrix komt de damwandconstructie als beste naar voren. De damwandconstructie is vervolgens verder uitgerekend. In de dimensioneringsberekeningen zijn de profielen, aanbrengdiepte, ankerniveau en type leganker bepaald. Hierna is de veerconstante van de ankerwand en leganker samen bepaald. Hierdoor is het ankerniveau exacter vastgesteld. Daarna is het draagkrachtvermogen van de kopwand gecontroleerd. Tevens is de deksloof berekend en is de wapening voor de deksloof bepaald.

Na de berekeningen voor de damwandconstructie zijn er tekeningen gemaakt. Dit is gedaan door een overzichtstekening te maken en een vorm- en wapeningstekening van de deksloof. Vervolgens is er een advies opgesteld en is er een conclusie getrokken over het adviesrapport.

Voorwoord

Graag zou ik DIMCO willen bedanken voor de afstudeerstage. Tijdens deze stage heb ik inzicht gekregen hoe het is om een constructeur te zijn. Daarnaast heb ik veel kennis op gedaan over roro-voorzieningen zoals steiger en damwandconstructies.

In het bijzonder wil ik graag een aantal mensen bedanken die mij geholpen hebben tijdens mijn afstudeerperiode bij DIMCO. Als eerst wil ik graag ing. W. Korte bedanken om mijn stagebegeleiding, hij heeft mij van begin tot eind geholpen. Ook wil ik graag ing. P.J. Klootwijk, ing. D. Boogaard, ing. A. Heinsman, ing. F. van Ooijen en ing. V. Weidema voor hun hulp bedanken.

Ik wil ook graag ing. S. van Berlo, ing. H. Maes en ing. M. Reedijk die mij in contact gebracht hebben met DIMCO en uiteindelijk ook de afstudeerstage geregeld hebben.

Daarnaast wil ik nog graag de docenten van de University of Applied Sciences - Vlissingen van de opleiding civiele techniek bedanken voor de lessen. In het bijzonder wil ik graag Ir. P. Dekker, stagebegeleider vanuit school en ing. A. Repko, studieloopbaancoach bedanken.

De Afstudeerstage was een zeer leerzaam en leuk proces. Voordat ik begon met deze stage had ik nog geen kennis over de aspecten hoe een roro-voorziening berekend moet worden. Zoals krachten spreidingen van deze soort belastingen, het rekenen met D-Foundations en SCIA Engineering en mijn kennis en vaardigheden van D-Sheet Piling zijn verbeterd. Deze kennis kan ook toegepast worden andere constructies.

Een quote die ik geleerd heb tijdens de afstudeer periode is "Ergens wordt de prijs betaald". Dit wil zeggen dat tijdens de berekening van een constructie je een oplossing voor het éne probleem kan verzinnen, maar vroeg of laat zal die oplossing ergens anders in de berekening weer voor een probleem of uitdaging zorgen. Dus het is van belang alert te blijven tijdens het berekenen van een constructie, want een fout kan snel gemaakt worden.

Joris de Kock (12 juni 2018).

Inhoudsopgave

1. Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Achtergrond	1
1.3 Centrale vraag	2
1.4 Doel	2
1.5 Scope	2
1.6 Leeswijzer	3
1.7 Relevante documenten	3
2. Theoretische kader	4
2.1 Wat is een roro-voorziening	4
2.3 Verschillende roro schepen	4
2.4 Bodembescherming	5
2.5 Parameters betonwerk	5
2.6 Toetsing van beton	6
2.7 Damwandconstructies parameters	7
2.8 Damwand profielen	7
2.9 Damwandconstructie verankering	8
3. Methode	9
3.1 Onderzoekstrategie	9
3.2 Onderzoeksmiddelen	9
3.3 Onderzoekactiviteiten	9
3.4 Onderzoekproducten	10
4. Planning	10
5. Uitgangspunten	10
5.1 Locatie	10
5.2 Schepen	11
5.3 Geometrie	11
5.4 Reken uitgangspunten	12
6. Programma van Eisen	14
6.1 Functionele eisen	14
6.2 Technische eisen	14
7. Varianten studie	15
7.1 Beschrijving varianten	15
7.2 Dimensionering steiger	17
7.3 Dimensionering damwandconstructie	19

7.4 Dimensionering kopwand met talud	22
8. Keuze variant	24
8.1 Kosten per variant	24
8.2 Matrix	28
9. Berekeningen damwandconstructie	32
9.1 Veerconstante bepalen	32
9.2 Controle draagkrachtvermogen	32
9.3 Deksluof berekening	33
9.4 Wapening deksluof	34
9.5 Aanvaring	35
9.6 Gordingen	35
9.7 Bolders	36
9.8 Kantenschutz	36
9.9 Vleugelwand sectie 1 optimaliseren	36
9.10 Tekeningen damwandconstructie	36
10 Conclusie en advies	37
11 Discussie	38
12 Aanbeveling	38
13. Bibliografie	39
13.1 Figuren index	41
13.2 Tabellen index	42
13.3 Grafieken index	44
13.4 Berekeningen index	44
13.5 Symbolen index	45
14. Bijlage theoretische kader	47
14.1 Bodembescherming	47
14.2 Parameters betonwerk	47
14.3 Toetsing van beton	54
14.4 Damwandconstructies parameters	63
14.5 Damwandconstructie verankering	64
15. Bijlage methode	65
16. Bijlage planning	67
17. Bijlage randvoorwaarden	68
17.1 De grondgegevens van de locatie	68
17.2 Schepen	79
17.3 Reken uitgangspunten	80

18. Bijlage Programma van Eisen	90
18.1 Functionele eisen	90
18.2 Technische eisen	91
19. Bijlage varianten studie	94
19.1 Steiger	94
19.2 Damwandconstructie	98
19.3 Caisson	103
19.4 Diepwanden	105
19.5 Kopwand met talud	107
19.6 MCA van de varianten studie	109
20. Bijlage keuze variant	111
20.1 Kosten steiger	111
20.2 Kosten damwandconstructie	117
20.3 Kosten kopwand met talud	120
20.4 Gevoeligheidsanalyse	123

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

ASK Romein is bezig met de herinrichting van hun vestiging in Vlissingen-Oost. Dit is gedaan door het bedrijven terrein naast hen op te kopen. Dit bedrijven terrein zijn ze momenteel aan het verbouwen zodat het zal voldoen aan de wensen van het bedrijf. Met deze uitbreiding is ASK Romein ook van plan grotere offshore modules te produceren op deze werf.

1.2 Achtergrond

ASK Romein heeft een aanbesteding gedaan voor een nieuwe roro-voorziening, voor hun vestiging in Vlissingen-Oost. DIMCO is één van de aanbieders om een roro-voorziening te ontwerpen en te calculeren. Deze roro-voorziening zal gebruikt worden om hun offshore modules van de wal op een ponton te krijgen.

Wel is er een bestaande steiger die gebruikt wordt voor bulkschepen. Deze steiger zal gesloopt worden om ruimte te creëren voor de nieuwe voorziening. De aanmeervoorziening die gebruikt zal gaan worden is al bekend, deze is reeds eerder al ontworpen en gecalculeerd door Royal HaskoningDHV.

ASK Romein is gevestigd in Vlissingen-Oost aan de Kraaijerhaven. De roro-voorziening zal geplaatst worden aan de zuidwest kant van het terrein zoals te zien is op figuur 1. ASK Romein is ligt aan de Frankrijkweg en maakt gebruik van de Kraaijerhaven.



Figuur 1, (Links) De locatie van ASK Romein in Vlissingen-Oost te zien, (Rechts) Locatie roro-voorziening (Maps)

1.3 Centrale vraag

Hoofdvraag:

Welke roro-voorziening kan toegepast worden als nieuwe roro-voorziening voor ASK Romein bij hun vernieuwde vestiging in Vlissingen-Oost?

Deelvragen:

- Wat zijn de uitgangspunten aan de roro-voorziening?
- Wat is het Programma van Eisen voor de roro-voorziening?
 - o Functionele eisen?
 - o Technische eisen?
- Welke varianten voor de roro-voorzieningen zijn mogelijk?
 - o Wat zijn de varianten?
 - o Dimensioneren van de variant
- Welke criteriums worden gebruikt voor de matrix?
 - o Kosten van de varianten?
 - o Onderhoudsvriendelijkheid varianten?
 - o Draagkracht varianten?
 - o Uitbreiding varianten?
- Welke variant komt als beste uit de matrix?
 - o Matrix van variant 1
 - o Matrix van variant 2
 - o Matrix van variant etc.
 - o Vergelijking van de matrixen
 - o Welke variant komt als beste uit de matrix?
- Berekeningsrapport
 - o Berekeningsrapport van de roro-voorziening
- Tekeningen
 - o Tekeningen van de roro-voorziening
- Conclusie/advies

1.4 Doel

Het doel van dit onderzoek is om een roro-voorziening te ontwerpen en te calculeren die het mogelijk maakt om de modules van ASK Romein van de wal over de roro-voorziening op een ponton te rijden.

1.5 Scope

Het onderzoek zal zich beperken tot de roro-voorziening bij ASK Romein in Vlissingen-Oost. Naar andere onderdelen van de nieuwe werf zal niet naar gekeken worden. Dit geldt ook voor de afmeervoorziening die nodig is voor de roro-voorziening. Deze is al eerder ontworpen door Royal HaskoningDHV.

1.6 Leeswijzer

In de leeswijzer zal een korte omschrijving staan van wat er in ieder hoofdstuk behandeld zal gaan worden.

- Hoofdstuk 2, theoretische kader, een verdiepend onderzoek in de literatuur over roro-voorzieningen die nodig is voor het onderzoek
- Hoofdstuk 3, methode, in de methode wordt beschreven hoe het onderzoek zal plaats vinden en hoe de centrale vraag en de deelvragen beantwoord zullen gaan worden
- Hoofdstuk 4, planning, een Gantt chart waarin te volgen is wanneer wat van het onderzoek af moet zijn of zal gaan beginnen
- Hoofdstuk 5, uitgangspunten, zal bestaan uit de uitgangspunten waar de roro-voorziening aan zal moeten voldoen
- Hoofdstuk 6, programma van eisen, de eisen vanuit ASK Romein en North Sea Ports over de functionaliteit en technische aspecten zullen belicht worden
- Hoofdstuk 7, varianten studie, naar welke mogelijkheden er zijn als varianten voor een roro-voorziening en zullen de steiger, damwandconstructie en kopwand met talud variant gedimensioneerd worden
- Hoofdstuk 8, keuze variant, zullen de kosten voor de varianten opgesteld worden doormiddel van kengetallen en er zal een matrix gemaakt worden om een keuze te maken tussen de varianten
- Hoofdstuk 9, berekeningen damwandconstructie, zal de damwandconstructie verder berekend worden en zal er verwezen worden naar de tekeningen
- Hoofdstuk 10, advies en conclusie, zal bestaan uit een advies voor de roro-voorziening en een conclusie over het adviesrapport en een discussie en aanbeveling

1.7 Relevante documenten

Naast dit adviesrapport zijn de volgende document nodig voor een volledig beeld.

- Dimensioneringsberekeningen rapport - Steiger variant
- Dimensioneringsberekeningen bijlagerapport - Steiger variant - Draagkrachtvermogen voor sondering W1, W2 en W3
- Dimensioneringsberekeningen bijlagerapport - Steiger variant - Draagkrachtvermogen voor sondering L9, L10 en L11
- Dimensioneringsberekeningen bijlagerapport - Steiger variant - Controle of kleiner funderingspaal mogelijk is
- Dimensioneringsberekeningen bijlagerapport - Steiger variant - Herberekening van het draagkrachtvermogen funderingspaal
- Dimensioneringsberekeningen rapport - Damwandconstructie variant
- Dimensioneringsberekeningen bijlagerapport - Damwandconstructie variant
- Dimensioneringsberekeningen rapport - Kopwand met talud variant
- Berekeningsrapport - Damwandconstructie
- Berekeningsrapport bijlage - Damwandconstructie
- TEK-001-MT Overzichtstekening
- TEK-002-MT/WT Vorm- + Wapeningstekening Dekvloer + Paalwapening kopwand

2. Theoretische kader

Het Theoretische kader is een verdiepend onderzoek in de literatuur over roro-voorzieningen. Er is alleen gekeken naar de literatuur over de roro-voorzieningen die van toepassing zijn voor dit onderzoek. Met andere woorden er zal dus alleen naar offshore⁽¹⁾ gekeken worden.

2.1 Wat is een roro-voorziening

Roro staat voor roll on roll off, dit wil zeggen dat de lading het schip wordt opgerold of afgerold in plaats van de lading te hijsen door middel van een kraan zoals bij een containerschip. Dit wordt toegepast bij transport van bijvoorbeeld auto's, vrachtwagens en bijzondere constructies zoals offshore modules (Ligteringen & Velsink, Ports and Terminals, 2012).

Een roro-voorziening is een constructie die voor een verbinding zorgt tussen wal en schip. Dit kan in de vorm zijn van een vaste constructie aan wal of door een constructie aanboort van het schip (Ligteringen & Velsink, Ports and Terminals, 2012). Bestaande roro-voorzieningen zijn de ramp/brug, steiger en kade/loswal.

2.1.1 Ramp/brug

Deze wordt voornamelijk gebruikt voor het laden en lossen van voertuigen. Omdat de ramp/brug niet gebruikelijk is voor het lossen en laden van offshore constructies zal deze buiten beschouwing gelaten worden (Ligteringen & Velsink, Ports and Terminals, 2012).

2.1.2 Steiger

Een steiger is een vaste constructie aan wal die als brug zal functioneren tussen wal en ponton. Het ponton dat aanmeert aan de steiger zal gevuld of geleegd worden met water om dezelfde hoogte als de steiger aan te houden en om het gewicht van de module te compenseren. Hierdoor is het mogelijk om de module met een self-propelled modular trailer (SPMT) te laden op de ponton. (Korte, 2017)

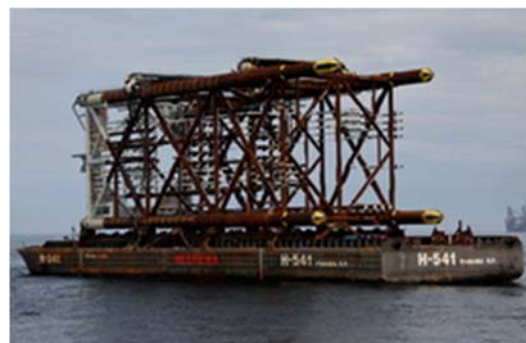
2.1.3 kade/loswal

Kade/loswal kan bestaan uit een damwandconstructie waar een ponton bij afmeert. De module wordt op dezelfde manier geladen als bij de steiger (Korte, 2017).

2.3 Verschillende roro schepen

Er zijn 4 typen roro schepen: roro veerboten, roro schepen, ponton en roro containerschepen. Alle 4 de soorten worden voor totaal andere doeleinde gebruikt. Omdat de roro-voorziening voor offshore modules gebruikt wordt, zal er alleen naar het ponton gekeken worden (Ligteringen & Velsink, Ports and Terminals, 2012).

Een ponton is een drijvend platform die gebruikt kan worden om zware ladingen te dragen. Door ballastwater in de compartimenten van het ponton te pompen of weg te pompen, kan het ponton eenvoudig stabiel (vlak) en op gewenst niveau gehouden worden.



Figuur 2, Ponton Heerema met jacket (HEEREMA MARINE CONTRACTORS, sd)

⁽¹⁾ Activiteiten die op een afstand van de kust plaatsvinden.

2.4 Bodembescherming

De waterstroming die ontstaat door de schroef van het schip bij het aan- en afmeren van de roro-voorziening kan leiden tot erosie van de bodem. Hierdoor ontstaan erosiekuilen langs de kade/voorziening waardoor er een gevaar voor instabiliteit kan ontstaan. Dit komt vaak voor bij roro terminals omdat deze schepen veel waterstroming veroorzaken dicht bij de kade/voorziening om aan- en af te meren. Dit is op te lossen door een bodembescherming toe te passen bij de kade/ro-ro-voorziening (Ligteringen & Velsink, 2012). De berekening voor de bodembescherming is te vinden in “14.1 Bodembescherming”.

2.5 Parameters betonwerk

In deze paragraaf worden de parameters beschreven die nodig zijn om het betonwerk te berekenen. Voor het bepalen van de parameters is er gebruikt gemaakt van de Eurocode 2. De tabellen voor deze paragraaf zijn te vinden in “14.2 Parameters betonwerk”.

2.5.1 Grenstoestanden

Grenstoestanden zijn situaties waarin de constructie voldoet aan het ontwerpcriterium. Er zijn twee soorten grenstoestanden, de uiterste grenstoestand (UGT) en bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT). De UGT is wanneer een constructie nog net voldoet en BGT zijn de omstandigheden in de gebruiksfase van de constructie (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).

2.5.2 Belastingen

Er zijn verschillende soorten belastingen die kunnen optreden en iedere soort belasting verdient zijn eigen aandacht. Zo kan een constructie blijvende, variabele of buitengewone belastingen ondervinden. Een buitengewone belastingen is een kortdurende belastingen maar één die wel een maatgevende effect kan hebben op de constructie. De kans dat dit soort belastingen optreden tijdens de levensduur van de constructie is klein. Bij dit soort belastingen kan gedacht worden aan een botsing met een voertuig tegen de constructie, explosie of brand (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).

2.5.3 Rekenwaarden van belastingen

Op een constructie werken meerdere belastingen te gelijktijd. Door een rekenwaarde aan de belasting te hangen kan je de maatgevende krachtenwerking op een constructie vinden. Dit wordt gedaan door een belastingcombinaties te maken voor BGT en UGT in combinatie met momentaan factoren (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008). In tabel 32 en 33 zijn de belastingfactoren per gevolgklasse te vinden en in tabel 34 en 35 zijn momentaan factoren te vinden.

2.5.4 Betonklasse

De betonklasse die minimaal gebruikt moet worden hangt af van de milieuklasse en de levensduur van het object. De ‘C’ verwijst naar standaardbeton, het eerste getal geeft de cilinderdruksterkte f_{ck} en het tweede getal geeft de kubusdruksterkte $f_{ck,cube}$ aan (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008). In tabel 36 zijn de betonklasse te vinden.

2.5.5 Duurzaamheid

Een duurzame constructie is een constructie die in zijn ontwerpleven blijft voldoen aan de eisen van bruikbaarheid, stabiliteit en sterkte. Om dit te realiseren moeten er maatregelen getroffen worden om de constructie te beschermen tegen invloeden van de omgeving, want een constructie kan naast mechanische belastingen ook blootgesteld worden aan chemische en fysische omstandigheden (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008). Nadere uitleg over de duurzaamheid is te vinden in “14.2.3 Duurzaamheid”.

2.5.6 Wapeningsdetaillering

De scheurwijdte van beton hangt af van de optredende staalspanning van de toegepaste wapening. Zou de staalspanning toenemen dan zal dit tot gevolg hebben dat de scheurwijdte toe zal nemen. Ook de hart-op-hartafstand van de wapening heeft een invloed op de scheurwijdte. Het is beter om 4Ø8 toe te passen dan 1Ø16 (beide zijn 201 mm²). De aanhechtingskracht van de 4Ø8 is vele malen groter en er is een betere verspreiding van de trekkracht in de doorsnede. Hierdoor zal de scheurwijdte minder toenemen (Braam, Lagendijk, & Dees, Constructie-leer Gewapend Beton, 2011).

2.6 Toetsing van beton

In deze paragraaf zullen de toetsingen aan beton besproken worden die volgens de Eurocode 2 uitgevoerd moeten worden. De formules van deze paragraaf zijn te vinden in “14.3 Toetsing van beton”.

2.6.1 Toetsing van zuivere buiging

Door middel van de toetsing op zuivere buiging kan de wapening voor een betonwerk zoals een vloer, balk, kolom, enz. berekenend worden (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).

2.6.2 Toetsing van scheurvorming

Met de toetsing op scheurvorming wordt gekeken of dat de gescheurde constructie in het gebruiksstadium nog voldoende weerstand kan bieden tegen de aantasting van buitenaf. Als de scheurwijdte te groot wordt dan zal dit leiden tot het corroderen van de wapening (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).

2.6.3 Toetsing op dwarskrachtwapening

Door de optredende dwarskracht in een constructie zal een balk dwarskrachtwapening nodig moeten hebben. De grote van de dwarskracht is bepalend voor welke wapening toegepast moet worden. De volgende toetsing moet gebruikt worden $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$ om te kijken of dat dwarskracht wapening noodzakelijke is, anders kan volstaan worden met alleen montage beugels (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).

2.6.4 Toetsing op wringing

Wringing is een verdraaiing van een balk door de gevolgen van een belasting. Een voorbeeld van een belasting die wringing kan veroorzaken is een brugdek dat gesteund staat op één pilaar in het midden. Op het brugdek staat op één kant van het dek een last en op de andere geen last. Door deze belasting wilt de balk om zijn eigen lengte-as draaien waardoor er een wringend moment ontstaat. Dit moment in de balk moet aan het uiteinde van de balk als buigend moment gezien worden (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008) (Braam, Lagendijk, & Dees, Constructie-leer Gewapend Beton, 2011).

2.6.5 Toetsing op een combinatie van dwarskracht en wringing

Wanneer een ligger belast wordt op zowel wringing als op dwarskracht. Moet er gebruik gemaakt worden van een combinatie tussen de 2 toetsingen (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).

2.6.6 Toetsing op vervorming

Met de toetsing op vervorming kan getoetst worden of dat een vloer niet te ver doorbuigt (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).

2.7 Damwandconstructies parameters

In deze paragraaf zal er gekeken worden naar de parameters van de damwandconstructie.

2.7.1 Stijfheid

Damwandstijfheid wordt bepaald door de EI-waarde van het toegepaste profiel waarbij een eventuele verandering in de I-waarde kan zitten door scheve buiging (CURNET, 2012).

2.7.2 Belastingen

Reeds eerder besproken in "2.5.2 Belastingen".

2.7.3 Grond

Grondparameters worden bepaald aan de hand van grondonderzoek zoals sonderingen, laboratoriumonderzoek of boringen. In tabel 50 in "14.4 Damwandconstructies parameters" zijn de karakteristieke waarden van de grondeigenschappen te vinden volgens de NEN 9997-1 (CURNET, 2012).

2.7.4 Water

Waterspanningen in de grond kunnen op 2 manieren bepaald worden. Als eerste kan dit gedaan worden door middel van een peilbuismeting volgens de NEN-EN-ISO 2475-1. Ten tweede kan dit door een waterspanningsmetingen. In eerste instantie kan er ook gekeken worden naar het waterpeil van nabijgelegen open water (CURNET, 2012).

Als er grote lokale waterdrukverschillen optreden over de damwand, dan kan dit leiden tot een extra buiging van de damwand. Daarom moet er gekeken worden naar:

- Hoogwater
- Laagwater
- Dichtheid van het water
- Gemiddelde waterstand
- Grondwater

2.8 Damwand profielen

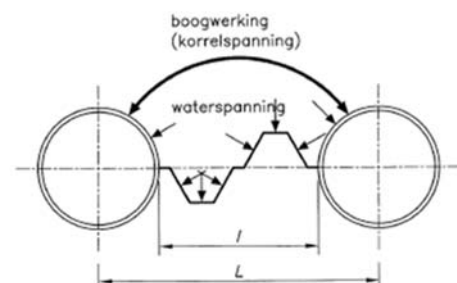
In deze paragraaf zal er gekeken worden naar damwandprofielen. Dit zal gedaan worden door naar scheve buiging. Tevens zal er naar een combiwand gekeken worden.

2.8.1 Scheve buiging

Dit treedt alleen op bij U-vormige damwandprofielen en niet bij Z-vormige damwandprofielen, want een U-vormige damwandprofiel buigen om de scheve hoofdasen. Door het optreden van scheve buiging zal er een reductie plaatsvinden voor de W- en I-waarden (CURNET, 2012).

2.8.2 Combiwanden

Een combiwand bestaat uit een primaire en secundaire elementen. De primaire elementen zijn er om de horizontale stabiliteit te verzorgen en om de krachten werking op de combiwand op te vangen. De secundaire elementen zorgen ervoor dat het gronddicht is tussen de primaire elementen. In de sterkte toetsing van de combiwand worden de secundaire elementen verwaarloosd (CURNET, 2012).



Figuur 3, Boogwerking op een combiwand (CURNET, 2012)

De secundaire elementen zijn zwakker dan de primaire elementen hierdoor zullen deze meer gaan vervormen waardoor er een boogwerking ontstaat zoals te zien is in figuur 3. Door de boogwerking gaat het grootste deel van de horizontale korrelspanning naar de primaire elementen. Water geeft geen boogwerking hierdoor zijn de waterspanningen tegen de secundaire element gelijk als die tegen de primaire elementen (CURNET, 2012).

2.9 Damwandconstructie verankering

In deze paragraaf zal er gekeken worden naar de verankering van een damwandconstructie

2.9.1 Ankerkrachten

Ingeval dat een anker geplaatst wordt onder een hoek, moet er een verticale component van de ankerkracht meegenomen worden als een belasting op de damwand (CURNET, 2012).

Als er gebruik gemaakt wordt van voorspanankers moet de voorspanning meegenomen worden als een belasting (CURNET, 2012).

Bij gebruik van een ankerwand, ankerpaal of ankerplaat hangen de ankerkrachten af van de beweging in de kerendeconstructie (CURNET, 2012).

2.9.2 Groutanker

Een groutanker is een verankeringselement voor kadeconstructies of bouwputten zoals te zien is in figuur 4. Het bestaat uit een stalen staaf, buis of streng die ingebed is in een groutlichaam. Het grout wordt via injectie in de grond aangebracht. Grout is een mengsel van cement en water. Groutankers kunnen alleen in zandlagen aangebracht worden (BAM Infra, 2012).



Figuur 4, Groutanker (infrawiki, 2018)

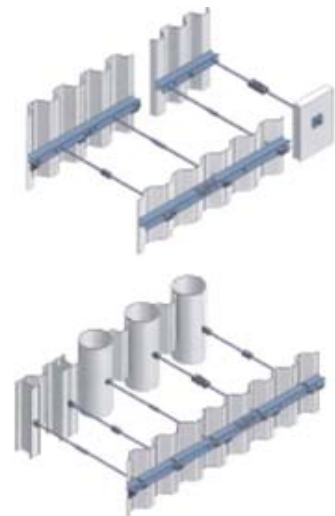
In “14.5 Damwandconstructie verankering” worden 3 soorten groutanker kort beschreven: de traditionele groutanker, zelfborende ankers en schroefinjectieankers.

2.9.3 legankers

Een leganker is een horizontale verankering tussen de constructie en een ankerwand zoals te zien is op figuur 5.

Een ankerwand kan uitgevoerd worden in zowel hout, beton en staal. Bij staal wordt dit gedaan door gebruik te maken van damwandprofielen. In geval van extreem hoge ankerbelastingen kan het voor komen dat buispalen toegepast worden als een ankerwand (Korte, 2017).

Als er een zetting kan optreden tussen de constructie en ankerwand, moet hier rekening mee gehouden worden door de ankerstang in een koker te plaatsen ter bescherming van de zetting (Admiraal, et al., 2000).



Figuur 5, Leganker (Bender international b.v.)

3. Methode

In de methode staat beschreven hoe het onderzoek verricht zal gaan worden tijdens het afstuderen. Als eerst worden de verschillende onderzoeksmethodes verteld die toegepast zullen gaan worden. Vervolgens wordt vermeld welke middelen tot beschikking staan voor het onderzoek. Tevens worden de verwachte werkzaamheden beschreven met de daarbij behorende onderzoekstrategie. Als laatst wordt in de onderzoekproducten een overzicht gegeven van de stukken die ingeleverd zullen worden.

3.1 Onderzoekstrategie

Tijdens het onderzoek zullen verschillende deelvragen beantwoord worden om tot een advies te komen. Bij de deelvragen zullen daarom dan ook verschillende onderzoekstrategieën toegepast worden om de deelvragen te kunnen te beantwoorden. In de onderzoeksactiviteiten zal beschreven worden wanneer welke strategie toegepast zal worden. Hieronder staat een opsomming van de strategieën die toegepast zullen gaan worden met een korte uitleg wat de strategie inhoud.

Deskresearch	Het bestuderen van literatuur over roro-voorzieningen om zo aan informatie te komen.
Kwantitatief onderzoek	Het verzamelen van telbare/numerieke waardes.
Toetsend onderzoek	Door middel van berekeningen de gekozen variant berekenen zodat deze zal voldoen aan de gestelde eisen.

Tabel 1, Onderzoeksstrategieën

3.2 Onderzoeksmiddelen

Er is een verdeling gemaakt in onderzoeksmiddelen tussen de middelen om de benodigde informatie te verzamelen en de middelen die gebruikt worden om de informatie te verwerken.

Verzamelen informatie	
Adviesrapport van de aanmeervoorziening	Royal HaskoningDHV heeft voorafgaande de benodigde aanmeervoorzieningen bepaalden voor de roro-voorziening.
Database DIMCO	DIMCO zal zijn database beschikbaar stellen om te kijken naar vergelijkbare projecten om zo informatie te winnen.
Ports and Terminals	Dit is een lesboek dat gebruikt wordt aan de TU Delft voor de lessen van Ports and Waterways in de Master Hydraulic Engineering.
Kennisbanken	Voor dit onderzoek zal gebruikt gemaakt worden van verschillende kennisbanken om informatie te verwerken. Zo zullen Respository TU Delft en HBO-kennisbank gebruikt worden.

Tabel 2, Verzamelen informatie

Het verwerken van de informatie zal digitaal gedaan worden. Enkele specifieke programma's die gebruikt zullen worden zijn:

- D-Sheet Pilling
- D-Foundations
- AutoCAD
- SCIA

3.3 Onderzoekactiviteiten

De volgende activiteiten zullen verricht worden om het onderzoek uit te voeren. Voor een beschrijving per activiteit wordt verwezen naar "15 Bijlage methode".

Nr. 1: Het opstellen van de uitgangspunten	Nr. 5: keuze variant
Nr. 2: Het opstellen van de eisen voor de roro-voorziening.	Nr. 6: Het uitwerken van de beste variant.
Nr. 3: Voorontwerpen maken van de verschillende varianten en alternatieven.	Nr. 7: De berekeningen vertalen naar tekeningen.
Nr. 4: Het opstellen van criteriums.	Nr. 8: Het advies opstellen.

Tabel 3, Onderzoeksactiviteiten

3.4 Onderzoekproducten

Het onderzoek zal leiden tot een adviesrapport, waarin een advies gegeven zal worden voor een roro-voorziening voor de uitbreiding van de werf van ASK Romein in Vlissingen-Oost. In het adviesrapport staat het onderzoek volledig beschreven, afgezien van de berekeningen en de tekeningen. De volledige berekeningen zijn te vinden in het berekeningsrapport en de tekeningen zullen apart geleverd worden. Het adviesrapport zal gebruik maken van de inleiding, theoretische kader en methode van het onderzoeksvoorstel. De in te leveren stukken:

- Onderzoeksrapport
- Adviesrapport
- Berekeningenrapporten
- Tekeningen

4. Planning

Op 29-01-2018 is de afstudeerstage begonnen en zal lopen t/m 29-06-2018. De verdediging zal plaats vinden op 26-06-2018. In “16. Bijlage planning” is een grant chart te vinden.

5. Uitgangspunten

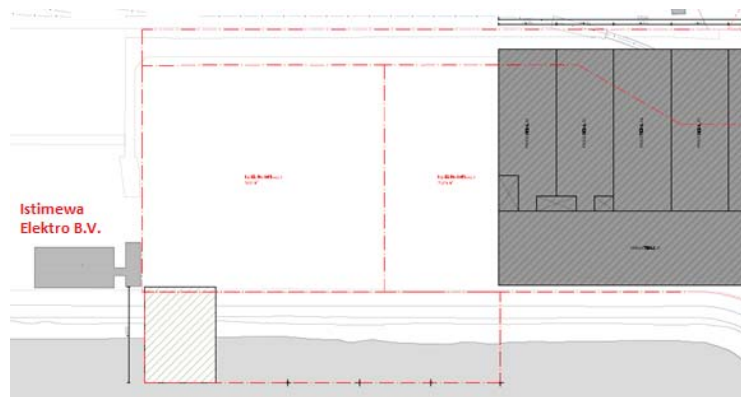
In dit hoofdstuk zal er gekeken worden naar de uitgangspunten van de roro-voorzieningen voor ASK Romein.

5.1 Locatie

In deze paragraaf zal de locatie besproken worden. Dit zal gedaan worden door de locatie van de roro-voorziening op de werf bij ASK Romein, terreinen en gebouwen in de buurt waar rekening mee gehouden moet worden en de grondgegevens op deze locatie te behandelen.

5.1.1 Locatie roro-voorziening

Zoals te zien is op figuur 1, komt de roro-voorziening aan de zuidwest kant van de werf. Op deze locatie bevindt zich momenteel nog een steiger voor het laden en lossen van bulkgoederen. Deze steiger zal ontmanteld worden om plaatst te maken voor de roro-voorziening. In figuur 6 is een situatie tekening van de werf van ASK Romein te zien met daarin de locatie van de roro-voorziening. De roro-voorziening zal 40 x 30 m worden.



Figuur 6, Situatie tekening van de werf van ASK Romein, roro-voorziening is gearceerd links onderin te zien (ASK Romein, 2017)

5.1.2 Nabij gelegen terreinen en gebouwen

Istimewa Elektro B.V. ligt direct naast de werf van ASK Romein. Het kantoorpand van Istimewa Elektro ligt naast de te plaatsen roro-voorziening zoals te zien is in figuur 6. Er zal gekeken moeten worden of het bedrijf apparatuur heeft staan die gevoelig zijn voor trillingen zoals databases en etc. Als dit zich zou voordoen dan zal er naar een methode van heien gekeken moeten worden waarbij minder trillingen worden veroorzaakt en of zal het niet mogelijk zijn om direct naast het kantoorpand te gaan staan met een heistelling in verband met de trillingen. Op het terrein van ASK Romein zelf zijn er geen gebouwen in de buurt waardoor bepaalde werkzaamheden niet uitgevoerd kunnen worden.

De grondgegevens zijn bekend dankzij de sonderingen door VAN DER STRAATEN in opdracht van Royal HaskoningDHV voor de berekeningen van de afmeervoorzieningen van de roro-voorziening.

5.2 Schepen

Er zijn twee soorten schepen die zullen afmeren bij de roro-voorziening dit zijn een ponton en een binnenvaartschip. In “17.2 Schepen” staat een uitgebreidere beschrijving over de schepen die zullen afmeren bij de roro-voorziening.

Een ponton zal gebruikt worden voor het transport van de modules van ASK Romein. Het ponton zal bij het afmeren gebruik maken van de zes bolderpalen in het water en de vier landbolders die reeds eerder zijn berekend door Royal HaskoningDHV volgens de nautische eisen vanuit North Sea Ports.

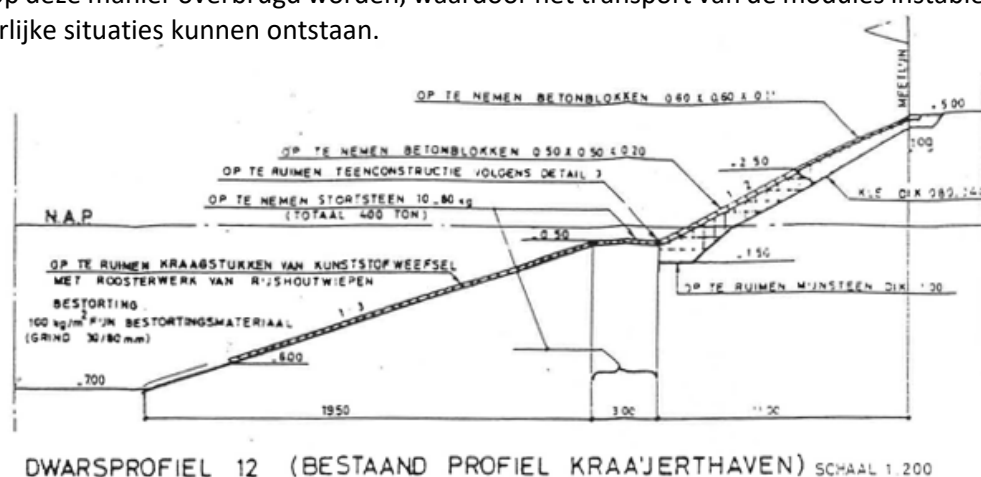
Een binnenvaartschip zal bouw materiaal brengen naar ASK Romein en zal daarvoor afmeren tegen de roro-voorziening. Dit type schip zal voor een bolderkracht van 300 kN per bolder zorgen.

5.3 Geometrie

In deze paragraaf wordt de geometrie van de huidige situatie behandeld. Hiervoor zal er gekeken worden naar het Dwarsprofiel, contractdiepte en de waterstanden.

5.3.1 Dwarsprofiel

In figuur 7 is het dwarsprofiel te zien van de Kraaijerthaven. In dit dwarsprofiel is te zien dat het bedrijf terrein van ASK Romein op een hoogte van NAP +5 m ligt. Dit niveau zal ook aangehouden worden voor de ro-ro-voorziening. De reden dat de ro-ro-voorziening dezelfde hoogte zal krijgen als het maaiveld van ASK Romein is omdat transport van modules⁽²⁾ beter niet tegen een helling op of af kunnen gaan, want een SPMT⁽³⁾ kan maar een beperkt hoogteverschil overbruggen door het platform van de SPMT te laten stijgen of dalen. Als de module te lang wordt kan het hoogteverschil door de helling niet meer op deze manier overbrugd worden, waardoor het transport van de modules instabiel wordt en er gevaarlijke situaties kunnen ontstaan.



Figuur 7, Dwarsprofiel Kraaijerhaven (CT 22-28), Vlissingen-Oost (Royal Haskoning DHV, 2014)

⁽²⁾ zie “17.3.4.4 Belasting offshore modules”

(3) zie "17.3.4.3 Self-propelled modular trailers"

Omdat het ponton een maximale diepgang van 8.8 m heeft, is er de eis gesteld dat de contractdiepte zich op NAP -10 m bevindt in plaats van de NAP -7 m zoals in het dwarsprofiel is weergegeven, dus zullen er baggerwerkzaamheden uitgevoerd moeten worden. Hiernaast hoeft er geen rekening gehouden te worden met bodembescherming, omdat ontgronding hier niet snel zal optreden, omdat een ponton geen schroef heeft en gebruikt maakt van sleepboten die niet in de buurt van de roro-voorziening komen. Doordat er geen bodembescherming toegepast hoeft te worden moet er vanuit ASK Romein wel gerekend worden met mogelijke ontgrondingskuilen tot 2 m diep. Hierdoor wordt de ontwerpdiepte op NAP -12 m gelegd.

5.3.2 Waterstanden

Vlissingen-Oost staat in verbinding met de Westerschelde, waardoor hier een getij aanwezig is. In tabel 4 is een overzicht te zien van de waterstanden.

Omschrijving	Afkorting	Waterstand
Gemiddelde Hoog Waterstand	GHW	NAP +2,05 m
Gemiddelde Laag Waterstand	GLW	NAP -1,82 m
Gemiddelde waterstandstand	GW	NAP +0.12 m
Lowest Astronomical Tide ⁽⁴⁾	LAT	NAP -2,56 m

Tabel 4, Waterstanden Vlissingen-Oost (Royal Haskoning DHV, 2014)

5.4 Reken uitgangspunten

In deze paragraaf zullen uitgangspunten voor de berekeningen vastgesteld worden. Dit geldt voor de milieuklasse, betonklasse, belastingsfactoren en belastingscombinaties, veranderlijke belastingen, betrouwbaarheidsklasse, gevolgklasse en veiligheidsklasse.

5.4.1 Milieuklasse

De milieuklasse is van belang voor de beton berekeningen. Dit heeft invloed op de minimale vereiste betonklasse en de benodigde dekking van de wapening. De roro-voorziening bevindt zich in een XS3 milieu omdat de fundering in zee komt te staan waar een getij is. Voor het voorontwerp (VO) zal de gehele constructie in XS3 berekend worden, in het definitieve ontwerp (DO) zal per onderdeel gekeken worden welke milieuklasse toegepast moet worden. De keuze voor deze milieuklasse is nadere onderbouwd in "17.3.1 Milieuklasse".

5.4.2 Betonklasse

Bij een milieuklasse van XS3 en een levensduur van 50 jaar moet er een minimale betonklasse van C45/55 gebuikt worden met een betondekking van 50 mm. In "17.3.2 Betonklasse" wordt de keuze voor de betonklasse onderbouwd.

5.4.3 Belastingsfactoren en belastingscombinaties

Uit de norm is te concluderen dat voor de berekening van de UGT de volgende twee combinaties gecontroleerd moeten worden: $1,2 \cdot qGk + 1,5 \cdot qQk$ en $1,35 \cdot qGk + 1,5 \cdot \Psi_{0,1} \cdot qQk$. Voor de BGT zal de volgende combinatie gelden: $1,0 \cdot qGk + 1,0 \cdot \Psi_1 \cdot qQk$ conform norm.

Voor de momentaan factoren wordt er gebuikt gemaakt van tabel NB.9-A 2.1 uit NEN-EN 1990. De momentaan factoren zijn als volgt $\Psi_0 = 0,8$ $\Psi_1 = 0,8$ en $\Psi_2 = 0$. In "17.3.3 Belastingsfactoren en belastingscombinaties" Staat een nadere beschrijving hoe aan deze waardes is gekomen.

⁽⁴⁾ Laagst mogelijke getijdenniveau

5.4.4 Veranderlijke belastingen

De roro-voorziening zal voornamelijk belast worden door variabele belastingen. In tabel 5 is een overzicht te vinden van de verschillende belastingen op de roro-voorziening. in "17.3.4 Veranderlijke belastingen" wordt iedere belasting uitzonderlijk behandeld.

Belastingen		
Bovenbelasting	10	ton/m ²
Kraan belasting	200	kN/m ²
Modules	18	ton/m ²
Roro-kleppen	3	ton
Trosbelasting	300	kN

Tabel 5, Overzicht van belastingen op de roro-voorziening

Naast de belastingen in tabel 5 zal er rekening gehouden moeten worden met een aanvaarbelasting van schepen. In het VO zal hier geen rekening mee gehouden worden, alleen in het DO zal hiernaar gekeken worden. Om er voor te zorgen dat in het DO de roro-voorziening zal voldoen aan de aanvaarbelasting, zal er voor gezorgd worden dat in het VO voldoende marge is in zowel de dwarskracht als het moment om deze belasting op te kunnen vangen.

6. Programma van Eisen

In dit hoofdstuk zullen de belangrijkste eisen aan de roro-voorzieningen besproken worden. Voor een volledig overzicht van alle eisen aan de roro-voorzieningen wordt verwezen naar “18. Bijlage Programma van Eisen”.

6.1 Functionele eisen

De roro-voorziening zal gebruikt worden voor het verplaatsen van modules vanaf het terrein van ASK Romein, naar een ponton die in de Kraaijerhaven ligt.

De belangrijkste functionele eisen zijn:

- De roro-voorziening moet vrij zijn van obstakels
- De roro-voorziening dient genoeg draagkrachtvermogen te hebben om de lasten te kunnen te dragen
- De roro-voorziening zal vlak zijn zonder een helling. De roro-voorziening zal daarom op hetzelfde niveau gelegd worden als het maaiveld van ASK Romein van NAP +5 m.
- De roro-voorziening zal niet gebruikt worden voor het afmeren. De bolderpalen worden gebruikt als afmeervoorziening.

6.2 Technische eisen

Verschillende partijen hebben technische eisen gesteld aan de roro-voorziening. ASK Romein heeft technische eisen gesteld aan de locatie en afmetingen, belastingen, afmeervoorzieningen, levensduur en eisen indien er voor een damwandconstructie gekozen wordt. North Sea Ports heeft nautische, onderhoud en beheer en terreingebruik eisen gesteld.

De belangrijkste technische eisen zijn:

- De roro-voorziening dient 30x40 meter zijn
- De roro-voorziening moet instaat zijn verlengd te kunnen te worden in de breedte
- De roro-voorziening dient dezelfde hoogte te hebben als het terrein van ASK Romein van NAP +5 m
- De roro-voorziening dient ontworpen te worden op een ontwerpdiepte van NAP -12 m
- De roro-voorziening moet een levensduur van 50 jaar hebben
- Belasting van de stempeldruk van een AC700 telescoopkraan bedraagt 200 kN/m² met een stempelschot van 4,2 x 2,4 m
- Belasting van de module bedraagt 18 ton/m²
- De roro-voorziening moet voorzien worden van dubbele bolders h.o.h. 25 meter h.o.h. 2 meter
- Er mogen geen strengankers toegepaste worden

Beton zal conform norm Eurocode 2 zijn en de damwandconstructies conform richtlijnen CUR166 gedaan worden.

7. Varianten studie

In dit hoofdstuk zullen de verschillende mogelijke varianten voor een roro-voorziening behandeld worden, er zullen drie varianten gedimensioneerd worden zodat hier later de kosten van bepaald kunnen worden en via een matrix een keuze gemaakt kan worden tussen de drie varianten om een definitief ontwerp van te maken.

7.1 Beschrijving varianten

Er zijn vijf varianten voor een roro-voorziening waarvan voor iedere onderdeel van de variant een alternatief is opgesteld. De varianten zijn als volgt: steiger, damwandconstructie, caissons, diepwanden en een kopwand met een talud.

7.1.1 Steiger variant

In “19.1 Steiger” staat een complete beschrijving hoe de steiger variant met de bijbehorende alternatieve tot stand is gekomen.

Het dek, de balken en de funderingspalen zullen in prefab beton uitgevoerd worden. Op het dek en de balken zal een druklaag gestort worden.

De balken zullen in dwarsrichting van de roro-voorziening geplaatst worden met een h.o.h. afstand van 5 m als startwaarde, waardoor er in totaal 9 balken nodig zijn. Omdat een balk van 30 m te lang is om als geheel te plaatsen, zal iedere balk in stukken van 10 m gekipt worden en zullen in het werk doormiddel van een natte knoop⁽⁵⁾ verbonden worden.

7.1.2 Damwandconstructie variant

In “19.2 Damwandconstructie” staat een complete beschrijving hoe de damwandconstructie variant met de bijbehorende alternatieve tot stand is gekomen.

Voor de damwand zal gebuikt gemaakt worden van Z-profielen. Wanneer de belastingen en of kerende hoogte te groot worden zal er een combiwand toegepast worden. De deksloof zal in beton uitgevoerd worden aangezien dit een eis vanuit de opdrachtgever is.

Voor de verankering is gekozen om een leganker toe te passen en de gordingen zullen in staal uitgevoerd worden. Omdat legankers toegepast worden zal er een ankerwand geplaatst moeten worden om de kopwand aan te verankeren. De ruimte tussen de damwanden zal opgevuld worden met schoon zand. Omdat schoon zand goed verdicht kan worden waardoor er geen nazetting meer optreedt.

7.1.3 Caisson variant

In “19.3 Caisson” staat een complete beschrijving hoe de caissons variant tot stand is gekomen.

Om een caisson te plaatsen zal het huidige talud afgegraven moeten worden en zal er een steenslag bed onder de caissons geplaatst moeten worden om een goede ondergrond te creëren. Het complete talud zo maar weg halen is niet mogelijk omdat de stabiliteit van het talud dan in gevaar komt, daarom zal het deel van het talud dat weggehaald moet worden voor de plaatsing van de caisson afgesloten worden door een tijdelijke damwand.

De bovenzijde van de caisson zal op hoogte gebracht worden door een in het werk gestorte balk aan de randen van de caisson te plaatsen. De ruimte tussen de gestorte balk en de caisson zal gevuld worden met zand en vervolgens zal er een bestrating gelegd worden.

⁽⁵⁾ In het werk gestorte verbindingen

7.1.4 Diepwanden variant

In “19.4 Diepwanden” staat een complete beschrijving hoe de diepwanden variant tot stand is gekomen.

Om diepwanden aan te brengen zal er eerst veel zand aangebracht moeten worden om een werkterrein te maken voor een diepwandenstelling omdat die in de grond gemaakt moeten worden. Hierdoor zal een groot deel van de haven van Vlissingen-Oost vol komen te liggen met zand. Om deze reden zal de diepwanden variant afvallen omdat de kosten en economische schade te hoog zijn.

7.1.5 Kopwand met talud variant

In “19.5 Kopwand met talud” staat een complete beschrijving hoe de kopwand met talud variant met de bijbehorende alternatieve tot stand is gekomen.

De kopwand zal uitgevoerd worden doormiddel van een combiwand die verankerd zal worden met legankers. De deksloof zal in beton uitgevoerd worden aangezien dit een eis vanuit de opdrachtgever is. Er zal schoon zand gebruikt worden omdat schoon zand goed verdicht kan worden waardoor er geen nazetting meer optreedt.

Het bestaande talud zal doorgetrokken worden langs de roro-voorziening. De combiwand zal met één systeemmaat verlengd worden waarna vervolgens overgegaan wordt naar Z-profielen om het talud tegen te houden.

7.1.6 Keuze varianten om te dimensioneren.

Omdat de diepwanden variant afvalt blijven er vier varianten over. In verband met de tijd is er besloten om maar drie varianten te dimensioneren. Gezien de eisen vanuit zowel de opdrachtgever en North Sea Ports is te concluderen dat ze graag een damwandconstructie zien, om deze reden zal deze variant sowieso gekozen worden om te dimensioneren.

De overige twee varianten zullen gekozen worden doormiddel van een Multi Criteria Analyse (MCA). Het MCA is betref vier criteriums: kosten, uitbreiding, overlast voor de omgeving en bouwtijd. In tabel 6 is een overzicht te zien van de criterium met de daar bijbehorende wegingen.

Criterium	Weging	Onderbouwing
Kosten	50 %	De kosten heeft de hoogste score gekregen. De reden hiervoor is omdat de klant het liefst zo min mogelijk hoeft te betalen voor de roro-voorziening en DIMCO wilt het liefst een zo hoog mogelijk winst rendement op een project. Om deze reden heeft de kosten een weging van 50 %.
Uitbreiding	20 %	Een belangrijke eis vanuit de opdrachtgever was dat de roro-voorziening in de toekomst uitgebreid moest kunnen worden in de breedte. Daarom is hier een weging van 20 % aangegeven.
Overlast omgeving	10 %	Er zal niet streng gelet worden op de overlast van de omgeving, omdat de werkzaamheden vanaf het terrein van ASK Romein uitgevoerd kunnen worden of vanaf een ponton die buiten de vaarwegen ligt. Om deze redenen is dit de laagste weging.
Bouwtijd	20 %	De bouwtijd heeft gevolgen op zowel de kosten als op de overlast van de omgeving, want hoe langer de bouwtijd is hoe hoger de kosten zullen worden en er zal langer overlast voor de omgeving zijn. Om deze reden is hier een weging van 20 % aangegeven
Totaal	100 %	-

Tabel 6, Criteriums met de bijbehorende wegingen

Ieder criterium zal een score toegekend krijgen variërend van 1, 3 of 5 waarin in 1 de slechte score is en 5 de beste. In tabel 7 staat voor iedere criterium waar de score op gebaseerd word.

Criterium	Score	Toelichting
Kosten	1	De kosten voor de roro-voorziening zullen "hoog" zijn
	3	De kosten voor de roro-voorziening zullen "gemiddeld" zijn
	5	De kosten voor de roro-voorziening zullen "laag" zijn
Uitbreiding	1	Uitbreiding van de roro-voorziening is niet mogelijk
	3	Uitbreiding van de roro-voorziening is mogelijk, maar er is verlies van de oude roro-voorziening
	5	Uitbreiding van de roro-voorziening is mogelijk zonder verlies van de oude roro-voorziening
Overlast omgeving	1	Er is veel overlast voor de omgeving tijdens de bouw van de roro-voorziening
	3	Er zal geringe overlast zijn voor de omgeving tijdens de bouw van de roro-voorziening
	5	Geen overlast voor de omgeving tijdens de bouw van de roro-voorziening
Bouwtijd	1	De bouwtijd voor de roro-voorziening zullen "lang" zijn
	3	De bouwtijd voor de roro-voorziening zullen "gemiddeld" zijn
	5	De bouwtijd voor de roro-voorziening zullen "kort" zijn

Tabel 7, Waarde tabel

Per variant is een MCA opgesteld. Hoe hoger de punten hoe beter de variant uit het MCA komt. De twee varianten met de hoogste score zullen gedimensioneerd worden. De MCA zijn terug te vinden in "19.6 MCA van de varianten".

In tabel 8 staat een overzicht van de punten vanuit de MCA. Uit de MCA is naar voren gekomen dat de caisson variant de minste punten heeft behaald. Op basis van deze punten is daarom besloten om de caisson niet te dimensioneren in verband met de tijd.

Variant	Punten
Steiger	480
Caisson	200
Kopwand met talud	220

Tabel 8, Overzicht van de scores uit het MCA

7.2 Dimensionering steiger

In deze paragraaf zal de steiger variant voor de roro-voorziening gedimensioneerd worden, alleen de resultaten van de berekeningen worden in de paragraaf besproken. De berekening voor de dimensionering van de steiger variant zijn terug te vinden in "Dimensioneringsberekeningen rapport Steiger variant".

7.2.1 Geometrie

In deze sub paragraaf worden het dek, de balken en de funderingspalen van de steiger gedimensioneerd. De steiger zal een lengte krijgen van 40 m en zal 30 m breedte worden, daarnaast zal het dek van de steiger op NAP +5 m komen te liggen. Dit zijn allemaal eisen vanuit de opdrachtgever.

Het dek zal een dikte van 500 mm krijgen als startwaarde, de balken zullen 1 x 1 m worden als startwaarde en de funderingspalen zullen prefab betonpalen zijn en worden 500 x 500 mm met een h.o.h. afstand van 2,50 m als startwaarde.

7.2.2 Dimensionering funderingspalen

Met behulp van D-Foundations is bepaald of de funderingspaal instaat is om de belasting veroorzaakt door het eigen gewicht van het dek plus balk in combinatie met de module te kunnen te dragen. De funderingspaal heeft genoeg draagkrachtvermogen op NAP -19,75 m.

Daarna is er gekeken of dat een kleiner funderingspaal mogelijk is. Een funderingspaal 450 x 450 mm voldoet niet meer. Er was geen grondlaag aanwezig die de optredende belasting kon dragen.

7.2.3 Dimensionering dek

Uit de berekening voor het dek met een dikte van 0,50 m bleek dat er dwarskrachtwapening nodig was voor het dek. Omdat dwarskrachtwapening duur is om toe te passen is er gekeken of dat een dek met een dikte van 0,70 m geen dwarskrachtwapening nodig heeft. Uit de berekeningen blijkt dat een dek met een dikte van 0,70 m voldoet en er is geen dwarskrachtwapening nodig.

7.2.4 Dimensionering balken

Uit de berekening voor de balken van 1 x 1 m bleek er geen dwarskrachtwapening nodig te zijn afgezien van de montagebeugels. Omdat er geen dwarskracht wapening nodig is, wordt er gekeken of dat een balk met een hoogte van 0,70 m voldoet. Uit de berekeningen blijkt dat een balk met een hoogte van 0,7 m voldoet, alleen moet de balk 1,20 m breed worden in verband met de detailleringsregel voor ruimte tussen de wapeningsstaven. Het dek komt op de balken te liggen, waardoor de balken 1,20 x 1,40 m worden.

7.2.5 Herberekening funderingspalen

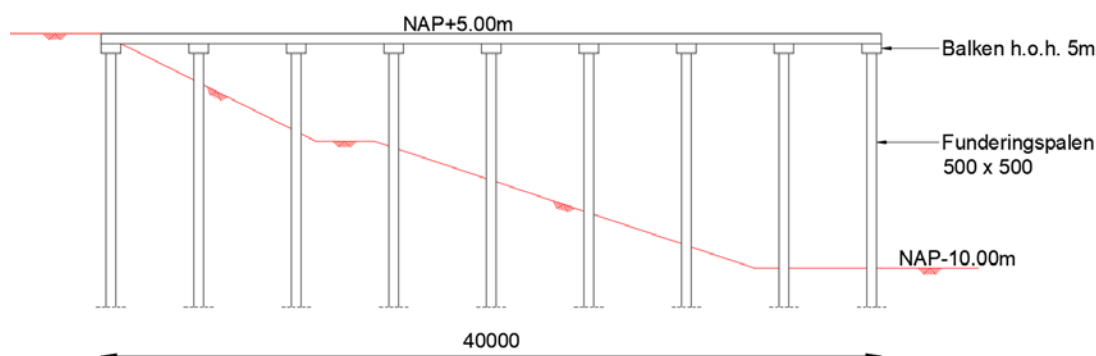
Met behulp van D-Foundations is bepaald of de funderingspaal instaat is om de belasting veroorzaakt door het eigen gewicht van het dek + balk in combinatie met de module te kunnen te dragen. De funderingspaal heeft genoeg draagkrachtvermogen op NAP -21,00 m.

7.2.6 Steiger variant

Na het dimensioneren van het dek, de balken en de funderingspalen is de geometrie van de steiger bekend. In tabel 9 staat een overzicht van de geometrie van de steiger. Tevens is in figuur 8 een schets te zien van de steiger variant. Voor nadere uitleg over de dimensioneringsberekeningen wordt verwezen naar "Dimensioneringsberekeningen rapport Steiger variant".

Onderdeel Steiger	Afmetingen [m]	Aantal
Dek	40 x 30 x 0,70	1
Balken	30 x 1,2 x 0,70	9
H.o.h. balken	5	
Funderingspalen	0,50 x 0,50 x 26	117
H.o.h. funderingspalen	2,50	

Tabel 9, Geometrie steiger variant



Figuur 8, Schets steiger variant

7.3 Dimensionering damwandconstructie

In deze paragraaf zal de damwandconstructie variant voor de roro-voorziening worden gedimensioneerd, alleen de resultaten van de berekeningen worden in de paragraaf besproken. De berekening voor de dimensionering van de damwandconstructie variant zijn terug te vinden in “Dimensioneringsberekeningen rapport Damwandconstructie variant”.

7.3.1 Geometrie

Als eerst wordt er een startwaarde gekozen voor de profielen. Voor de kopwand zal dit een combiwand $\varnothing 1220 \times 20 + \text{AZ26-700}$, ankerwand een AZ36-700N en de vleugelwanden worden opgedeeld in drie secties waarvoor een AZ20-700, AZ26-700 en een combiwand $\varnothing 1220 \times 20 + \text{AZ26-700}$ voor gebuikt wordt.

Omdat een combiwand niet in de profielen bibliotheek van D-Sheet staat, zijn hier de invoergegevens van berekend. Dit is gedaan door de buigstijfheid van de combiwand, buigstijfheid van de buispaal, vloeimoment van de combiwand, vloeimoment van de buispaal en coating van de combiwand te bepalen.

Voor ieder onderdeel van de damwandconstructie is gekeken naar welke belasting op treedt en hoe groot de kracht van deze optredende belastingen is.

De maximale toegestane vervorming van een damwandconstructie is 1/100 van de kerende hoogte (CURNET, 2012). De vervorming is in deze constructie niet een maatgevend factor om te controleren, omdat bij vervorming geen gevaar ontstaat voor de constructies of gebouwen die direct achter de roro-voorziening staan.

7.3.2 Fasering

Er is een fasering gemaakt voor de damwandconstructie. Dit zal een beeld geven over hoe de faseringen in het D-sheet model ingevoerd moeten worden. Alle waardes in deze faseringen zijn aannames. Deze aannames zullen ook gebruikt worden om het D-Sheet model mee op te bouwen om vervolgens zo de juiste profielen te berekenen, aanbrengdiepte en ankerniveau.

7.3.3 Legankers

Een leganker kan geschematiseerd worden als een veer. Er is een aanname gedaan voor een ASDO500 M95/70 leganker. Dit leganker kan 1924 kN opnemen. H.o.h. afstand van de legankers bij de combiwand staat gelijk aan de systeemmaat van de combiwand. Bij de damwand zal met een h.o.h. afstand van 2,80 m gewerkt worden

Bij de keuze voor het ankerniveau wordt er gekeken naar het maximale positieve en negatieve moment dat optreedt. Door het ankerniveau te verplaatsen zullen deze momenten groter of kleiner worden. Het ideale ankerniveau is behaald wanneer het verschil tussen het positieve en negatieve moment op zijn kleinst is, dan werken het anker en de damwand perfect met elkaar samen om het optredende moment te verdelen over de damwand.

7.3.4 Drainkoffer

Er zal een drainkoffer aan gebracht worden op NAP -0,92 m. De reden hiervoor is om de grondwaterstand te verlagen. Hierdoor zal de damwandconstructie minder belast worden door het grondwater.

7.3.5 D-Sheet berekening

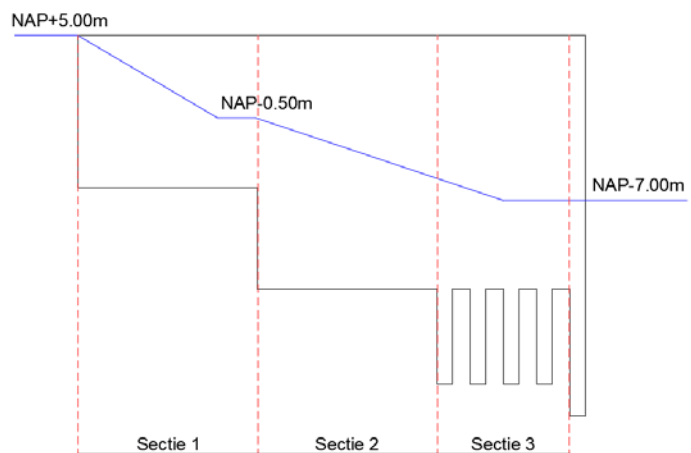
Voor ieder sectie van de damwandconstructie is een D-Sheet berekening gedaan om te kijken welke profiel, aanbrengdiepte, ankerniveau en type leganker nodig.

7.3.5.1 Kopwand

Voor de kopwand is een combiwand toegepast. De combiwand bestaat uit een $\varnothing 914 \times 17,5 + \text{AZ20-700}$. De buispalen zullen een aanbrengdiepte van NAP -18,00 m hebben en de tussen planken zullen op NAP -15 m aangebracht worden. Het ankerniveau ligt op NAP +1,75 m, de ankerkracht bedraagt dan 1306 kN/m. Bij uitval van een leganker zal dit oplopen t/m 3862 kN. Er is gekozen om een ASDO500 M135/105 toe te passen omdat dit leganker 4164 kN kan opnemen. De ankerwand zal 35 m achter te kopwand geplaatst worden. Op deze afstand ligt de ankerwand buiten het afschuifvalk van de kopwand.

7.3.5.2 Vleugelwand sectie 1

Voor vleugelwand sectie 1 is een damwand toegepast. De damwand zal bestaan uit een AZ12-700 die wordt aangebracht op NAP -7 m. Het ankerniveau ligt op NAP +3 m, de ankerkracht bedraagt dan 148,20 kN/m. Bij uitval van een leganker zal dit oplopen t/m 519 kN. Er is gekozen om een ASDO355 64/48 toe te passen omdat dit leganker 642 kN kan opnemen.



Figuur 9, Secties vleugelwand damwanconstructie

7.3.5.3 Vleugelwand sectie 2

Voor vleugelwand sectie 2 is een damwand toegepast. De damwand zal bestaan uit een AZ12-700 die wordt aangebracht op NAP -7 m. Het ankerniveau ligt op NAP +1,75 m, de ankerkracht bedraagt dan 196,80 kN/m. Bij uitval van een leganker zal dit oplopen t/m 689 kN. Er is gekozen om een ASDO335 68/52 toe te passen omdat dit leganker 784 kN kan opnemen.

7.3.5.4 Vleugelwand sectie 3

Voor vleugelwand sectie 3 is een combiwand toegepast. De combiwand bestaat uit een $\varnothing 711 \times 20 + \text{AZ20-700}$. De buispalen zullen een aanbrengdiepte van NAP -18 m hebben en de tussen planken zullen op NAP -15 m aangebracht worden. Het ankerniveau ligt op NAP +2,25 m, de ankerkracht bedraagt dan 885,10 kN/m. Bij uitval van een leganker zal dit oplopen t/m 2393 kN. Er is gekozen om een ASDO500 M105/80 toe te passen omdat dit leganker 2457 kN kan opnemen.

7.3.5.5 Ankerwand

Voor de ankerwand is een damwand toegepast. De damwand zal bestaan uit een AZ24-700N die wordt aangebracht op NAP -2 m en de kop van de damwand ligt op NAP +4m in verband met leidingen en mantelbuizen. Het ankerniveau ligt op NAP.

7.3.6 DekslAAF

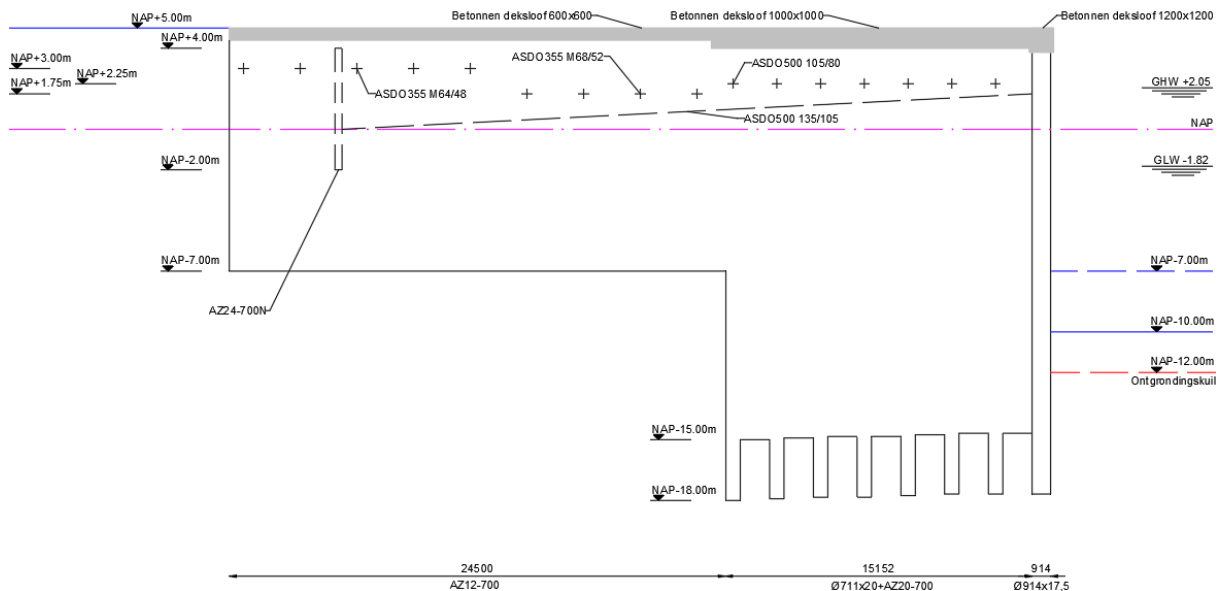
Een eis vanuit de opdrachtgever is dat de deksloof uitgevoerd wordt in beton. De deksloof zal ruim uitgevoerd worden om eventuele heiafwijking op te kunnen te vangen. Voor de kopwand zal de deksloof 1200 x 1200 mm worden, voor de vleugelwand sectie 3 zal de deksloof 1000 x 1000 mm worden en voor vleugelwand sectie 1 en 2 zal de deksloof 600 x 600 mm zijn.

7.3.7 Damwandconstructie variant

Na de dimensioneringsberekening is de geometrie van de damwandconstructie bekend geworden. In tabel 10 is een overzicht te zien van de benodigde onderdelen en hoeveelheden voor de damwandconstructie. Tevens is in figuur 10 een schets te zien van de damwandconstructie variant.

Onderdeel	Hoeveelheid	Gewicht per stuk
Buispaal 914 x 17,5 (23m)	14 st	8898,35 kg
Buispaal 711 x 20 (23m)	14 st	7838,43 kg
AZ20-700 (20m)	27 st	2386,00 kg
AZ12-700 (12m)	70 st	1160,40 kg
AZ24-700N (6m)	41 st	769,20 kg
ASDO500 M135/105	12 st	-
ASDO500 M105/80	7 st	-
ASDO355 M68/52	4 st	-
ASDO355 M64/48	5 st	-
Beton	94 m ³	-
Zand	9304 m ³	-

Tabel 10, Hoeveelheden voor de damwandconstructie variant (ArcelorMittal, sd)



Figuur 10, Schets damwandconstructie variant (zij aanzicht)

Voor nadere uitleg over de dimensioneringsberekeningen van de damwandconstructie variant wordt verwezen naar “Dimensioneringsberekeningen rapport Damwandconstructie variant”.

7.4 Dimensionering kopwand met talud

In deze paragraaf zal de kopwand met talud variant voor de roro-voorziening worden gedimensioneerd, alleen de resultaten van de berekeningen worden in de paragraaf besproken. De berekening voor de dimensionering van de kopwand met talud variant zijn terug te vinden in “Dimensioneringsberekeningen rapport Kopwand met talud variant”.

7.4.1 Geometrie

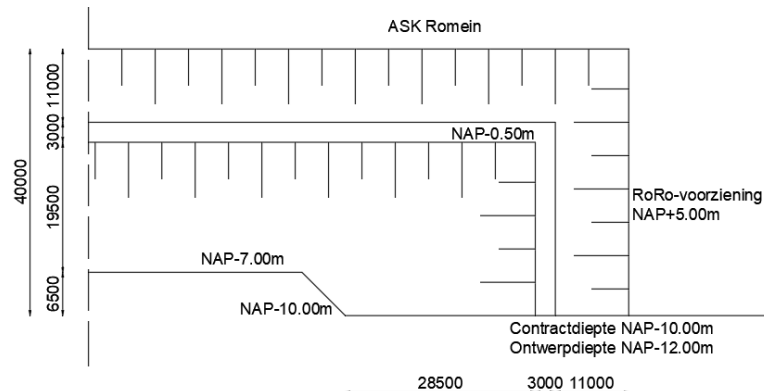
Voor de geometrie wordt er gekeken naar de kopwand en ankerwand, het talud, de damwandprofielen, de aanbrengdiepte, het kopniveau van damwand en de vervorming.

7.4.1.1 Kopwand en ankerwand

De kopwand en ankerwand van deze variant zijn hetzelfde als die van de damwandconstructie variant. Voor de uitleg hoe deze kopwand en ankerwand zijn bepaald wordt verwezen naar “7.3 Dimensionering damwandconstructie”. Aan weerszijde van de kopwand zal de kopwand verlengd worden met één systeemmaat van 2,36 m. De reden hiervoor is, om zeker te zijn dat de krachten die op de kopwand werken ook daadwerkelijk alleen door de kopwand op genomen zullen worden, en dat de krachten niet zullen gaan werken op de verjoning.

7.4.1.2 Talud

Er is gekozen om het bestaande talud door te trekken langs de roro-voorziening. Omdat het bestaande talud maar tot NAP -7 m gaat, is het talud langs de roro-voorziening verlengd met 9 m, om zo met het talud van 1:3 op de contractdiepte van NAP -10 m te komen.



Figuur 11, Schets van het talud langs de roro-voorziening

7.4.1.3 Damwandprofiel

De kopwand zal aan weerszijde verlengd worden met een damwand bestaande uit Z-profielen. Het talud zal op vijf punten getoetst worden om het profiel te bepalen. Door deze vijf toetsingspunten kan de damwand aan weerszijde zo optimaal mogelijk bepaald worden.

7.4.1.4 Aanbrengdiepte en kop damwand

De eerste twee punten die getoetst worden zullen verankerd worden door middel van een groutanker. De aanbrengdieptes voor de verschillende toetsingspunten zijn bepaald aan de hand van de vuistregels voor de lengte van een damwand in de grond bij een verankerde en onverankerde damwanden. Bij een verankerde damwand is dit $\frac{1}{3}$ van de kerende hoogte van de damwand, en voor een onverankerde damwand is dit $\frac{1}{2}$ van de kerende hoogte van de damwand. Het kopniveau van de damwand zal geleidelijk steeds lager geplaatst worden. De reden hiervoor, is omdat de kerende hoogte van het talud ook telkens afneemt.

7.4.1.5 Vervorming

De vuistregel voor maximale vervorming van een damwandconstructie, $\frac{1}{100}$ van de kerende hoogte, zal hier niet toegepast worden. De vervorming is in deze constructie niet een maatgevend factor om te controleren, omdat bij vervorming geen gevaar ontstaat voor de constructies of gebouwen die direct achter de roro-voorziening staan.

7.4.2 D-Sheet model

Voor ieder toetsingspunt is een D-Sheet module gemaakt om de benodigde damwandprofiel op het desbetreffende punt van het talud te kunnen te bepalen.

7.4.3 Groutanker en damwandprofielen

In deze sub paragraaf wordt het groutanker berekend en zal er gekeken worden op welke niveau het groutanker moet aangrijpen. Tevens zal er gekeken worden welk damwandprofiel per toetsingspunt gebuikt moet worden.

7.4.3.1 Berekening houdkracht groutanker

Het groutanker zal met behulp van een empirische berekening berekend worden. De empirische bekring zal gecontroleerd moeten worden door middel van een controleproef, alleen is dit niet mogelijk dus zal er alleen uitgegaan worden van de empirische berekening. Door het groutanker in de draagkrachtige laag op NAP -18 m te plaatsen zal het groutanker een houdkracht hebben van 1020 kN.

7.4.3.2 Ankerniveau en lengte groutanker ankerkracht

Een groutanker onder water aanbrengen is uitvoertechisch niet mogelijk, dus zal het ankerniveau afhankelijk zijn van de waterstanden. Er is besloten om het groutanker 1 m boven de GLW te plaatsen, Hierdoor zal er genoeg tijd zijn om het groutanker te plaatsen bij laagwater, voordat het groutanker onderwater komt te staan. Hierdoor zal het ankerniveau niet lager dan NAP -0,80 m mogen zijn. Om de draagkrachtige laag te bereiken zal het groutanker onder een hoek van 45° aangebracht worden. Het groutlichaam zal 6 m lang zijn. Om dit te realiseren zal het groutanker een lengte van 30,50 m nodig hebben.

7.4.3.3 Resultaten toetsingspunten

In tabel 11 is een overzicht te zien van welke profiel per toetsingspunt toegepast zal moeten worden. Daarnaast is er een unity check per toetsingspunt weergegeven en indien aanwezig een ankerkracht.

Toetsingspunt	Profiel	Unity check	Ankerkracht [kN/m]
1	AZ26-700	0,90	433,4
2	AZ20-700	0,87	166,9
3	AZ24-700	0,89	-
4	AZ12-700	0,83	-
5	AZ12-700	0,03	-

Tabel 11, Overzicht per toetsingspunt het profiel en indien de ankerkracht

7.4.4 Deksloof

Alleen de kopwand zal voorzien worden van een deksloof. Dit is dezelfde deksloof als die van de damwandconstructie variant. Voor de deksloof wordt er verwezen naar "7.3.6 Deksloof".

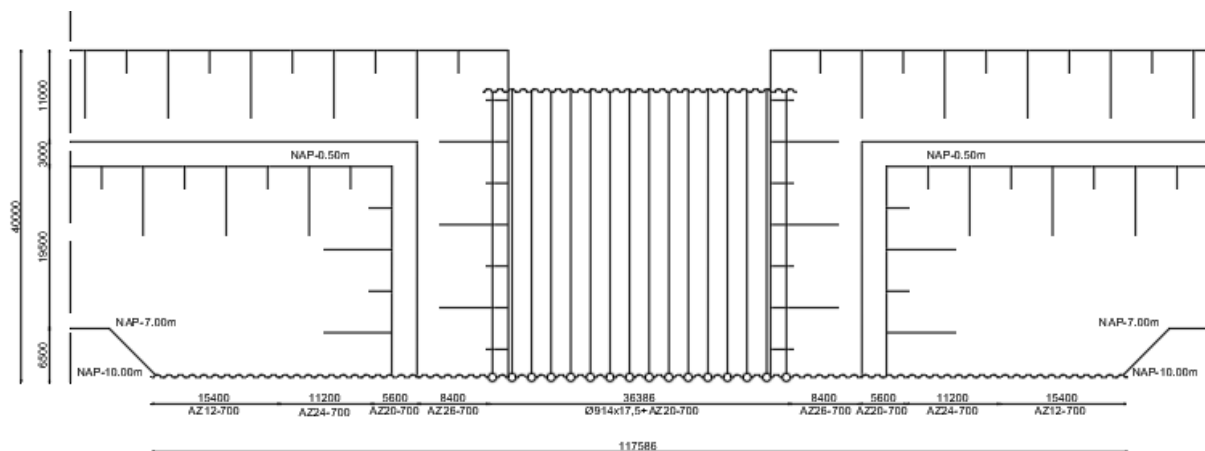
7.4.5 Kopwand met talud variant

Na de dimensioneringsberekening van de kopwand met talud variant is er een overzicht gemaakt van de benodigde onderdelen en hoeveelheden. In tabel 12 is het overzicht voor deze variant te zien. In figuur 12 is een schets van de kopwand met talud variant te zien.

Voor nadere uitleg over de dimensioneringsberekeningen van de kopwand met talud variant wordt verwezen naar "Dimensioneringsberekeningen rapport Kopwand met talud variant".

Onderdeel	Hoeveelheid	Gewicht per stuk
Buispaal 914 x 17,5	16 st	8898,35 kg
AZ24-700N	54 st	769,20 kg
AZ26-700 (23,5m)	24 st	2418,15 kg
AZ20-700 (20m)	30 st	2386,00 kg
AZ20-700 (18m)	16 st	2147,40 kg
AZ24-700 (20,7m)	32 st	2829,69 kg
AZ12-700 (14m)	44 st	947,8 kg
Groutanker	10 st	-
ASDO500 M135/105	16 st	-
Beton	53 m ³	-
Zand	18580 m ³	-

Tabel 12, Hoeveelheden voor de kopwand met talud variant (ArcelorMittal, sd)



Figuur 12, Schets kopwand met talud variant, bovenaanzicht

8. Keuze variant

In dit hoofdstuk zal er gekeken worden hoe de definitieve variant gekozen zal worden. De variant zal gekozen worden op basis van een trade-off. In deze trade-off zal er gekeken worden naar een aantal criteriums. Het belangrijkste criterium zal de kosten zijn voor de variant. De kosten zijn bepaald aan de hand van kengetallen, dit zal dan ook per variant uitgebreid besproken worden. Alle andere criteriums zullen kort besproken worden. Tevens zal de weging en score per criterium besproken worden. Als laatste worden alle varianten getoetst door middel van een matrix aan de hand van de opgestelde criteriums.

8.1 Kosten per variant

De kosten per variant is bepaald door naar drie kosten posten te kijken: Inkoop, materieel en personeel en installatiekosten. Deze drie kosten posten worden bij elkaar opgeteld om de kosten voor de variant te vinden. In overleg met DIMCO is besproken dat 18% van de kosten gerekend mag worden voor eenmalige kosten, risico en UTA personeel⁽⁶⁾,

⁽⁶⁾ Uitvoerend Technisch Administratief personeel

8.1.1 Kosten steiger

In tabel 13 t/m 15 zijn de kosten voor de steiger variant te zien. In “20.1 Kosten steiger” staat een beschrijving hoe deze kosten zijn opgebouwd.

Onderdeel	Hoeveelheid		Prijs		Totaal prijs
Beton C45/55	1066,8	m ³	€ 650,00	/m ³	€ 693.420,00
Hoofdwapening dek Ø40	70,53	kg/m ³	€ 1,10	/kg	€ 65.169,72
Verdeelwapening dek Ø16	15,78	kg/m ³	€ 1,10	/kg	€ 14.580,72
Wapening balk Ø20	23,68	kg/m ³	€ 1,10	/kg	€ 5.907,69
Wapening balk Ø32	121,2	kg/m ³	€ 1,10	/kg	€ 30.236,98
Flankwapening balk Ø12	2,13	kg/m ³	€ 1,10	/kg	€ 531,39
Beugels balk Ø12	19,68	kg/m ³	€ 1,10	/kg	€ 4.909,77
Prefab funderingspalen 500x500 (26m)	117	st	€ 100,00	/m	€ 304.200,00
Totaal					€ 1.118.956,26

Tabel 13, Inkoopkosten voor de steiger variant

Materieel/personeel	Hoeveel		Prijs		Tijdsduur	Totaal prijs
Ponton	1	st	€ 750,00	/dag	29 dagen	€ 21.750,00
Heistelling	1	st	€ 1.000,00	/dag	20 dagen	€ 20.000,00
Heiploeg (3 man)	1	st	€ 1.200,00	/dag	20 dagen	€ 24.000,00
Diesel blok D62	1	st	€ 500,00	/dag	20 dagen	€ 10.000,00
Betonpomp 52m	1	st	€ 450,00	/dag	1 dagen	€ 450,00
Stortploeg (3 man)	1	st	€ 120,00	/uur	1 dagen	€ 120,00
Timmermannen	4	man	€ 40,00	/uur	30 dagen	€ 4.800,00
Telescoopkraan 70 ton + 2 man	1	st	€ 180,00	/uur	20 dagen	€ 28.800,00
Telescoopkraan 130 ton + 2 man	1	st	€ 280,00	/uur	9 dagen	€ 20.160,00
Totaal						€ 109.920,00

Tabel 14, Materieel en personeel kosten voor de steiger variant

Onderdeel	Hoeveel		Prijs		Totaal prijs
Natte knoop	18	st	€ 750,00	/st	€ 13.500,00
Verpompen beton	1066,80	m ³	€ 4,50	/m ³	€ 4.800,60
Koppesnellen	117	st	€ 200,00	/st	€ 23.400,00
Totaal					€ 41.700,60

Tabel 15, Bouwkosten voor de steiger variant

Door de inkoop-, materieel en personeel- en bouwkosten bij elkaar op te tellen komt de steiger variant op € 1.276.576,86 neer. Hier bovenop komt de eerdergenoemde 18% waardoor de totale kosten voor de steiger variant € 1.506.360,70 zijn.

8.1.2 Kosten damwandconstructie

In tabel 16 t/m 18 zijn de kosten voor de damwandconstructie variant te zien. In “20.2 Kosten damwandconstructie” staat een beschrijving hoe deze kosten zijn opgebouwd.

Onderdeel	Hoeveelheid		Gewicht per stuk		Prijs		Totaal prijs
Buispaal 914 x 17,5 (23m)	14	st	8,90	ton	€ 900,00	/ton	€ 112.140,00
Buispaal 813 x 20 (25m)	14	st	7,84	ton	€ 900,00	/ton	€ 98.784,00
AZ20-700 (20m)	58	st	2,39	ton	€ 850,00	/ton	€ 117.827,00
AZ12-700 (12m)	60	st	1,16	ton	€ 850,00	/ton	€ 59.160,00
AZ24-700N (6m)	44	st	0,77	ton	€ 850,00	/ton	€ 28.798,00
ASDO500 M150/115	12	st	2836	kg	€ 4,50	/kg	€ 153.144,00
ASDO500 M105/80	7	st	1176	kg	€ 4,50	/kg	€ 37.044,00
ASDO355 M68/52	4	st	497	kg	€ 2,50	/kg	€ 4.970,00
ASDO355 M64/48	5	st	618	kg	€ 2,50	/kg	€ 7.725,00
Beton	94	m ³		-	€ 250,00	/m ³	€ 23.500,00
Bestrating	1280	m ²		-	€ 25,00	/m ²	€ 32.000,00
Zand	9304	m ³		-	€ 15,00	/m ³	€ 139.560,00
Totaal							€ 814.652,00

Tabel 16, Inkoopkosten voor de damwandconstructie variant

Materieel/personeel	Hoeveel		Prijs		Tijdsduur		Totaal prijs
Ponton	1	st	€ 750,00	/dag	17	dagen	€ 12.750,00
Heistelling	1	st	€ 1.000,00	/dag	7	dagen	€ 7.000,00
Trilblok	1	st	€ 650,00	/dag	7	dagen	€ 4.550,00
Heiploeg (3 man)	1	st	€ 1.200,00	/dag	7	dagen	€ 8.400,00
Timmermannen	4	man	€ 40,00	/uur	25	dagen	€ 4.000,00
Bandenkraan	1	st	€ 65,00	/uur	15	dagen	€ 3.900,00
Bemaling		-	€ 5.000,00			-	€ 5.000,00
Totaal							€ 45.600,00

Tabel 17, Materieel en personeel kosten voor de damwandconstructie variant

Onderdeel	Hoeveel		Prijs		Totaal prijs
Buispaal	28	st	€ 1.000,00	/st	€ 28.000,00
Damwand	1500,8	/m ²	€ 17,50	/m ²	€ 26.264,00
Plaatsen leganker (35m)	14	st	€ 1.280,00	/st	€ 17.920,00
Plaatsen leganker (30m)	16	st	€ 960,00	/st	€ 15.360,00
Totaal					€ 87.544,00

Tabel 18, Bouwkosten voor de damwandconstructie variant

Door de inkoop-, materieel en personeel- en bouwkosten bij elkaar op te tellen komt de damwandconstructie variant op € 947.796,00 neer. Hier bovenop komt de eerdergenoemde 18% waardoor de totale kosten voor de steiger variant € 1.118.399,28 zijn.

8.1.3 Kosten kopwand met talud

In tabel 19 t/m 21 zijn de kosten voor de kopwand met talud variant te zien. In “20.3 Kosten kopwand met talud” staat een beschrijving hoe deze kosten zijn opgebouwd.

Onderdeel	Hoeveelheid		Gewicht per stuk		Prijs		Totaal prijs
Buispaal 914 x 17,5	16	st	8,9	ton	€ 900,00	/ton	€ 128.160,00
AZ24-700N (6m)	54	st	0,77	ton	€ 850,00	/ton	€ 35.343,00
AZ26-700 (23,5m)	24	st	2,42	ton	€ 850,00	/ton	€ 49.368,00
AZ20-700 (20m)	28	st	2,39	ton	€ 850,00	/ton	€ 56.882,00
AZ20-700 (18m)	16	st	2,15	ton	€ 850,00	/ton	€ 29.240,00
AZ24-700 (20,7m)	32	st	2,83	ton	€ 850,00	/ton	€ 76.976,00
AZ12-700 (14m)	44	st	0,95	ton	€ 850,00	/ton	€ 35.530,00
ASDO500 M135/105	16	st	2836	kg	€ 4,50	/kg	€ 204.192,00
Groutanker	10	st	-	-	€ 3.000,00	/st	€ 30.000,00
Beton	53	m ³	-	-	€ 250,00	/m ³	€ 13.250,00
Bestrating	1280	m ²	-	-	€ 25,00	/m ²	€ 32.000,00
Zand	18580	m ³	-	-	€ 15,00	/m ³	€ 278.700,00
Steen bestorting	190	m ²	-	-	€ 75,00	/m ²	€ 14.250,00
Beton blokken	400	m ²	-	-	€ 50,00	/m ²	€ 20.000,00
Totaal							€ 1.003.891,00

Tabel 19, Inkoopkosten voor de kopwand met talud variant

Materieel/personeel	Hoeveel		Prijs		Tijdsduur		Totaal prijs
Ponton	1	st	€ 750,00	/dag	14	dagen	€ 10.500,00
Heistelling	1	st	€ 1.000,00	/dag	6	dagen	€ 6.000,00
Trilblok Licht	1	st	€ 650,00	/dag	6	dagen	€ 3.900,00
Heiploeg (3 man)	1	st	€ 1.200,00	/dag	6	dagen	€ 7.200,00
Timmermannen	4	man	€ 40,00	/uur	23	dagen	€ 3.680,00
Bandenkraan	1	st	€ 65,00	/uur	30	dagen	€ 1.950,00
Totaal							€ 33.230,00

Tabel 20, Materieel en personeel kosten voor de kopwand met talud variant

Onderdeel	Hoeveel		Prijs		Totaal prijs
Buispaal	16	st	€ 1.000,00	/st	€ 16.000,00
Damwand	2110	/m ²	€ 17,50	/m ²	€ 36.926,25
Plaatsen legankers (35m)	16	st	€ 1.280,00	/st	€ 20.480,00
Totaal					€ 73.406,25

Tabel 21, Bouwkosten voor de kopwand met talud variant

Door de inkoop-, materieel en personeel- en bouwkosten bij elkaar op te tellen komt de kopwand met talud variant op € 1.110.527,25 neer. Hier bovenop komt de eerdergenoemde 18% waardoor de totale kosten voor de steiger variant € 1.310.422,16 zijn.

8.2 Matrix

Om een variant te kiezen is er een matrix opgesteld aan de hand van vier criteriums met ieder zijn eigen weging. Dit zijn kosten, draagkrachtvermogen, onderhoud en uitbreiding. De kosten zijn reeds eerder uitgebreid besproken. De reden waarom naar de andere drie criteriums gekeken wordt is:

- **Draagkracht:** Iedere variant is instaat om te gaan met de belastingen die op het roro-voorziening komt te staan. Dit is bewezen door middel van de dimensioneringsberekeningen. Bij dit criterium zal daarom gekeken worden hoe makkelijk de variant kan omgaan met de belasting qua locatie belasting op roro-voorziening en eventuele hogere belastingen in de toekomst.
- **Onderhoud:** De varianten worden tevens bekeken naar onderhoudsvriendelijkheid. De reden dat hiernaar gekeken wordt is omdat onderhoud over tijd kosten met zich mee zal brengen. Om deze reden zal er gekeken worden naar onderhoud bij de variant keuzen.
- **Uitbreiding:** Een eis vanuit de opdrachtgever was dat de roro-voorziening instaat moet zijn uitgebreid te kunnen te worden in de breedte. Omdat dit een eis is vanuit de opdrachtgever zal hiernaar gekeken worden bij de variant keuzen.

8.2.1 Wegingen per criterium

- De kosten zullen een weging van 50 % krijgen. De reden hiervoor is dat het uiteindelijk allemaal om geld draait. Een opdrachtgever wilt het liefst een zo goed mogelijke oplossing tegen de laagst mogelijke prijs. Om deze reden is besloten de kosten als zwaarst mee te laten tellen.
- Na de kosten is het draagkrachtvermogen van de roro-voorziening het hoogst met 25 %. De reden hiervoor is omdat iedere module anders is, dus zal de krachtenwerking op de roro-voorziening telkens variëren. Daarom is het van belang een roro-voorziening te hebben die goed kan omgaan met deze verandering in belasting door de module.
- Het onderhoud van de varianten heeft een weging van 12,5 % gekregen. De reden hiervoor is omdat iedere variant onderhoud zal moeten hebben, alleen zal de één meer aandacht hiervoor moeten hebben dan de andere. Daarnaast zal de levensduur van 50 jaar voor de roro-voorziening gehaald moeten kunnen worden zonder echt onderhoud te hoeven te plegen aan de roro-voorziening.
- Net als onderhoud heeft de uitbreiding ook een weging van 12,5 %. Alle varianten zijn makkelijk uit te breiden. Alleen zal bij de ene variant geen verlies zijn van de dan huidige roro-voorziening en bij andere varianten zal wel verlies zijn van de dan huidige roro-voorziening. Of een deel van de roro-voorziening krijgt een andere functie.

8.2.2 Score per criterium

Iedere criterium zal een score toegewezen krijgen. Deze score zal van 1 t/m 5 lopen waarbij 1 de laagst mogelijke score is en 5 de hoogst mogelijke score.

8.2.2.1 Score kosten

De score voor de kosten zal gedaan worden aan de hand van de totaal kosten voor iedere variant die berekend zijn. Omdat hier een goed beeld is van wat iedere variant kost, zal de score als volgt verdeeld worden.

Score	Kosten
1	Duurste variant
3	Gemiddelde variant
5	Goedkoopste variant

Tabel 22, Score voor de kosten

8.2.2.2 Score draagkracht

De score voor de draagkracht zal bepaald worden aan de hand van hoe goed een variant instaat is om de gaan met de belasting op de roro-voorziening. Elke variant is instaat om te gaan met de opgegeven belastingen, alleen zal iedere variant anders reageren op de belasting. De score zal als volgt verdeeld worden.

Score	Draagkrachtvermogen
1	De roro-voorziening zal zeer grote problemen ondervinden door de belastingen, ongeacht de locatie van de belasting
2	De roro-voorziening zal grote problemen ondervinden door de belastingen, ongeacht de locatie van de belasting
3	De roro-voorziening zal problemen ondervinden door de belasting, ongeacht de locatie van de belasting
4	De roro-voorziening zal minimale problemen ondervinden door de belasting, ongeacht de locatie van de belasting
5	De roro-voorziening zal geen enkel probleem ondervinden door de belasting, ongeacht de locatie van de belasting.

Tabel 23, Score voor de draagkrachtvermogen

8.2.2.3 Score onderhoud

De score voor het onderhoud zal bepaald worden aan de hand hoe onderhoudsintensief een variant zal zijn. Dit zal gedaan worden door te kijken naar de materialen van de varianten. Zo heeft beton geen onderhoud nodig, maar staal weer wel in verband met corrosie. De score zal als volgt verdeeld worden.

Score	Onderhoud
1	Intensief onderhoud is nodig binnen de levensduur van 50 jaar
2	Er is veel onderhoud nodig binnen de levensduur van 50 jaar
3	Er is onderhoud nodig binnen de levensduur van 50 jaar
4	Er is minimaal onderhoud nodig binnen de levensduur van 50 jaar
5	Er zal geen onderhoud gepleegd hoeven te worden binnen de levensduur van 50 jaar

Tabel 24, Score voor de onderhoud

8.2.2.4 Score uitbreiding

De score voor de uitbreiding van de roro-voorziening in de breedte zal bepaald worden aan de hand van de hoeveelheid verlies van de dan huidige variant en of verandering van functie binnen de huidige roro-voorziening.

Score	Uitbreiding
1	Uitbreiding is niet mogelijk
2	Verlies en functie verandering van de dan huidige roro-voorziening
3	Verlies, maar geen functie verandering van de dan huidige roro-voorziening
4	Geen verlies, maar wel een functie verandering van de dan huidige roro-voorziening
5	Geen verlies of functie verandering van de dan huidige roro-voorziening

Tabel 25, Score voor de uitbreiding

8.2.3 Matrix variant kiezen

In deze sub paragraaf is per variant de matrix op gesteld. In de matrix is te zien welke score per criterium behaald worden en een toelichting hoe op deze score is toegewezen. De punten per criterium zijn bepaald door de weging maal de score te doen. Door alle punten bij elkaar op te tellen kunnen de totaal aantal punten van de drie varianten met elkaar vergeleken worden. Hoe meer punten een variant heeft, hoe beter de variant uit de matrix komt. In tabel 26 t/m 28 zijn de matrixen te vinden van de drie varianten.

Steiger variant				
Criterium	Weging	Score	Punten	Toelichting
Kosten	50	3	150	De prijs voor deze variant ligt in het midden van de drie varianten
Draagkracht	25	3	75	Omdat de steiger gevoeliger is voor belastingen dan de andere twee varianten is hier een score van 4 aan toegekend. De reden dat deze gevoeliger is dan de andere twee variant komt omdat bij toename van belasting zowel het dek als de balk en de funderingspalen verzwaaarde moeten worden. Als de steiger eenmaal geplaatst is zal dus ook de maximale belasting bepaald zijn voor de roro-voorziening. Dus zal ASK Romein in de toekomst niet instaat zijn zwaardere lasten op de roro-voorziening te zetten. Om deze reden wordt dit gezien als een minimaal probleem voor qua draagkracht
Onderhoud	12,5	5	62,5	Er zal geen onderhoud gepleegd hoeven te worden in de levensduur van 50 jaar. De reden hiervoor is omdat de steiger uit beton bestaat. Beton heeft geen onderhoud nodig.
Uitbreiding	12,5	5	62,5	De uitbreiding kan gedaan worden door een tweede steiger naast de bestaande steiger te plaatsen. Hierdoor is er geen verlies of functie verandering van de dan huidige roro-voorziening
Totaal aantal punten			350	

Tabel 26, Matrix steiger

Damwandconstructie variant				
Criterium	Weging	Score	Punten	Toelichting
Kosten	50	5	250	Dit is de goedkoopste variant
Draagkracht	25	4	100	Het grote voordeel van een damwandconstructie is dat de belasting niet veel impact heeft op de constructie. Om deze reden scoort de damwandconstructie hoog
Onderhoud	12,5	3	37,5	Zowel de kopwand als vleugelwand zullen onderhoud nodig hebben in de vorm van het vervangen van anodes i.v.m. corrosie.
Uitbreiding	12,5	2	25	Bij uitbreiding in de breedte zal een vleugel wand verloren gaan en krijgt deze een nieuwe functie. De vleugelwand gaat verloren omdat verwijderen niet mogelijk is, omdat beide vleugelwanden met elkaar zijn verbonden door legankers. Door verwijderen van de vleugelwand zal de andere vleugelwand instabiel worden. De vleugelwand zal een nieuwe functie krijgen omdat deze nu als een akerwand zal functioneren voor zowel de bestaande vleugelwand zal de nieuwe vleugelwand.
Totaal aantal punten			412,5	

Tabel 27, Matrix damwandconstructie

Kopwand met talud variant				
Criterium	Weging	Score	Punten	Toelichting
Kosten	50	1	50	Dit is de duurste variant
Draagkracht	25	4	100	In deze variant wordt gebruikt gemaakt van een damwandconstructie. Het grote voordeel van een damwandconstructie is dat de belasting niet veel impact heeft op de constructie. Om deze reden scoort de damwandconstructie hoog
Onderhoud	12,5	4	50	Het talud zal geen onderhoud nodig hebben. De kopwand bestaat uit staal en zichtbaar is langs de waterlijn zal wel onderhoud nodig hebben in de vorm van het vervangen van anodes i.v.m. corrosie van de kopwand
Uitbreiding	12,5	5	62,5	De uitbreiding kan simpel gedaan worden door de kopwand en talud te verlengen. Hierdoor is er geen verlies of functie verandering van de dan huidige roro-voorziening
Totaal aantal punten			262,5	

Tabel 28, Matrix kopwand met talud

Te concluderen uit de drie matrixen is dat de damwandconstructie de meeste punten heeft gescoord met 412,5 punten. Als tweede is de steiger geëindigd en als derde de kopwand.

Omdat de damwandconstructie de meeste punten heeft behaald in de matrix zal de damwandconstructie gekozen worden als variant die verder uitgewerkt wordt en later aan ASK Romein gepresenteerd zal worden.

Om er zeker van te zijn dat de matrix betrouwbaar is, is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd over de matrix. Deze gevoeligheidsanalyse is terug te vinden in "20.4 Gevoeligheidsanalyse".

9. Berekeningen damwandconstructie

Uit de matrix komt de damwandconstructie als best naar voren door de gestelde criteriums, daarom zal van de damwandconstructie een definitief ontwerp gemaakt worden. De berekening voor de damwandconstructie zijn terug te vinden in "Berekeningsrapport Damwandconstructie".

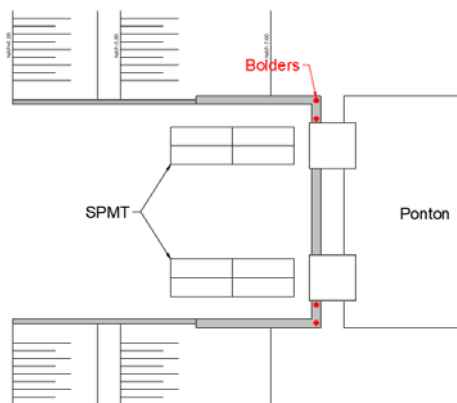
9.1 Veerconstante bepalen

De verplaatsing van de ankerwand zal meegenomen worden in de verplaatsing van de kopwand. De ankerwand heeft een invloed op de verplaatsing van de kopwand, omdat ze met elkaar in verbinding staan doormiddel van het leganker. De invloed op de verplaatsing zal bepaald worden door de veerconstante van de ankerwand en leganker bij elkaar op te tellen en dit als veerconstante van de verankering in de kopwand te verwerken. Hierdoor kan de verplaatsing van de ankerwand meegenomen worden in de kopwand.

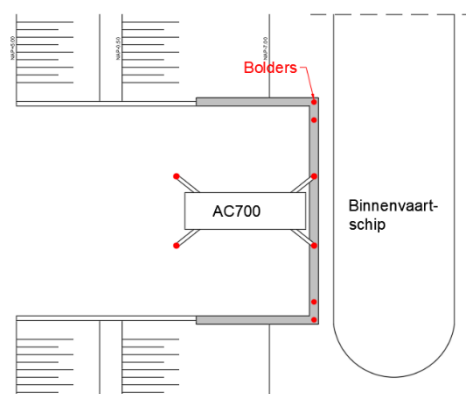
Door de extra verplaatsing van de kopwand ter gevolgen van de ankerwand, verandert de momentenlijn van de kopwand. Hierdoor zal opnieuw het ankerniveau bepaald moeten worden omdat het verschil in het positieve en negatieve moment te groot is. Dit zal gedaan worden door een iteratieve berekening. Het ankerniveau van de kopwand zal van NAP +1,75 m verlaagd worden naar NAP +0,75 m. Tevens zal het leganker ASDO500 M135/105 vervangen worden door een ASDO500 125/95. Dit is mogelijk omdat de ankerkracht afgenomen is.

9.2 Controle draagkrachtvermogen

Alleen het draagkrachtvermogen van de kopwand zal gecontroleerd worden. De reden hiervoor is dat de kopwand de grootste verticale belastingen zal ondervinden. De module zal niet op de deksloof van de vleugelwanden komen omdat de bolder bij de kopwand anders in de weg staan voor het verrijden van module van roro-voorziening naar ponton, de vleugelwand zal geen roro-kleppen op de deksloof krijgen omdat de module via de kopwand naar het ponton gaat en de vleugelwand zal geen stempeldruk ondervinden omdat de stempel van de AC700 telescoopkraan op de deksloof van de kopwand zal komen te staan omdat de kraan zo dicht mogelijk bij het schip/ponton dan kan staan om te laden en te lossen in verband met de hijscapaciteit van de telescoopkraan. In figuur 13 en 14 zijn schetsen te zien van deze situaties.



Figuur 13, Schets module en roro kleppen van roro-voorziening naar ponton



Figuur 14, Schets AC700 telescoopkraan op roro-voorziening en schip of ponton

Doormiddel van een D-Foundation berekening is gecontroleerd of dat de buispalen van de kopwand ook daadwerkelijk de belasting kan dragen met een aanbrengdiepte van NAP -18 m. Volgens de berekening blijkt de buispaal van de combiwand een draagkrachtvermogen van 1870 kN te hebben op een diepte van NAP -18 m. Dit is meer dan de belasting van 1635 kN in de UGT, dus voldoen de buispalen van de kopwand.

9.3 Deksloof berekening

In deze paragraaf zal de deksloof van de kopwand behandeld worden. Er zal alleen naar de deksloof van de kopwand gekeken worden in verband met alle krachten die er opwerken. Dit zal gedaan worden met behulp van een SCIA model. Er is gekozen om hier gebruik van te maken omdat de legankers en buispalen dan geschematiseerd kunnen worden als veren. Dit soort berekening met de hand doen is ondoenlijk daarom zal SCIA toegepast worden.

9.3.1 Uitgangspunten deksloof

De deksloof zal pas aangebracht worden na het uitbaggeren van de haven. Op deze manier kan de damwandconstructie eerst vervormen door de aanvul- en baggerwerkzaamheden. Hierdoor zullen deze spanningen niet meer terug te vinden zijn in de deksloof en zullen alleen de krachten die in de gebruiksfase optreden door de deksloof opgenomen worden. Tussen de deksloof van de kopwand en de deksloof van de vleugelwanden zal een dilatatievoeg geplaatst worden. Hier is voor gekozen omdat de krachten in de kopwand hoog zijn. Dit kan een probleem veroorzaken in de hoek van kopwand naar vleugelwand qua spanningen in de deksloof. Daarnaast is deze afweging ook gemaakt in verband met de tijd.

De oplegging van de deksloof zal bestaan uit de buispalen van de combiwand die als verend gezien kunnen worden in verband met de ondergrond en de legankers die ook als veren gezien kunnen worden zoals eerder besproken was. De deksloof is 1200 x 1200 mm en heeft een lengte van 31,932 m waarbij te plaatsen van de eerste twee buispalen aan weerszijde van de deksloof een bolder geplaatst zal worden. De stempeldruk is op vijf verschillende locaties getoetst en de module is op drie verschillende locaties getoetst. De deksloof bevindt zich in een XS1 milieu en zal gebruik maken van een C20/25 betonklasse.

9.3.2 SCIA berekening deksloof

In tabel 29 zijn de resultaten van het SCIA model te vinden.

	Y-as		Z-as	
Moment [kN/m]	4010	-1176	900	-1770
Oplegreactie [kN]	778	-39	450	-1082
Dwarskracht [kN]	1542	-1537	806	-754

Tabel 29, Resultaten uit het SCIA model voor de deksloof

9.3.3 SCIA berekening ankeruitval

Uitval van een anker is een calamiteit, dus worden alle factoren op 1,0 gezet en zal in SCIA naar de BGT gekeken worden. Deze berekening is voor iedere anker uitgevoerd. Uit het SCIA model voor de ankeruitval blijkt de grootste reactiekracht 939 kN te bedragen.

9.3.4 Deksloof vleugelwand

Voor vleugelwand sectie drie zal geen berekening gedaan worden voor de deksloof. Hier is voor gekozen in verband met de tijd en omdat dit een herhaling zal zijn van de deksloof voor de kopwand. De deksloof zal wel 1100 mm breed worden in plaats van 1000 mm zodat de deksloof gelijk komt te liggen met de deksloof van de kopwand.

Voor vleugelwand sectie 1 en 2 is besloten in overeenstemming met DIMCO dat hier geen betonnen deksloof toegepast zal worden, in plaats daarvan zal er een stalen deksloof geplaatst worden. De reden hiervoor is dat op deze deksloof geen belastingen zullen plaats vinden en een stalen deksloof makkelijker te monteren is dan een betonnen deksloof. Over deze deksloof zal geen module gaan, zal de AC700 telescoop kraan niet stempelen en er zal geen boven belasting direct op de deksloof komen te staan. Ondanks dat het een eis vanuit de opdrachtgever was om de deksloof in beton uit te voeren zal hier toch staal toegepast worden. Dit zal later aan ASK Romein uitgelegd worden waarom deze keuze gemaakt is. De deksloof zal een gezeten plaat worden 600 x 200 mm en 10 mm dik.

9.4 Wapening deksloof

De wapening voor de deksloof van de kopwand is bepaald met de verkregen waardes uit het SCIA model. De buispaal zal 2 cm in de deksloof komen te zitten, dit is in overeenstemming met DIMCO bepaald. De reden hiervoor is dat de beugels in de deksloof dan geen hinder zullen ondervinden door de buispaal, waardoor een betonneusje ontstaan die gewapend zal moeten worden. Op deze manier is hier geen sprake van. De dekking tussen buispaal en hoofdwapening zal maar 3 cm bedragen.

In tabel 30 is een overzicht te zien van de wapening die toegepast zal worden in de deksloof en in de buispaal.

Wapening	
Hoofdwapening deksloof	12Ø32 en 1Ø20
Beugels deksloof	Ø16-250
Bovenwapening deksloof	9Ø20 en 2Ø16
Wapening havenzijde	4Ø32 en 2Ø20
Wapening landzijde	6Ø32 en 2Ø20
Wapening buispaal	8Ø32
Beugels buispaal	Ø16-250

Tabel 30, Wapening voor de deksloof en buispaal van de kopwand

9.4.1 Verankering buispaal

Het ASDO500 125/95 leganker zal verboden worden met de buispaal doormiddel van een T-Anchors 95. In figuur 15 is een model van een T-Anchors te zien. In de buispaal zal een betonprop geplaatst worden die loopt van NAP t/m de deksloof.



Figuur 15, T-Anchors
(Bender international b.v.)

9.4.2 Detaillering wapening

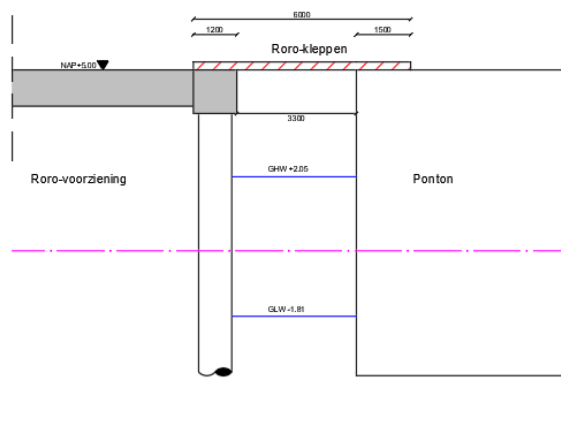
Voor de wapening van de deksloof zijn er verschillende detailleringseisen waaraan voldaan moet worden, zo zal er rekening gehouden moeten worden met aanhechtingslengte, laslengte, beugels en schenkels.

9.4.3 Tekeningen deksloof

Er is een maatvoeringstekening (MT) en een wapeningstekening (WT) opgesteld van de deksloof voor de kopwand. Deze twee tekeningen zijn samengevoegd op tekening TEK-002-MT/WT Vorm- + Wapeningstekening Dekslloof + Paalwapening Kopwand. Alleen de deksloof van de kopwand zal getekend worden, omdat alleen deze deksloof berekend is.

9.5 Aanvaring

In verband met de tijd zal het niet mogelijk zijn de aanvaringbelasting op de damwanconstructie te berekenen. In figuur 16 is een schets te zien van het gebruik van de roro-kleppen.



Figuur 17, Roro-klep van roro-voorziening naar ponton



Figuur 16, Cone fender (SHIBATAFENDERTEAM)

De roro-kleppen zullen op de deksloof (1,2 m) en een deel op het ponton komen te liggen (1 à 1,5 m). Hierdoor zal er een ruimte tussen de roro-voorziening en het ponton komen van 2 à 4 m. Deze ruimte is genoeg om een aanvaarvoorziening aan te brengen. Een eis vanuit North Sea Ports was om houten fenders aan te brengen, omdat dit niet berekend is onbekend of deze zullen voldoen. Andere opties zijn rubberen fenders, of cone fenders te zien in figuur 17.

Voor de tekening is in verband met de eis om houten fender toe te passen gekozen voor azobé hout. De reden is dat azobé een sterk houtsoort is, dus zal het niet bezwijken wanneer een binnenvaartschip of ponton te hard tegen het wrijfhout zal afmeren. Een ander voordeel van azobé hout is dat het niet aangevreten wordt door de paalworm.

9.6 Gordingen

Voor sectie 1 en 2 van de vleugelwand en de ankerwand zal een stalen gording toegepast worden voor de overdracht van ankerkracht naar damwand. De gording zal berekend moeten worden op het optredende buigend moment en op de afschuiving. Daarnaast zal er ook gekeken moeten worden naar dubbele doorbuiging van de gording door de grondmassa die zich boven de gording bevindt. Om dit te berekenen zal er een SCIA model gemaakt moeten worden omdat dit in waren een drie dimensionaal probleem is. In verband met de tijd is er besloten de gordingen niet meer op dubbele doorbuiging te controleren. In tabel 31 is een overzicht te zien van de gordingen per onderdeel van de damwandconstructie.

Onderdeel damwandconstructie	Gording
Vleugelwand sectie 1	2x UNP 140
Vleugelwand sectie 2	2x UNP 220
Ankerwand	2x UNP 320

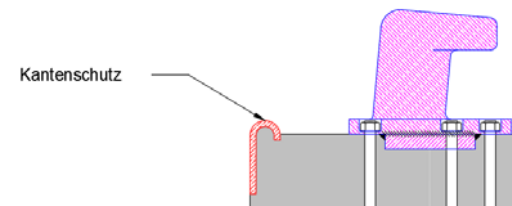
Tabel 31, Gordingen damwandconstructie

9.7 Bolders

Er is gekozen om een T-Head bolder 300 kN (QuayQuip BV., 2017) toe te passen als bolders voor de roro-voorziening. In totaal zullen er vier van deze bolders geplaatst worden. De voetplaat van de bolder wordt altijd in het betonwerk geplaatst. Dit wordt gedaan zodat de dwarskracht op de bolder afgedragen kan worden op het beton. Omdat de voetplaat van deze bolder 50 mm bedraagt en de dekking ook 50 mm bedraagt zou dit betekenen dat de bolder op de wapening komt te liggen. Gezien de grote van de voetplaat is plooien van de wapening geen optie. Dus is er besloten om een dook onder de bolder te lassen. Op deze manier kan de bolder op de deksloof geplaatst worden en wordt de dwarskracht als nog overgedragen op het beton. De dook zal een ronde schijf worden van $\varnothing 300$ en een dikte van 50 mm. De wapeningen zou alsnog geplooid moeten worden. De berekening van de dook is niet meer uitgevoerd in verband met de tijd. In figuur 18 is de dook onder de bolder te zien.

9.8 Kantenschutz

De eerste 3,5 m aan weerszijde van de deksloof zal een stalen kantenschutz geplaatst worden. Bij laag water zullen de trossen van het schip beschadigd kunnen raken aan de "scherpe" rand van de deksloof. Door de toepassing van een kantenschutz zal deze "scherpe" rand vervangen worden door een ronding in de deksloof. In figuur 18 is een kantenschutz te zien op de deksloof.



Figuur 18, Kantenschutz

9.9 Vleugelwand sectie 1 optimaliseren

In de dimensioneringsberekeningen is voor sectie 1 is een kerende hoogte van 5,5 m aangehouden in de berekeningen. In werkelijkheid is dit maar een klein deel van sectie 1 die deze kerende hoogte hoeft te keren. Daarom zal er gekeken worden of dat over een lengte van sectie 1 de damwand minder diep hoeft aangebracht te worden en of dat het mogelijk is om het leganker weg te laten.

Sectie 1 zal gebruik blijven maken van een AZ12-700. De eerste 7 m van de vleugelwand heeft een kerende hoogte van 3,5 m. Bij deze kerende hoogte zal de damwand aangebracht moeten worden op NAP -3 m en zal geen er verankerd nodig zijn.

9.10 Tekeningen damwandconstructie

Voor de damwandconstructie is een overzichtstekening gemaakt met daarin een vooraanzicht, zijaanzicht en een bovenaanzicht van de damwandconstructie. Er zijn tevens twee doorsnedes gemaakt één in het zijaanzicht en één in het bovenaanzicht. Er is een detail gemaakt van de kopwand zodat het wrijfhout, de drainkoffer en het ankerniveau van de kopwand goed zichtbaar zijn. Ook is er een detail gemaakt van de bolder zodat de maatvoerder de locatie van de bolder kan uitzetten en te zien is hoe de bolder bevestigd moet worden aan de deksloof. Dit is te zien op TEK-001-MT Overzichtstekening. Voor de tekeningen van de deksloof wordt verwezen naar "9.4.3 Tekeningen deksloof".

10 Conclusie en advies

De roro-voorziening voor ASK Romein zal een damwandconstructie worden. Er is voor gezorgd dat de damwandconstructie voldoet aan de opgestelde uitgangspunten en aan de functionele- en technische eisen. Voor ASK Romein is de damwandconstructie geschikt om hun offshore modules van wal op het ponton te krijgen. Zo zal de damwandconstructie hetzelfde niveau krijgen als het maaiveld van de werf van ASK Romein en zal de roro-voorziening 41 x 32 meter worden.

De damwandconstructie is opgebouwd uit drie onderdelen. De kopwand, vleugelwanden en ankerwand. De kopwand zal uitgevoerd worden als een combiwand en zal doormiddel van. leganker verankerd worden aan de ankerwand. De vleugelwanden zijn opgedeeld in drie stukken, voor ieder stuk van de vleugelwand is een damwandprofiel gekozen. Over één stuk van beide vleugelwanden zal een eveneens als de kopwand een combiwand toegepast worden. De overige twee stukken van de vleugelwand zal uit damwandprofielen bestaan. De vleugelwanden worden onderling met elkaar verbonden met legankers.

Een uitbreiding van de damwandconstructie is eenvoudig te realiseren door verder te bouwen op het laatste profiel van de damwandconstructie. In vergelijking tot andere mogelijke roro-voorzieningen is een damwandconstructie een goedkope oplossing.

De legankers die toegepast worden zijn berekend op een eventuele uitval van een anker, dus ingeval van een calamiteit zal de damwandconstructie niet bezwijken.

Er is rekening mee gehouden dat de deksloof van de kopwand instaat is om te kunnen te gaan met de hoge belasting veroorzaakt door de offshore modules.

Op de damwandconstructie zullen vier bolders geplaatst worden die binnenvaartschepen kunnen gebruiken bij het aanmeren. Het ponton zal gebruikt maken van de bolderpalen die door Royal HaskoningDHV zijn berekend.

Zowel de kopwand als vleugelwand zullen beschermd moeten worden in verband met corrosie. Dit is eenvoudig te doen door middel van het plaatsen van anodes. Een anode heeft een levensduur van 15 jaar. Alle kleine demontabele onderdelen van de roro-voorziening zullen thermische verzinkt worden..

11 Discussie

In de discussie zal een beschouwing geven worden van de beperkingen betreffende het onderzoek.

Er waren zes sondering op de locatie gedaan waarvan drie aan het begin en drie aan het uiteinde van de roro-voorziening gemaakt zijn. De drie sonderingen in het begin van de roro-voorziening waren maar tot een diepte van NAP -15 m gemaakt. Deze sondering waren niet diep genoeg om de funderingspalen van de steiger variant accuraat mee te berekenen.

Door een gebrek aan ervaring met SCIA engineering zouden hier fouten in kunnen zitten. SCIA engineering is een lastig programma om in een korte tijd te beheersen. Er is hulp in geschakeld van een constructeur bij de opbouw het model.

ASK Romein heeft geen gewichten van hun offshore modules verstrekt. Tevens waren deze niet te vinden op hun site en is geprobeerd contact met ASK Romein op te nemen. Hierdoor is er bij de site van HEEREMA gekeken voor gewichten van modules. Omdat HEEREMA een bedrijf is dat zeer grote offshore module maakt, is het de vraag of de gevonden gewichten ook overeen zullen komen met de modules van ASK Romein. Er is om deze reden met een module gerekend waar van gedacht werd dat dit echt tegen de capaciteit limiet zat van ASK Romein gezien de grootte van de module. In werkelijkheid zou het dus voor kunnen komen dat de modules lichter wegen, waardoor minder SPMT nodig zijn. Doordat er minder SPMT nodig zijn zal de spreiding van de belasting anders zijn.

12 Aanbeveling

In de aanbeveling worden de berekening besproken die nog gedaan kunnen worden en of uitgebreider kunnen, maar niet gedaan meer is in verband met de tijd.

In verband met de tijdgebrek zijn er geen berekening gedaan voor eventuele aanvaring door een ponton of binnenvaartschip met de roro-voorziening. Omdat een eis vanuit de opdrachtgever is om de roro-voorziening te berekenen op een eventuele aanvaring zal dit nog onderzocht moeten worden.

De ankeruitval is een voorlopige berekening. Als dit helemaal goed bereken moeten worden dan zou in D-sheet de ankerkrachten opnieuw berekend moeten worden voor het SCIA model. In D-Sheet zal dan het ankerniveau verplaatst worden naar NAP +5 m (niveau deksloof) omdat de deksloof een deel van de functie van het weggevalen anker zal overnemen. De krachten vanuit D-sheet zullen ingevoerd worden in het SCIA model op de locatie van de weggevalen anker. Omdat iedere anker getoetst moet worden zal dit dus twaalf keer gedaan moeten worden.

Daarnaast zou de deksloof van vleugelwandsectie drie berekend kunnen worden. Dit kan gedaan worden op dezelfde manier als de deksloof van de kopwand. De gordingen zouden uitgebreider berekend kunnen worden door er een SCIA model van te maken.

13. Bibliografie

- Admiraal, i., Havinga, i., Janssen, i., Freriks, i., Nelissen, i., Obladen, i., . . . Vahle, i. (2000). *Handboek ondergronds bouwen deel 2 - Bouwen vanaf het maaiveld*. Rotterdam: A.A. Balkema Uitgevers B.V.
- ArcelorMittal. (sd). *Product Range*. Opgehaald van [ds.arcelormittal.com](http://ds.arcelormittal.com/projects/foundationsolutions/products/product_range/steel_sheet_piles/z_sections/language/EN):
http://ds.arcelormittal.com/projects/foundationsolutions/products/product_range/steel_sheet_piles/z_sections/language/EN
- ArcelorMittal. (sd). *Z sections- Foundation Solutions - ArcelorMittal Distribution*. Opgehaald van [ds.arcelormittal.com](http://ds.arcelormittal.com/projects/foundationsolutions/products/product_range/steel_sheet_piles/z_sections/language/EN):
http://ds.arcelormittal.com/projects/foundationsolutions/products/product_range/steel_sheet_piles/z_sections/language/EN
- ASK Romein. (2017). *Situatie tekening*. Roosendaal: ASK Romein.
- BAM Infra. (2012). *Groutankers*. Amsterdam: BAM Speciale Techieken.
- Bender international b.v. . (sd). *Anchors For Marine Structures*. Rotterdam.
- Braam, d., & Dees, i. (2008). *Compendium Eurocode 2*. 's-Hertogenbosch: Cement&BetonCentrum.
- Braam, d., Lagendijk, i., & Dees, i. (2011). *Constructie leer Gewapend Beton*. 's-Hertogenbosch: Cement&BetonCentrum.
- CURNET. (2012). *CUR 166 Damwandconstructies 6e herziene druk, deel 1*. Gouda: CUR Bouw & Infra.
- CURNET. (2012). *CUR 166 Damwandconstructies 6e herziene druk, deel 2*. Gouda: CUR Bouw & Infra.
- Dubbelman. (sd). *Diensten - Dubbelman*. Opgehaald van <http://www.dubbelman.nl>:
<http://www.dubbelman.nl/diensten/>
- HEBO Martiemservice B.V. (2016). *HEBO-LSP-6000-1500*. Zwartsluis: HEBO Martiemservice B.V.
- HEEREMA FABRICATION. (2018). *Block 31*. Opgehaald van <https://hfg.heerema.com/projects/oil-gas-industry/block-31/>:
<https://hfg.heerema.com/projects/oil-gas-industry/block-31/>
- HEEREMA FABRICATION. (2018). *Andrew*. Opgehaald van [https://hfg.heerema.com](https://hfg.heerema.com/projects/oil-gas-industry/andrew/):
<https://hfg.heerema.com/projects/oil-gas-industry/andrew/>
- HEEREMA FABRICATION. (2018). *Babbage*. Opgehaald van [https://hfg.heerema.com](https://hfg.heerema.com/projects/oil-gas-industry/babbage/):
<https://hfg.heerema.com/projects/oil-gas-industry/babbage/>
- HEEREMA FABRICATION. (2018). *K12-BP*. Opgehaald van [https://hfg.heerema.com](https://hfg.heerema.com/projects/oil-gas-industry/k12-bp/):
<https://hfg.heerema.com/projects/oil-gas-industry/k12-bp/>
- HEEREMA FABRICATION. (2018). *Projects*. Opgehaald van [https://hfg.heerema.com](https://hfg.heerema.com/projects/):
<https://hfg.heerema.com/projects/>
- HEEREMA FABRICATION. (2018). *Valhall*. Opgehaald van [https://hfg.heerema.com](https://hfg.heerema.com/projects/oil-gas-industry/valhall/):
<https://hfg.heerema.com/projects/oil-gas-industry/valhall/>
- HEEREMA MARINE CONTRACTORS. (sd). *tugs and barges*. Opgehaald van [https://hmc.heerema.com](https://hmc.heerema.com/fleet/tugs-and-barges/):
<https://hmc.heerema.com/fleet/tugs-and-barges/>
- Htg. (2015). *Recommendations of the Committee for Waterfront Structures HARbours and Waterways EAU 2012*. Wiley-Vch Verlag GmbH.
- infrawiki. (2018). *groutanker (grout anchor)**. Opgehaald van [http://www.infrawiki.nl](http://www.infrawiki.nl/index.php/begrippenlijst/477-groutanker-grout-anchor):
<http://www.infrawiki.nl/index.php/begrippenlijst/477-groutanker-grout-anchor>
- Korte, W. (2017, december 20). (J. R. de Kock, Interviewer)
- Ligteringen, H., & Velsink, H. (2012). Ports and Terminals. In H. Ligteringen, & H. Velsink, *Ports and Terminals* (p. 19). Delft: Delft Academic Press/VSSD.
- Ligteringen, H., & Velsink, H. (2012). Ports and Terminals. In H. Ligteringen, & H. Velsink, *Ports and Terminals* (pp. 164-167). Delft: Delft Academic Press.
- Ligteringen, H., & Velsink, H. (2012). Ports and Terminals. In H. Ligteringen, & H. Velsink, *Ports and Terminals* (pp. 161, 162). Delft: Delft Academic Press/VSSD.

- Ligteringen, H., & Velsink, H. (2012). Ports and Terminals. In H. Ligteringen, & H. Velsink, *Ports and Terminals* (p. 168). Delft: Delft Academic Press.
- Ligteringen, H., & Velsink, H. (2012). Ports and Terminals . In H. Ligteringen, & H. Velsink, *Ports and Terminals* (p. 20). Delft: Delft Academic Press/VSSD.
- Maps, G. (sd). *Google Maps*. Google, Vlissingen-Oost.
- MBI De Steenmeesters. (sd). *Betonklinkers MBI*. Opgehaald van <https://www.mbi.nl>:
<https://www.mbi.nl/infra/producten/betonklinkers/>
- (2011). *Nederlandse norm NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB (nl)*. Delft: Nederlandse Normalisatie Instituut.
- North Sea Port. (sd). *ISPS code and port security*. Opgehaald van northseaport.com:
<https://en.northseaport.com/product/100/isps-code-and-port-security>
- QuayQuip BV. (2017). *Bollards & Mooring Systems*. Eersel, The Netherlands: QUAYQUIP A EUROTECH BENELUX COMPANY.
- Royal Haskoning DHV. (2014). *Berekeingen bolder en afmeerpalen ASK Romein*. Royal HaskoningDHV.
- Sagel, i., Braam, d., & Lagendijk, i. (2013). *GTB 2013, Grafieken en Tabellen voor beton gebaseerd op de Europese Normen voor Ontwerp, Materiaal en Uitvoering*. Gouda: Betonvereniging 2013.
- Sarens Group. (sd). *AC700 Specs*. Sarens.
- Sarens group. (sd). *SPMT Kamag 2400 series*. Sarens.
- SHIBATAFENDERTEAM. (sd). Eurotank Jetty Amsterdam The Netherlands. *SHIBATAFENDERTEAM PRODUCTS*. SHIBATA FENDER TEAM, Amsterdam The Netherlands.
- TADANO LIMITED. (2013). *ATF70G-4*. Lauf a. d. Pegnitz.
- TADANO LIMITED. (2016). *ATF 130G-5*. Lauf a. d. Pegnitz.
- Vaders, E. (2014, Julie 3). *Aluminium op zee (Reden 5 corrosie bestendig) - Aluminium Metal Knowledge*. Opgehaald van <http://aluknowledge.com>: <http://aluknowledge.com/aluminium-op-zee-reden-5-corrosie-bestendig/>
- Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV. (2014). *Rapport geo-technisch bodemonderzoek*. Hansweert: Van Der Straaten.
- William, B., & John, M. (2003). *American Merchant Seaman's manual*. Cornell Maritime Pr.
- ZHBC b.v. (sd). *ZHBC KVM 52*. Pijnacker.

13.1 Figuren index

Figuur 1, (Links) De locatie van ASK Romein in Vlissingen-Oost te zien, (Rechts) Locatie roro-voorziening (Maps).....	1
Figuur 2, Ponton Heerema met jacket (HEEREMA MARINE CONTRACTORS, sd).....	4
Figuur 3, Boogwerking op een combiwand (CURNET, 2012)	7
Figuur 4, Groutanker (inrawiki, 2018)	8
Figuur 5, Leganker (Bender international b.v.)	8
Figuur 6, Situatie tekening van de werf van ASK Romein, roro-voorziening is gearceerd links onderin te zien (ASK Romein, 2017)	10
Figuur 7, Dwarsprofiel Kraaijerhaven (CT 22-28), Vlissingen-Oost (Royal Haskoning DHV, 2014)	11
Figuur 8, Schets steiger variant	18
Figuur 9, Secties vleugelwand damwanconstructie	20
Figuur 10, Schets damwandconstructie variant (zijaanzicht).....	21
Figuur 11, Schets van het talud langs de roro-voorziening.....	22
Figuur 12, Schets kopwand met talud variant, bovenaanzicht	24
Figuur 13, Schets module en roro kleppen van roro-voorziening naar ponton.....	32
Figuur 14, Schets AC700 telescoopkraan op roro-voorziening en schip of ponton	32
Figuur 15, T-Anchors (Bender international b.v.).....	34
Figuur 16, Roro-klep van roro-voorziening naar ponton	35
Figuur 17, Cone fender (SHIBATAFENDERTEAM).....	35
Figuur 18, Kantenschutz	36
Figuur 19, Betondekking (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008)	51
Figuur 20, Locatie sonderingen ASK Romein (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)	68
Figuur 21, Schets van de aanwezigheid van de AC700 telescoopkraan.....	82
Figuur 22, Gegevens Sarens AC700 (Sarens Group).....	83
Figuur 23, Module: Andrew, 750ton (HEEREMA FABRICATION, 2018).....	86
Figuur 24, Module: Block 31, 75ton (HEEREMA FABRICATION, 2018).....	86
Figuur 25, Module K12-BP, 280ton (HEEREMA FABRICATION, 2018).....	87
Figuur 26, Module Valhall, 11000ton (HEEREMA FABRICATION, 2018)	87
Figuur 27, Module Babbage, 1600ton (HEEREMA FABRICATION, 2018)	88
Figuur 28, Roro klep (HEBO Martiemservice B.V., 2016)	88
Figuur 29, Afmetingen roro-voorziening en hoogtes volgens Dwarsprofiel CT 22-28.....	91
Figuur 30, Uitbreiding van de steigervariant.....	96
Figuur 31, U-profiel links en Z-profiel rechts (ArcelorMittal, sd)	98
Figuur 32, Combiwand bestaande uit buispalen en tussenplanken (2x Z-profiel).....	98
Figuur 33, Toepassen van legankers (rood: legankers kopwand, blauw: legankers vleugelwand)	99
Figuur 34, Grout anker wel of niet mogelijk.....	100
Figuur 35, Dwarsdoorsnede met kruisende groutankers (Zwart: ankers kopwand, Groen: ankers vleugelwand)	100
Figuur 36, Verlies van de vleugelwand bij uitbreiding in de breedte.....	101
Figuur 37, Schets variant 2	102
Figuur 38, Talud afgraven voor het plaatsen van de caissons.....	103
Figuur 39, Schets variant 3	104
Figuur 40, Opspuiten van zand voor een diepwand.....	105
Figuur 41, Uitbreiding van de diepwand	106
Figuur 42, Schets variant 5	107
Figuur 43, Lay-out van hijswerkzaamheden 130 ton telescoopkraan.....	113
Figuur 44, Bereik 52 m betonpomp (ZHBC b.v.).....	115

Figuur 45, BKK (MBI De Steenmeesters, sd).....	117
--	-----

13.2 Tabellen index

Tabel 1, Onderzoeksstrategieën.....	9
Tabel 2, Verzamelen informatie.....	9
Tabel 3, Onderzoeksactiviteiten.....	9
Tabel 4, Waterstanden Vlissingen-Oost (Royal Haskoning DHV, 2014).....	12
Tabel 5, Overzicht van belastingen op de roro-voorziening.....	13
Tabel 6, Criteriums met de bijbehorende wegingen.....	16
Tabel 7, Waarde tabel.....	17
Tabel 8, Overzicht van de scores uit het MCA.....	17
Tabel 9, Geometrie steiger variant.....	18
Tabel 10, Hoeveelheden voor de damwandconstructie variant (ArcelorMittal, sd).....	21
Tabel 11, Overzicht per toetsingspunt het profiel en indien de ankerkracht.....	23
Tabel 12, Hoeveelheden voor de kopwand met talud variant (ArcelorMittal, sd).....	24
Tabel 13, Inkoopkosten voor de steiger variant.....	25
Tabel 14, Materieel en personeel kosten voor de steiger variant.....	25
Tabel 15, Bouwkosten voor de steiger variant.....	25
Tabel 16, Inkoopkosten voor de damwandconstructie variant.....	26
Tabel 17, Materieel en personeel kosten voor de damwandconstructie variant.....	26
Tabel 18, Bouwkosten voor de damwandconstructie variant.....	26
Tabel 19, Inkoopkosten voor de kopwand met talud variant.....	27
Tabel 20, Materieel en personeel kosten voor de kopwand met talud variant.....	27
Tabel 21, Bouwkosten voor de kopwand met talud variant.....	27
Tabel 22, Score voor de kosten.....	28
Tabel 23, Score voor de draagkrachtvermogen.....	29
Tabel 24, Score voor de onderhoud.....	29
Tabel 25, Score voor de uitbreiding.....	29
Tabel 26, Matrix steiger.....	30
Tabel 27, Matrix damwandconstructie.....	30
Tabel 28, Matrix kopwand met talud.....	31
Tabel 29, Resultaten uit het SCIA model voor de deksloof.....	33
Tabel 30, Wapening voor de deksloof en buispaal van de kopwand.....	34
Tabel 31, Gordingen damwandconstructie.....	35
Tabel 32, Belastingsfactoren voor gevolgklasse CC1 en CC3 volgens de NEN-EN 1990 (Nederlandse norm NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB (nl), 2011).....	47
Tabel 33, Belastingsfactoren voor gevolgklasse CC2 volgens de NEN-EN 1990 (Nederlandse norm NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB (nl), 2011).....	48
Tabel 34, Momentaan factoren (Ψ) voor bruggen voor gebouwen (Nederlandse norm NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB (nl), 2011).....	48
Tabel 35, Momentaan factoren (Ψ) voor bruggen voor weg- en langzaam verkeer (Nederlandse norm NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB (nl), 2011).....	49
Tabel 36, Betonklasse (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).....	50
Tabel 37, Milieuklasse volgens de NEN 206-1 (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).....	52
Tabel 38, Vervolg van de milieuklasse volgens de NEN 206-1 (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).....	53
Tabel 39, Betonklasse en Minimale betondekking voor een ontwerplevensduur van 50 jaar, per milieuklasse (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).....	53

Tabel 40, Betonklasse en Minimale betondekking voor een ontwerplevensduur van 100 jaar, per milieuklasse (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).....	54
Tabel 41, Minimum-wapeningsverhouding voor B500 betonstaal (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013).....	55
Tabel 42, Maximum-wapeningsverhouding voor B500 betonstaal (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013).....	55
Tabel 43, GTB 2010-3.8 (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, Grafieken en Tabellen voor beton gebaseerd op de Europese Normen voor Ontwerp, Materiaal en Uitvoering, 2013)	56
Tabel 44, Bepalen van de p (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, Grafieken en Tabellen voor beton gebaseerd op de Europese Normen voor Ontwerp, Materiaal en Uitvoering, 2013)	57
Tabel 45, Scheurwijdte eis per milieuklasse (Braam, Lagendijk, & Dees, Constructieer Gewapend Beton, 2011)	58
Tabel 46, Maximale staafdiameter volgens de eis van de scheurwijdte (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013)	58
Tabel 47, Maximale staafafstand volgens de eis van de scheurwijdte (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013).....	59
Tabel 48, Grenswaardes $v_{Rd,c}$ (Braam, Lagendijk, & Dees, Constructieer Gewapend Beton, 2011) ..	60
Tabel 49, Weerstand drukdiagonaal $v_{Rd,max}$ (Braam, Lagendijk, & Dees, Constructieer Gewapend Beton, 2011)	60
Tabel 50, , Karakteristieke waardes voor grondeigenschappen volgens de NEN 9997-1 (CURNET, 2012).....	63
Tabel 51, Planning afstudeer periode	67
Tabel 52, Dieptes van de sonderingen t.o.v. NAP (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014).....	69
Tabel 53, Afmetingen ponton (Royal Haskoning DHV, 2014), benaming: (William & John, 2003).....	79
Tabel 54, Afmetingen binnenvaartschip (Royal Haskoning DHV, 2014)	79
Tabel 55, Gegevens SPMT's (Sarens group)	84
Tabel 56, Enkele projecten van HEEREMA (HEEREMA FABRICATION, 2018).....	85
Tabel 57, Voordelen en nadelen van hout	94
Tabel 58, Voordelen en nadelen van beton	95
Tabel 59, Voor en nadelen van staal	95
Tabel 60, MCA steiger variant	109
Tabel 61, MCA caisson variant	109
Tabel 62, MCA kopwand met talud variant.....	110
Tabel 63, Hijstabel 130 ton telescoopkraan (TADANO LIMITED, 2016)	113
Tabel 64, Hijstabel 70 ton telescoopkraan (TADANO LIMITED, 2013).....	114
Tabel 65, Gevoeligheidsanalyse 1 steiger variant	124
Tabel 66, Gevoeligheidsanalyse 1 damwandconstructie variant	124
Tabel 67, Gevoeligheidsanalyse 1 kopwand met talud variant.....	124
Tabel 68, Gevoeligheidsanalyse 2 steiger variant	125
Tabel 69, Gevoeligheidsanalyse 2 damwandconstructie variant	125
Tabel 70, Gevoeligheidsanalyse 2 kopwand met talud variant.....	125

13.3 Grafieken index

Grafiek 1, Sondering W1, Deel 1 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)	70
Grafiek 2, Sondering W1, Deel 2 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)	71
Grafiek 3, Sondering W2, Deel 1 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)	72
Grafiek 4, Sondering W2, Deel 2 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)	73
Grafiek 5, Sondering W3, Deel 1 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)	74
Grafiek 6, Sondering W3, Deel 2 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)	75
Grafiek 7, Sondering L9 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)	76
Grafiek 8, Sondering L10 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)	77
Grafiek 9, Sondering L11 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)	78

13.4 Berekeningen index

Berekening 1, Oppervlakte aan belasting door modules	85
--	----

13.5 Symbolen index

A	oppervlakte doorsnede [m^2]
A_k	oppervlakte opgesloten gebied door hartlijnen van de verbindende wanden [m^2]
A_s	oppervlakte wapeningsstaal [m^2]
$A_{s,\text{beugel}}$	oppervlakte beugel [m^2]
$A_{s,\text{langs}}$	oppervlakte wapeningsstaal (wringing) [m^2]
$A_{s,\text{min}}$	minimale oppervlakte wapeningsstaal [m^2]
$A_{s,\text{max}}$	maximale oppervlakte wapeningsstaal [m^2]
A_{sw}	oppervlakte dwarskrachtwapening [m^2]
b	breedte van de doorsnede [m]
b_w	minimale breedte doorsnede tussen trekband en drukband [m]
b_1	h.o.h. afstand meewerkende wanden [m]
c_{applied}	toegepaste dekking [mm]
c_{nom}	nominale dekking [mm]
d	nuttige hoogte ten opzichte van wapeningsstaal [mm]
E_c	elasticiteitsmodule van beton [N/mm^2]
e	excentriciteit [m]
f_{cd}	druksterkte beton [N/mm^2]
f_{ctd}	axiale treksterkte beton [N/mm^2]
f_{yd}	vloeigrens van wapeningsstaal [N/mm^2]
f_{ck}	cilinderdruksterkte [N/mm^2]
$f_{ct,\text{eff}}$	gemiddelde treksterkte van beton dat nog effectief is op moment van scheurvorming wordt ook wel f_{ctm} voor gebruikt [N/mm^2]
h	hoogte betondoorsnede [m]
h_{cr}	hoogte van de trekzone voor scheurvorming. $0,5h$ voor rechthoekige doorsnedes [m]
h_1	h.o.h. afstand meewerkende wanden [m]
I	kwadratische oppervlakte moment van ongescheurde doorsnede [mm^4]
k	coëfficiënt of factor [-]
k_c	coëfficiënt of factor voor de spanningsverdeling in een doorsnede [-]
k_z	coëfficiënt of factor voor de wapening [-]
l_{eff}	effectieve lengte [m]
M_{ed}	optredende inwendige buigend moment [kNm]
N_{Ed}	Normaalkracht [kN]
n	aantal staven [-]
Q_d	rekenwaarde van de belasting [kN/m]
Q_k	rekenwaarde van de variabele belasting [kN/m]
q	belasting [kN/m]
s	beugelafstand in langsrichting [mm]
$s_{w,\text{max}}$	maximale beugelafstand in langsrichting [mm]
T_{Ed}	optredende wringend moment [kNm]
$T_{\text{Rd},c}$	wringend moment opneembaar zonder wapening [kNm]
$T_{\text{Rd},\text{max}}$	wringend momentweerstand [kNm]
$t_{\text{ef},i}$	meewerkende wanddikte [mm]
u	omtrek doorsnede [m]
u_k	omtrek van de A_k [m]

(Braam, Lagendijk, & Dees, Constructieleer Gewapend Beton, 2011) (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008) (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, Grafieken en Tabellen voor beton gebaseerd op de Europese Normen voor Ontwerp, Materiaal en Uitvoering, 2013)

V_{Ed}	optredende dwarskracht [kN]
v_{Ed}	schuifspanning [N/mm ²]
$V_{Rd,c}$	afschuifweerstand beton zonder dwarskrachtwapening [N/mm ²]
$V_{Rd,max}$	weerstand van de drukdiagonaal [N/mm ²]
v_1	sterktereductiefactor gescheurd beton door dwarskracht [-]
w_k	berekende scheurwijdte [mm]
w_{max}	maximale optredende doorbuigen [mm]
w_{eis}	toegestane doorbuiging [mm]
ρ	wapeningsverhouding [%]
ρ_{min}	minimale wapeningsverhouding [%]
ρ_{max}	maximale wapeningsverhouding [%]
σ_s	staalspanning in de bruikbaarheidsgrenstoestand [N/mm ²]
$\varnothing_{eq}$	toegepaste wapeningsstaafdiameter [mm]
$\varnothing_{max}$	maximale wapeningsstaafdiameter [mm]
θ	helling drukdiagonaal [°]
χ	percentage praktische gewapende gebied [%]

(Braam, Lagendijk, & Dees, Constructieleer Gewapend Beton, 2011) (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008) (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, Grafieken en Tabellen voor beton gebaseerd op de Europese Normen voor Ontwerp, Materiaal en Uitvoering, 2013)

14. Bijlage theoretische kader

14.1 Bodembescherming

Een bodembescherming is uit te berekenen met behulp van de volgende empirische formule:

$$d_{50} \geq \frac{1,3 \cdot u_b^2}{g \cdot \Delta}$$

In welke:

d_{50} = Karakteristieke diameter bestorting bodem bescherming [m]

u_b = Snelheid bij de bodem [m/s]

Δ = Relatieve dichtheid van de stenen bescherming [-]

De factor 1,3 is hoger dan bij de oorspronkelijke formule van natuurlijke stroming, omdat de turbulentie hoger is dan die van een natuurlijke stroming.

(Ligteringen & Velsink, 2012)

De formule om de bodembescherming te berekenen houdt alleen rekening met de turbulentie die ontstaat door de schroef van het schip. In werkelijkheid zijn er meerdere stromingen aanwezig bij het aan- en afmeren. Dit maakt het moeilijk om de snelheid bij de bodem te berekenen, daarom worden er 3D stromingsmodellen gemaakt om te kijken of de bodembescherming voldoet. (Ligteringen & Velsink, 2012)

Door de groei van de schepen hebben de schepen ook steeds meer vermogen gekregen. Door deze toenames van vermogen is het tegenwoordig niet meer mogelijk om steenbestorting te gebruiken als bodembescherming. De diameter van de stenen zouden zo groot worden dat het niet meer rendabel en haalbaar wordt. Tegenwoordig wordt er een betonnen matras neergelegd of betonblokken. Een betonnen matras is een industrieel kleed gevuld met onderwaterbeton (Ligteringen & Velsink, 2012).

14.2 Parameters betonwerk

In deze paragraaf worden de parameters beschreven die nodig zijn om het betonwerk te berekenen. Voor het bepalen van de parameters is er gebruikt gemaakt van de Eurocode 2.

14.2.1 Rekenwaarden van belastingen

In tabel 32 en 33 zijn de belastingsfactoren per gevolgklasse te vinden en in tabel 34 en 35 zijn momentaan factoren te vinden.

CC	Blijvende en tijdelijke ontwerpsituaties	Blijvende belastingen		Overheersende veranderlijke belasting	Veranderlijke belastingen gelijktijdig met de overheersende	
		Ongunstig	Gunstig		Belangrijkste (indien aanwezig)	Andere
1	(Vgl. 6.10a)	$1,2 G_{k,j, sup}^a$	$0,9 G_{k,j, inf}$		$1,35 \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$1,35 \psi_{0,i} Q_{k,i} (i > 1)$
	(Vgl. 6.10b)	$1,1 G_{k,j, sup}^b$	$0,9 G_{k,j, inf}$	$1,35 Q_{k,1}$		$1,35 \psi_{0,i} Q_{k,i} (i > 1)$
3	(Vgl. 6.10a)	$1,5 G_{k,j, sup}^a$	$0,9 G_{k,j, inf}$		$1,65 \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$1,65 \psi_{0,i} Q_{k,i} (i > 1)$
	(Vgl. 6.10b)	$1,3 G_{k,j, sup}^b$	$0,9 G_{k,j, inf}$	$1,65 Q_{k,1}$		$1,65 \psi_{0,i} Q_{k,i} (i > 1)$

Tabel 32, Belastingsfactoren voor gevolgklasse CC1 en CC3 volgens de NEN-EN 1990 (Nederlandse norm NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB (nl), 2011)

Blijvende en tijdelijke ontwerp situaties	Blijvende belastingen		Overheersende veranderlijke belasting	Veranderlijke belastingen gelijktijdig met de overheersende	
	Ongunstig	Gunstig		Belangrijkste (indien aanwezig)	Andere
(Vgl. 6.10a)	$1,35 G_{k,j,\text{sup}}^a$	$0,9 G_{k,j,\text{inf}}$		$1,5 \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$1,5 \psi_{0,i} Q_{k,i} (i > 1)$
(Vgl. 6.10b)	$1,2 G_{k,j,\text{sup}}^b$	$0,9 G_{k,j,\text{inf}}$	$1,5 Q_{k,1}$		$1,5 \psi_{0,i} Q_{k,i} (i > 1)$
^a Bij vloeistofdrukken met een fysiek beperkte waarde mag zijn volstaan met $1,2 G_{k,j,\text{sup}}$. ^b Deze waarde is berekend met $\xi = 0,89$.					

Tabel 33, Belastingsfactoren voor gevolgklasse CC2 volgens de NEN-EN 1990 (Nederlandse norm NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB (nl), 2011)

Belasting	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Voorgeschreven belastingen in gebouwen, categorie			
Categorie A: woon- en verblijfsruimtes	0,4	0,5	0,3
Categorie B: kantoorruimtes	0,5	0,5	0,3
Categorie C: bijeenkomstruimtes	0,6/0,4 ^a	0,7	0,6
Categorie D: winkelruimtes	0,4	0,7	0,6
Categorie E: opslagruimtes	1,0	0,9	0,8
Categorie F: verkeersruimte, voertuiggewicht ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Categorie G: verkeersruimte ^b , $30 \text{ kN} < \text{voertuiggewicht} \leq 160 \text{ kN}$	0,7	0,5	0,3
Categorie H: daken	0	0	0
Sneeuwbelasting	0	0,2	0
Belasting door regenwater	0	0	0
Windbelasting	0	0,2	0
Temperatuur (geen brand)	0	0,5	0
^a De waarde 0,6 geldt voor delen van het gebouw die in geval van een calamiteit zwaar kunnen worden belast door een mensenmenigte (vluchtroutes, trappen enz.); de waarde 0,4 geldt in overige gevallen. ^b Met verkeersruimte wordt in dit geval een ruimte bedoeld waar voertuigen kunnen rijden, bijvoorbeeld parkeergarages.			

Tabel 34, Momentaan factoren (ψ) voor bruggen voor gebouwen (Nederlandse norm NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB (nl), 2011)

Belasting	Symbool	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Verkeersbelastingen (zie NEN-EN 1991-2+C1, tabel 4.4)	gr1a (LM1 + voetgangers- of fietspad-belastingen)	0,8	0,8	0,4
	TS		0,8	
	UDL		0,8	
	Horizontale belasting		0,8 ^d	
	voetgangers- + fietspad-belastingen		0,8 ^d	
	gr1b (enkele as)	0	0,8 ^b	0
	gr2 (horizontale krachten dominant)	0,8	0,8 ^c	0
	gr3 (voetgangersbelastingen)	0	0,8 ^b	0
	gr4 (LM4 – belasting door een menigte)	0	0,8 ^b	0
	gr5 (LM3 – speciale voertuigen) TS	0	0,8 ^b	0
	UDL		0,8 ^b	
	Horizontale belastingen		0,8 ^b	
	Speciaal voertuig		1,0 ^b	
Windkrachten	F_{Wk} blijvende ontwerpsituatie	0,3	0,6 ^b	0
	uitvoering	0,8	0	0
	F_W^*	1,0	0	–
Thermische belastingen	T_k	0,3	0,8 ^b	0,3 ^a
Sneeuwbelastingen	$Q_{Sn,k}$ blijvende ontwerpsituatie	0	0	0
	uitvoering	0,6	0	0
Belastingen tijdens de bouw	Q_c	1,0	0	1,0
^a In de uiterste grenstoestand mag voor ψ_2 voor thermische belasting de waarde 0 zijn aangehouden. ^b Voor aanrijding op of onder de brug en aanvaring is $\psi_1 = 0$. ^c Voor scheurvormingsberekeningen van beton zijn de verschillende waarden van ψ_1 gelijk aan de waarden behorend bij gr1a. ^d Voor scheurvormingsberekeningen van beton moet $\psi_1 = 0,4$ zijn aangehouden. OPMERKING Groepen verkeersbelastingen hoeven niet met elkaar te zijn gecombineerd.				

Tabel 35, Momentaan factoren (ψ) voor bruggen voor weg- en langzaam verkeer (Nederlandse norm NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB (nl), 2011)

14.2.2 Betonklasse

In tabel 36 zijn de betonklasse te vinden.

eigenschap	sterkteklasse (N/mm ²)									
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C28/35 ¹⁾
f_{ck} (N/mm ²)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	28
$f_{ck,cube}$ (N/mm ²)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	35
f_{cm} (N/mm ²)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	36
f_{ctm} (N/mm ²)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	2,8
$f_{ctk,0.05}$ (N/mm ²)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	1,9
$f_{ctk,0.95}$ (N/mm ²)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	3,6
E_{cm} (N/mm ²)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	31

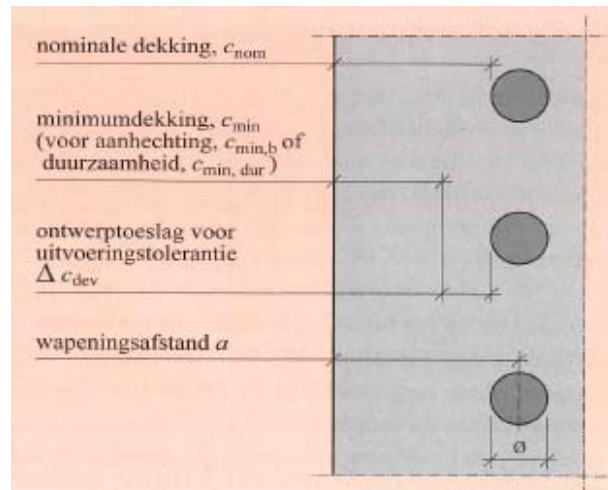
Tabel 36, Betonklasse (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008)

14.2.3 Duurzaamheid

Om duurzaamheid te realiseren is er voldoende betondekking voor het wapeningsstaal nodig. Betondekking is de afstand van de buitenzijde van het wapeningsstaal tot het dichtbij zijnde betonoppervlak, dit is terug te zien in figuur 19. Dit zorgt voor een veilige overdracht van aanhechtingskrachten, bescherming tegen corrosie van het wapeningsstaal en voldoende brandwerendheid (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).

De minimale betondekking voor een duurzame constructie wordt bepaald door van de milieuklasse en constructieklasse. In tabel 37 en 38 zijn de milieuklasse terug te vinden. Aan de hand van deze tabel kun je bepalen met welke milieuklasse rekening gehouden moet worden bij

het calculeren van de constructie. In tabel 39 zijn de minimale vereiste dekkingen weergegeven per milieuklasse voor een constructie van een ontwerplevensduur van 50 jaar en in tabel 40 zijn de minimale vereiste dekkingen weergegeven per milieuklasse voor een constructie van een ontwerplevensduur van 100 jaar. Bovenop deze minimale vereiste dekking komt nog een uitvoeringstolerantie van 10 mm voor betonconstructies die op een werkvloer gestort worden en 50 mm voor betonconstructies die op het maaiveld worden gestort. (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008).



Figuur 19, Betondekking (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008)

klasseaan- duiding	beschrijving van het milieu	informatieve voorbeelden waar de milieuklassen zich kunnen voordoen
1. Geen risico op corrosie of aantasting		
XO	Voor beton zonder wapening of ingesloten metalen: alle milieus, behalve bij vorst-dooi, afslijting of chemische aantasting Voor beton met wapening of ingesloten metalen: zeer droog	Beton binnen gebouwen met zeer lage luchtvochtigheid
2. Corrosie ingeleid door carbonatatie		
XC1	Droog of blijvend nat	Beton binnen gebouwen met lage luchtvochtigheid Beton blijvend onder water
XC2	Nat, zelden droog	Betonoppervlakken langdurig in contact met water Veel funderingen
XC3	Matige vochtigheid	Beton binnen gebouwen met matige of hoge luchtvochtigheid Beton buiten beschut tegen regen
XC4	Wisselend nat en droog	Betonoppervlakken in contact met water, maar die niet onder milieuklasse XC2 vallen
3. Corrosie ingeleid door chloriden anders dan afkomstig uit zeewater		
XD1	Matige vochtigheid	Betonoppervlakken blootgesteld aan chloriden uit de lucht
XD2	Nat, zelden droog	Zwermbaden Beton blootgesteld aan chloridehoudend industriewater
XD3	Wisselend nat en droog	Brugcelen blootgesteld aan chloridehoudend spatwater Verhardingen Vloeren van parkeerplaatsen voor voertuigen
4. Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater		
XS1	Blootgesteld aan zouten uit de lucht, maar niet in direct contact met zeewater	Constructies bij of aan de kust
XS2	Blijvend onder zeewater	Delen van constructies in zee
XS3	Getijde-, spat- en stuifzones	Delen van constructies in zee
5. Aantasting door vorst/dooi-wisselingen met of zonder dooizouten		
XF1	Niet volledig verzadigd met water, zonder dooizouten	Verticale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
XF2	Niet volledig verzadigd met water, met dooizouten	Verticale betonoppervlakken van wegconstructies bloot- gesteld aan vorst en met de lucht meegevoerde dooizouten
XF3	Verzadigd met water, zonder dooizouten	Horizontale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
XF4	Verzadigd met water, met dooizouten of zeewater	Wegen en brugdekken blootgesteld aan dooizouten Betonoppervlakken blootgesteld aan direct gespreide dooizouten en vorst Spatzones van constructies in zee blootgesteld aan vorst

Tabel 37, Milieuklasse volgens de NEN 206-1 (Braum & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008)

klasseaan- duiding	beschrijving van het milieu	informatieve voorbeelden waar de milieuklassen zich kunnen voordoen
6. Chemische aantasting		
XA1	Zwak agressief chemisch milieu volgens NEN-EN 206-1, tabel 2	Natuurlijke grond en grondwater
XA2	Matig agressief chemisch milieu volgens NEN-EN 206-1, tabel 2	Natuurlijke grond en grondwater
XA3	Sterk agressief chemisch milieu volgens NEN-EN 206-1, tabel 2	Natuurlijke grond en grondwater

Tabel 38, Vervolg van de milieuklasse volgens de NEN 206-1 (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008)

milieu- klasse	minimumsterkteklasse, maximale water-cementfactor, minimumcementgehalte							
	nominale betondekking op het betonstaal							
	$10 + \Delta c_{dev}$	$15 + \Delta c_{dev}$	$20 + \Delta c_{dev}$	$25 + \Delta c_{dev}$	$30 + \Delta c_{dev}$	$35 + \Delta c_{dev}$	$40 + \Delta c_{dev}$	$45 + \Delta c_{dev}$
XD	0,70 ¹⁾ 200 ¹⁾	←	←	←	←	←	←	←
XC1	≥ C28/35 0,65 260	0,65 260	←	←	←	←	←	←
XC2			≥ C35/45 0,60 280	0,60 280	←	←	←	←
XC3			≥ C35/45 0,55 280	0,55 280	←	←	←	←
XC4				≥ C40/50 0,50 300	0,50 300	←	←	←
XS1					≥ C40/50 0,50 300	0,50 300	←	←
XS2						≥ C45/55 0,45 320	0,45 320	←
XS3							≥ C45/55 0,45 340	0,45 340
XD1					≥ C40/50 0,55 300	0,55 300	←	←
XD2						≥ C40/50 0,50 300	0,50 300	←
XD3							≥ C45/55 0,45 320	0,45 320

Tabel 39, Betonklasse en Minimale betondekking voor een ontwerplevensduur van 50 jaar, per milieuklasse (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008)

milieu- klasse	minimumsterkteklasse, maximale water-cementfactor, minimumcementgehalte							
	nominale betondekking op het betonstaal							
	15 + ΔC _{ex}	20 + ΔC _{des}	25 + ΔC _{des}	30 + ΔC _{des}	35 + ΔC _{des}	40 + ΔC _{des}	40 + ΔC _{des}	45 + ΔC _{des}
X0	0,70 ^{II} 200 ^{II}	←	←	←	←	←	←	←
XC1		≥ C28/35 0,65 260	0,65 260	←	←	←	←	←
XC2				≥ C35/45 0,60 280	0,60 280	←	←	←
XC3				≥ C35/45 0,55 280	0,55 280	←	←	←
XC4					≥ C40/50 0,50 300	0,50 300	←	←

Tabel 40, Betonklasse en Minimale betondekking voor een ontwerplevensduur van 100 jaar, per milieuklasse (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008)

14.3 Toetsing van beton

In deze paragraaf zullen de toetsingen aan beton besproken worden die volgens de Eurocode 2 uitgevoerd moeten worden.

14.3.1 Toetsing van zuivere buiging

Er zullen drie manieren besproken worden hoe de zuivere buiging bepaald kan worden.

14.3.1.1 Globaal met behulp van A_s formule; k_z geschat

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot k_z \cdot d}$$

k_z is in te schatten. 0.9 is een gemiddelde voor k_z

(Braam, Lagendijk, & Dees, Constructieleer Gewapend Beton, 2011)

Als de A_s bekend is kan met behulp van de GTB tabel 2010-3.8 de benodigde wapening gevonden worden. Zie hier voor tabel 43.

14.3.1.2 Exact met behulp van A_s formule

$$\frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2}$$

De waarde uit deze formule kan gebruikt worden in tabel 44 om de exacte k_z waarde te vinden.

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot k_z \cdot d}$$

(Braam, Lagendijk, & Dees, Constructieleer Gewapend Beton, 2011)

Als de A_s bekend is kan met behulp van de GTB tabel 2010-3.8 de benodigde wapening gevonden worden. Zie hier voor tabel 43.

14.3.1.3 Exact op doormiddel van ρ

$$\frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2}$$

De waarde uit deze formule kan gebruikt worden in de tabel 44 om zo de ρ te vinden. Deze kan gevonden worden door te interpoleren of door veilig te schatten.

Controle van ρ

$$\rho \geq \rho_{min} \quad \rho \leq \rho_{max}$$

Zowel ρ_{min} als ρ_{max} zijn te vinden in tabel 41 en tabel 42.

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

Nadat de A_s berekend is moet deze gecontroleerd worden of dat deze voldoet aan de eis dat het niet groter mag zijn dan de maximale toegestane $A_{s,max}$ of kleiner is dan de minimale toegestane $A_{s,min}$.

$$A_{s,berekend} \leq A_{s,max}$$

$$A_{s,max} = \rho_{max} \cdot b \cdot d \cdot 10^{-2}$$

$$A_{s,berekend} \leq A_{s,min}$$

$$A_{s,min} = \rho_{min} \cdot b \cdot d \cdot 10^{-2}$$

(Braam, Lagendijk, & Dees, Constructieleer Gewapend Beton, 2011)

Als de A_s bekend is kan met behulp van de GTB tabel 2010-3.8 de benodigde wapening gevonden worden. Zie hier voor tabel 43.

C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50
0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.16	0.18
C45/55	C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105
0.19	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26

Tabel 41, Minimum-wapeningsverhouding voor B500 betonstaal (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013)

C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50
0.74	0.98	1.23	1.54	1.85	2.15	2.46
C45/55	C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105
2.77	3.08	3.03	3.01	3.10	3.31	3.55

Tabel 42, Maximum-wapeningsverhouding voor B500 betonstaal (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013)

betonstaal

• doorsneden betonstaalstaven

Gezamenlijke doorsnede van betonstaalstaven in mm²

Ø	massa per staaf (kg/m)	aantal staven									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	0,222	28	57	85	113	141	170	198	226	254	283
8	0,395	50	101	151	201	251	302	352	402	453	503
10	0,617	79	157	236	314	393	471	550	628	707	785
12	0,888	113	226	339	452	565	679	792	905	1018	1131
14	1,208	154	308	462	615	769	923	1077	1231	1385	1539
16	1,578	201	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1810	2011
20	2,466	314	628	942	1257	1571	1885	2199	2513	2827	3142
25	3,853	491	982	1473	1963	2454	2945	3436	3927	4418	4909
32	6,313	804	1608	2413	3217	4021	4825	5630	6434	7238	8042
40	9,865	1257	2513	3770	5027	6283	7540	8796	10053	11310	12566
50	15,406	1962	3925	5887	7850	9812	11775	13737	15700	17662	19624

Doorsnede van betonstaalstaven in mm² per m plaatbreedte

afstand h.o.h. (mm)	aantal staven per m	Ø (mm)									
		6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
70	14,29	404	718	1122	1616	2199	2872	4488	7012	11489	17952
75	13,33	377	670	1047	1508	2051	2681	4189	6545	10723	16755
80	12,50	353	628	982	1414	1923	2513	3927	6136	10053	15708
85	11,76	333	591	924	1331	1809	2365	3696	5775	9462	14784
90	11,11	314	559	873	1257	1709	2234	3491	5454	8936	13963
95	10,53	298	529	827	1190	1620	2116	3307	5167	8466	13228
100	10,00	283	503	785	1131	1539	2011	3142	4909	8042	12566
105	9,52	269	479	748	1077	1465	1915	2992	4675	7660	11968
110	9,09	257	457	714	1028	1399	1828	2856	4462	7311	11424
115	8,70	246	437	683	983	1339	1748	2732	4268	6993	10927
120	8,33	236	419	654	942	1282	1676	2618	4091	6702	10472
125	8,00	226	402	628	905	1231	1608	2513	3927	6434	10053
130	7,69	217	387	604	870	1183	1547	2417	3776	6187	9666
135	7,41	209	372	582	838	1140	1489	2327	3636	5957	9308
140	7,14	202	359	561	808	1099	1436	2244	3506	5745	8976
145	6,90	195	347	542	780	1062	1387	2167	3385	5547	8666
150	6,67	188	335	524	754	1026	1340	2094	3272	5362	8378
155	6,45	182	324	507	730	992	1297	2027	3167	5189	8107
160	6,25	177	314	491	707	962	1257	1963	3068	5027	7854
165	6,06	171	305	476	685	932	1219	1904	2975	4874	7616
170	5,88	166	296	462	665	905	1183	1848	2887	4731	7392
175	5,71	162	287	449	646	879	1149	1795	2805	4596	7181
180	5,56	157	279	436	628	855	1117	1745	2727	4468	6981
185	5,41	153	272	425	611	832	1087	1689	2653	4347	6793
190	5,26	149	265	413	595	809	1058	1653	2584	4233	6614
195	5,13	145	258	403	580	789	1031	1611	2517	4124	6444
200	5,00	141	251	393	565	769	1005	1571	2454	4021	6283
205	4,88	138	245	383	552	751	981	1532	2395	3923	6130
210	4,76	135	239	374	539	732	957	1496	2337	3830	5984
215	4,65	132	234	365	526	715	935	1461	2283	3741	5845
220	4,55	129	228	357	514	700	914	1428	2231	3656	5712
225	4,44	126	223	349	503	683	894	1396	2182	3574	5585
230	4,35	123	219	341	492	669	874	1366	2134	3497	5464
235	4,26	120	214	334	481	655	856	1337	2089	3422	5347
240	4,17	118	209	327	471	642	838	1309	2045	3351	5236
245	4,08	115	205	321	462	628	821	1282	2004	3283	5129
250	4,00	113	201	314	452	615	804	1257	1963	3217	5027

Tabel 43, GTB 2010-3.8 (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, Grafieken en Tabellen voor beton gebaseerd op de Europese Normen voor Ontwerp, Materiaal en Uitvoering, 2013)

$\frac{M_{Ed}}{b d^2} \text{ (Nm)} / \text{ (m}^2\text{)}$	k_s	$100 \rho_l$	k_x	k_z
100	0,433	0,02	0,010	0,996
200	0,431	0,05	0,020	0,992
300	0,430	0,07	0,030	0,988
400	0,428	0,09	0,041	0,984
500	0,426	0,12	0,051	0,980
600	0,424	0,14	0,061	0,976
700	0,423	0,17	0,072	0,972
800	0,421	0,19	0,083	0,968
900	0,419	0,21	0,093	0,964
1000	0,417	0,24	0,104	0,959
1100	0,415	0,26	0,115	0,955
1200	0,413	0,29	0,126	0,951
1300	0,412	0,32	0,137	0,947
1400	0,410	0,34	0,149	0,942
1500	0,408	0,37	0,160	0,938
1600	0,406	0,39	0,171	0,933
1700	0,404	0,42	0,183	0,929
1800	0,402	0,45	0,195	0,924
1900	0,400	0,48	0,207	0,920
2000	0,398	0,50	0,219	0,915
(0,7) 2100	0,396	0,53	0,231	0,910
2200	0,394	0,56	0,243	0,906
2300	0,392	0,59	0,255	0,901
2400	0,389	0,62	0,268	0,896
2500	0,387	0,65	0,281	0,891
2600	0,385	0,68	0,293	0,886
2700	0,383	0,71	0,307	0,881
2800	0,381	0,74	0,320	0,876
(0,8) 2900	0,378	0,77	0,333	0,870
3000	0,376	0,80	0,347	0,865
3100	0,374	0,83	0,361	0,860
3200	0,371	0,86	0,375	0,854
3300	0,369	0,89	0,389	0,849
3400	0,367	0,93	0,403	0,843
3500	0,364	0,96	0,418	0,837
(0,9) 3600	0,362	1,00	0,433	0,832
3700	0,359	1,03	0,448	0,826
3800	0,356	1,07	0,464	0,820
3900	0,354	1,10	0,479	0,814
4000	0,351	1,14	0,495	0,807
4100	0,348	1,18	0,512	0,801
(1,0) 4200	0,345	1,22	0,529	0,794
4300	0,342	1,26	0,546	0,788
4400	0,340	1,30	0,563	0,781
4500	0,336	1,34	0,581	0,774
4600	0,333	1,38	0,600	0,767
4689	0,330	1,42	0,617	0,760

Tabel 44, Bepalen van de ρ (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, Grafieken en Tabellen voor beton gebaseerd op de Europese Normen voor Ontwerp, Materiaal en Uitvoering, 2013)

14.3.2 Toetsing van scheurvorming

Als eerste wordt de staalspanning berekend

$$\sigma_s = \frac{Q_k}{Q_d} \cdot \frac{A_{s \text{ berekend}}}{A_{s \text{ toegepast}}} \cdot f_{yd}$$

Vervolgens wordt de toegestane scheurwijdte bepaald. Dit is afhankelijk van de milieuklasse van de constructie zoals te zien is in tabel 45. Hierna kan berekend worden wat de maximale toegestane staafdiameter is met behulp van tabel 46 of wat de maximale toegestane staafafstand is met behulp van tabel 47.

Milieuklasse	Scheurwijdte eis
XC0 en XC1	$w_k \leq 0,4\text{mm}$
XC2, XC3 en XC4	$w_k \leq 0,3\text{mm}$
Alle andere klassen	$w_k \leq 0,2\text{mm}$

Tabel 45, Scheurwijdte eis per milieuklasse (Braam, Lagendijk, & Dees, Constructieel Gewapend Beton, 2011)

staalspanning σ_s (N/mm ²)	maximale staafdiameter (mm)		
	$w_k = 0,4 \text{ mm}$	$w_k = 0,3 \text{ mm}$	$w_k = 0,2 \text{ mm}$
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5

Tabel 46, Maximale staafdiameter volgens de eis van de scheurwijdte (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013)

Vervolgens kan de scheurvormingstoetsing uitgevoerd worden aan de hand van de volgende formule:

$$\emptyset_{eq} \leq \emptyset_{max} \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot \frac{0,4 \cdot h_{cr}}{2(h-d)} \cdot k_c$$

Indien verschillende staafdiameters gebruikt zijn moet $\emptyset_{eq}$ eerst berekend worden:

$$\emptyset_{eq} = \frac{n_1 \cdot \emptyset_1^2 + n_2 \cdot \emptyset_2^2}{n_1 \cdot \emptyset_1 + n_2 \cdot \emptyset_2}$$

$$n \leq 3$$

$$k_c = \frac{c_{applied}}{c_{nom}} \leq 2$$

(Braam, Lagendijk, & Dees, Constructieel Gewapend Beton, 2011)

staalspanning σ_s (N/mm ²)	maximale staafafstand (mm)		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Tabel 47, Maximale staafafstand volgens de eis van de scheurwijdte (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013)

$$S_{max} \geq S$$

(Braam, Lagendijk, & Dees, Constructieleer Gewapend Beton, 2011)

14.3.3 Toetsing op dwarskrachtwapening

De toetsing op dwarskrachtwapening kan als volgt gedaan worden.

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{bd}$$

$$v_{Rd,c} = 0.035k^{3/2}\sqrt{f_{ck}}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \text{ (d in mm)}$$

Als k uitgerekend is kan met behulp van tabel 48 $v_{Rd,c}$ bepaald worden (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013).

Vervolgens moet er gekeken worden of dat de grenswaarde van de drukdiagonaal niet overtreden wordt door de schuifspanning. Dit kan getoetst worden door te kijken of $v_{Ed} \leq v_{Rd,max}$.

$$v_{Rd,max} = \frac{0,9 \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$v_1 = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$$

In tabel 49 kan de zijn de $v_{Rd,max}$ waarden te vinden bij een behaalde drukdiagonaal helling (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013).

Indien dwarskrachtwapening nodig is kan deze bepaald worden door de volgende formule:

$$A_{sw} = \frac{v_{Ed} \cdot b}{0.9 \cdot f_{yd} \cdot \cot \theta}$$

Met deze A_{sw} waarde kan de dwarskrachtwapening gekozen worden aan de hand van tabel 43 (Braam, Lagendijk, & Dees, Constructieleer Gewapend Beton, 2011).

sterkte- klasse	d (mm)	200	225	250	275	300	350	400	450	500	600	750
	k	2,00	1,94	1,89	1,85	1,82	1,76	1,71	1,67	1,63	1,58	1,52
	f_{ck} (N/mm ²)											
C12/15	12	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23
C16/20	16	0,40	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,26
C20/25	20	0,44	0,42	0,41	0,39	0,38	0,36	0,35	0,34	0,33	0,31	0,29
C25/30	25	0,49	0,47	0,46	0,44	0,43	0,41	0,39	0,38	0,37	0,35	0,33
C30/37	30	0,54	0,52	0,50	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,40	0,38	0,36
C35/45	35	0,59	0,56	0,54	0,52	0,51	0,48	0,46	0,45	0,43	0,41	0,39
C40/50	40	0,63	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,49	0,48	0,46	0,44	0,41
C45/55	45	0,66	0,64	0,61	0,59	0,57	0,55	0,52	0,51	0,49	0,47	0,44
C50/60	50	0,70	0,67	0,65	0,62	0,61	0,58	0,55	0,53	0,52	0,49	0,46

Tabel 48, Grenswaarden $v_{Rd,c}$ (Braum, Lagendijk, & Dees, Constructieel Gewapend Beton, 2011)

f_{ck}		$v_{Rd,max}$ (N/mm ²)						v_1
	$\cot \theta$	2,50	2,14	1,73	1,43	1,19	1,00	
	θ	21,8°	25°	30°	35°	40°	45°	
20 (C20/25)	2,28	2,54	2,87	3,11	3,26	3,31	0,552	
25 (C25/30)	2,79	3,11	3,51	3,80	3,99	4,05	0,540	
30 (C30/37)	3,28	3,65	4,12	4,46	4,68	4,75	0,528	
35 (C35/45)	3,74	4,16	4,69	5,09	5,34	5,42	0,516	
40 (C40/50)	4,17	4,64	5,24	5,68	5,96	6,05	0,504	
45 (C45/55)	4,58	5,09	5,76	6,24	6,54	6,64	0,492	
50 (C50/60)	4,97	5,52	6,24	6,76	7,09	7,20	0,480	

uitgangspunten tabel:

verticale dwarskrachtwapening

$$z = 0,9 d$$

$$v = 0,6 (1 - f_{ck}/250).$$

Tabel 49, Weerstand drukdiagonaal $v_{Rd,max}$ (Braum, Lagendijk, & Dees, Constructieel Gewapend Beton, 2011)

14.3.4 Toetsing op wringing

Als eerst moet er gekeken worden of dat er wringingswapening nodig.

$$T_{Ed} \leq T_{Rd,c}$$

$$T_{Ed} = 0.5(N_{Ed} * e)$$

$$T_{Rd,c} = f_{ctd} \cdot t_{ef,i} \cdot 2A_k$$

$$t_{ef,i} = \frac{A}{u} = \frac{bh}{2(b+h)}$$

$$A_k = (b - t_{ef})(h - t_{ef})$$

Als blijkt dat de vergelijking niet voldoet dan is wringingswapening nodig (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013).

Om wringing op te vangen is er zowel langswapening als beugels nodig.

$$A_{s,langs} = \frac{T_{Ed} \cdot \cot\theta \cdot u_k}{f_{yd} \cdot 2 \cdot A_k}$$

Deze $A_{s,langs}$ moet verdeeld worden over de omtrek van de balk. Dus $A_{s,langs}/4$. Voor de maximale beugelafstand in langsrichting geldt:

$$s_{w,max} = \frac{2 \cdot A_{s,beugel} \cdot b_1 \cdot h_1 \cdot f_{yd} \cdot \cot\theta}{T_{Ed}}$$

(Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013)

Voor de dwarskrachtswapening geldt

$$\frac{A_s}{s} = \left(\frac{V_{Ed}}{0,9d \cdot f_{yd} \cdot \cot\theta} \right) / 2$$

Delen door twee, omdat bij dwarskrachtswapening beide beugelbenen wordt berekend. Vervolgens worden deze twee waarden bij elkaar opgeteld. Hierna wordt de A_{sw} van de toegepaste beugel gedeeld door deze waarde. Dit geeft de afstand tussen de beugels (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013).

14.3.5 Toetsing op een combinatie van dwarskracht en wringing

Als eerste moet het praktisch gewapende gebied bepaald worden.

$$\frac{\chi \cdot T_{Ed}}{T_{Rd,c}} + \frac{\chi \cdot V_{Ed}}{V_{Rd,c}} \leq 1,0$$

Hieruit volgt een χ waarde. Dit is het percentage van het praktische gewapende gebied gezien vanaf de helft van de oplegging. $\chi \cdot 0,5 \cdot L$ = praktische gewapende gebied (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013).

Vervolgens kan de controle op weerstand drukdiagonaal gedaan worden

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \leq 1,0$$

$$T_{Rd,max} = A_k \cdot v \cdot f_{cd} \cdot t_{ef,i}$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot b_w \cdot 0,9d \cdot v_1 \cdot f_{cd}$$

(Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013)

Als eerste wordt de langswapening bepaald. Dit wordt op dezelfde manier gedaan als de langswapeningsberekening bij wringing. Vervolgens kan de maximale afstand van de beugels in de langsrichting bepaald worden die ook op dezelfde manier gedaan wordt als bij de wringing. Vervolgens wordt de mm²/mm van de beugel bepaald A_{sw}/s . Voor de dwarskrachtswapening geldt

$$\frac{A_s}{s} = \left(\frac{V_{Ed}}{0,9d \cdot f_{yd} \cdot \cot\theta} \right) / 2$$

Delen door twee, omdat bij dwarskrachtswapening beide beugelbenen wordt berekend. Vervolgens worden deze twee waarden bij elkaar opgeteld. Hierna wordt de A_{sw} van de toegepaste beugel gedeeld door deze waarde. Dit geeft de afstand tussen de beugels (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013).

14.3.6 Toetsing op vervorming

Met de toetsing op vervorming kan getoetst worden of dat een vloer, balk, kolom enzovoort niet te ver doorbuigt. Dit kan gedaan worden aan de hand van de volgende formule:

$$w_{max} \leq w_{eis}$$

$$\frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l_{eff}^4}{E_c \cdot I} \leq 0.004 l_{eff}$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

(Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, 2013)

14.4 Damwandconstructies parameters

In tabel 50 zijn de karakteristieke waarden van de grondeigenschappen te vinden volgens de NEN 9997-1 (CURNET, 2012).

Hoofd- naam	Bijmengsel	Consis- tentie ^b	γ^a kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	$q_c^{c,d}$ MPa	C'_p	C'_s	$C_u/(1 + e_u)$ H	C_u^f [-]	$C_{uv}/(1 + e_u)^g$ [-]	E_{ice}^i MPa	ϕ'^j Graden	c' kPa	c_u kPa	
Grind	zwak siltig	Los	17	19	15	500	∞	0,0046	0	0,0015	45	32,5	0	n.v.t.	
		Matig	18	20	25	1000	∞	0,0023	0	0,0008	75	35,0	0		
		Vast	19	20	30	1200	1400	0,0019	0,0016	0,0006	90	37,5	40,0		
	sterk siltig	Los	18	20	10	400	∞	0,0058	0	0,0019	30	30,0	0	n.v.t.	
		Matig	19	21	15	600	∞	0,0038	0	0,0013	45	32,5	0		
		Vast	20	21	22	1000	1500	0,0023	0,0015	0,0008	75	35,0	40,0		
Zand	schoon	Los	17	19	5	200	∞	0,0115	0	0,0038	15	30,0	0	n.v.t.	
		Matig	18	20	15	600	∞	0,0038	0	0,0013	45	32,5	0		
		Vast	19	20	25	1000	1500	0,0023	0,0015	0,0008	75	35,0	40,0		
	zwak siltig, kleilig		18	19	12	450	650	0,0051	0,0035	0	35	27,0	32,5	n.v.t.	
			18	19	8	200	400	∞	0,0115	0,0058	0	15	25,0		30,0
			19	19	1	25	650	0,0920	0,0037	0,0307	2	27,5	30,0		
Leem ^e	zwak zandig	Slap	19	19	1	25	1300	0,0511	0,0020	0,0170	3	27,5	32,5	1	
		Matig	20	20	2	45	1900	0,0329	0,0230	0,0013	5	27,5	35,0		
		Vast	21	22	3	70	100	0,0329	0,0230	0,0110	5	27,5	35,0		
	sterk zandig		19	20	2	45	70	0,0511	0,0329	0,0170	3	27,5	35,0	0	
			14	14	0,5	7	80	0,3286	0,0131	0,1095	1	17,5	0		
			17	17	1,0	15	160	0,1533	0,0081	0,0511	2	17,5	5		
Klei	schoon	Slap	19	20	2,0	25	320	0,0920	0,0767	0,0307	4	17,5	25,0	13	
		Matig	15	15	0,7	10	110	0,2300	0,0092	0,0767	1,5	22,5	0		
		Vast	18	18	1,5	20	240	0,1150	0,0046	0,0383	3	22,5	5		
	zwak zandig	Slap	20	21	2,5	30	50	0,0767	0,0460	0,0256	5	22,5	27,5	13	
		Matig	18	20	1,0	25	140	0,0920	0,0184	0,0307	2	27,5	32,5		
		Vast	18	20	1,0	25	140	0,0920	0,0184	0,0307	2	27,5	32,5		
	sterk zandig		13	13	0,2	7,5	30	0,3087	0,0153	0,1022	0,5	15,0	0	1	
			15	15	0,5	10	40	0,2300	0,0115	0,0767	1,0	15,0	0		
			10	12	0,1	5	7,5	0,4600	0,0230	0,1533	0,2	0,5	15,0		
Veen	niet voorbelast	Slap	12	13	0,1	7,5	20	0,4600	0,0367	0,0230	0,1533	0,1022	0,5	1	
		Matig	10	12	0,2	7,5	10	0,3087	0,0230	0,1533	0,1022	0,5	1,0		
			12	13	0,2	7,5	10	0,3087	0,0230	0,1533	0,1022	0,5	1,0		
Variatiecoëfficiënt														0,10	
														0,20	

Tabel 50, Karakteristieke waarden voor grondeigenschappen volgens de NEN 9997-1 (CURNET, 2012)

14.5 Damwandconstructie verankering

Er worden drie soorten groutanker kort beschrijven: De tradionele groutanker, zelfborende ankers en schroefinjectieankers

Het tradionele groutanker bestaat uit voorspanstrengen of voorspanstaven die een variabele lengte kunnen hebben. Indien voorspanstaven gebruikt worden is het mogelijk om koppelmoffen te gebruiken om de juiste lengte te behalen. Een tradionele groutanker wordt aangebracht door een buizen te boren of te heien, waarna een ankerstrengen in de buizen geplaatst worden. Na plaatsing van de ankerstengen worden de buizen getrokken terwel grout injecteert wordt (BAM Infra, 2012).

Zelfborende ankers zijn geribbelde buizen die de grond worden ingeboord. Via de buis wordt het grout aangebracht in de dragende grondlaag dankzij de kleine openingen in de buis. De buizen die gebruikt worden voor het boren zullen in de grond blijven zitten en zullen dienen als ankerstang (BAM Infra, 2012).

Schroefinjectieankers zijn gladde buizen die de grond worden ingeboord. Via de buis wordt het grout aangebracht in een draagkrachtige laag dankzij de kleine openingen in de buis. De buizen die gebruikt worden voor het boren zullen in de grond blijven zitten en zullen dienen als ankerstang (BAM Infra, 2012).

15. Bijlage methode

Iedere activiteit zal kort besproken worden hoe deze uitgevoerd zal worden en op welke vraag de activiteit antwoord zal bieden.

Activiteit 1: Het opstellen van de uitgangspunten

Doormiddel van deskresearch zullen de uitgangspunten voor de roro-voorziening bepaald worden. Op deze manier kan er achter gekomen worden wat de grondopbouw, de waterstanden, belastingen en etc. zijn. Dit zal een antwoord geven op deelvraag 1: Wat zijn de uitgangspunten aan de roro-voorziening?

Activiteit 2: Het opstellen van de eisen voor de roro-voorziening.

Doormiddel van deskresearch zullen de technische- en functionele eisen voor een roro-voorziening bepaald worden. Daarnaast zijn er ook eisen vanuit de opdrachtgever gesteld. Ook deze zullen mee genomen worden in het ontwerp. Als laatste zal er ook gekeken worden naar eisen vanuit derde zoals havenschap (North Sea Port). Dit zal een antwoord geven op deelvraag 2: Wat is het Programma van Eisen aan de roro-voorziening?

Activiteit 3: Voorontwerpen maken van de verschillende varianten en alternatieven.

Er zullen schetsontwerpen gemaakt worden van de verschillende varianten. Door er een schetsontwerpen van te maken zal er een beter beeld komen bij de varianten en alternatieven. Hierdoor zal het keuze instrument beter ingevuld kunnen worden. Dit zal een deel beantwoorden op deelvraag 3: Welke varianten voor de roro-voorzieningen zijn mogelijk?

Activiteit 4: Het opstellen van criteriums.

Er zal een overzicht gemaakt worden met criteriums die zullen variëren van kosten tot en met uitbereiding van de roro-voorziening in de toekomst. Aan elke criterium zal een wegging komen te hangen zodat later de varianten er aan getoetst kunnen worden. Dit zal een deel beantwoorden van deelvraag 4: Welke criteriums worden gebruikt voor de matrix?

Activiteit 5: keuzen variant

De varianten zullen getoetst worden met behulp van een matrix, waarin de verschillende varianten vergeleken worden aan de hand van een aantal criteriums. Eén van deze criteriums zal de kosten zijn van de variant. Deze zal bepaald worden door de kosten van iedere variant te bepalen met kengetallen dankzij de voorontwerpen van de varianten. Zo zal er op één oogopslag duidelijk te zien zijn welke variant als beste uit de matrix komt. Dit zal een antwoorden geven op deelvraag 5: Welke variant komt als beste uit de matrix?

Activiteit 6: Het uitwerken van de beste variant.

Dit zal gedaan worden door een toetsend onderzoek uit te voeren. De variant zal volledig berekend worden volgens aan de gestelde constructieve regels. Dit zal gedaan worden met behulp van berekeningsprogramma's zoals D-Sheet Pilling en SCIA, daarnaast zullen er ook berekeningen gedaan worden met de hand ter controle van de berekeningsprogramma's. Dit zal antwoord geven op deelvraag 6: berekeningsrapport.

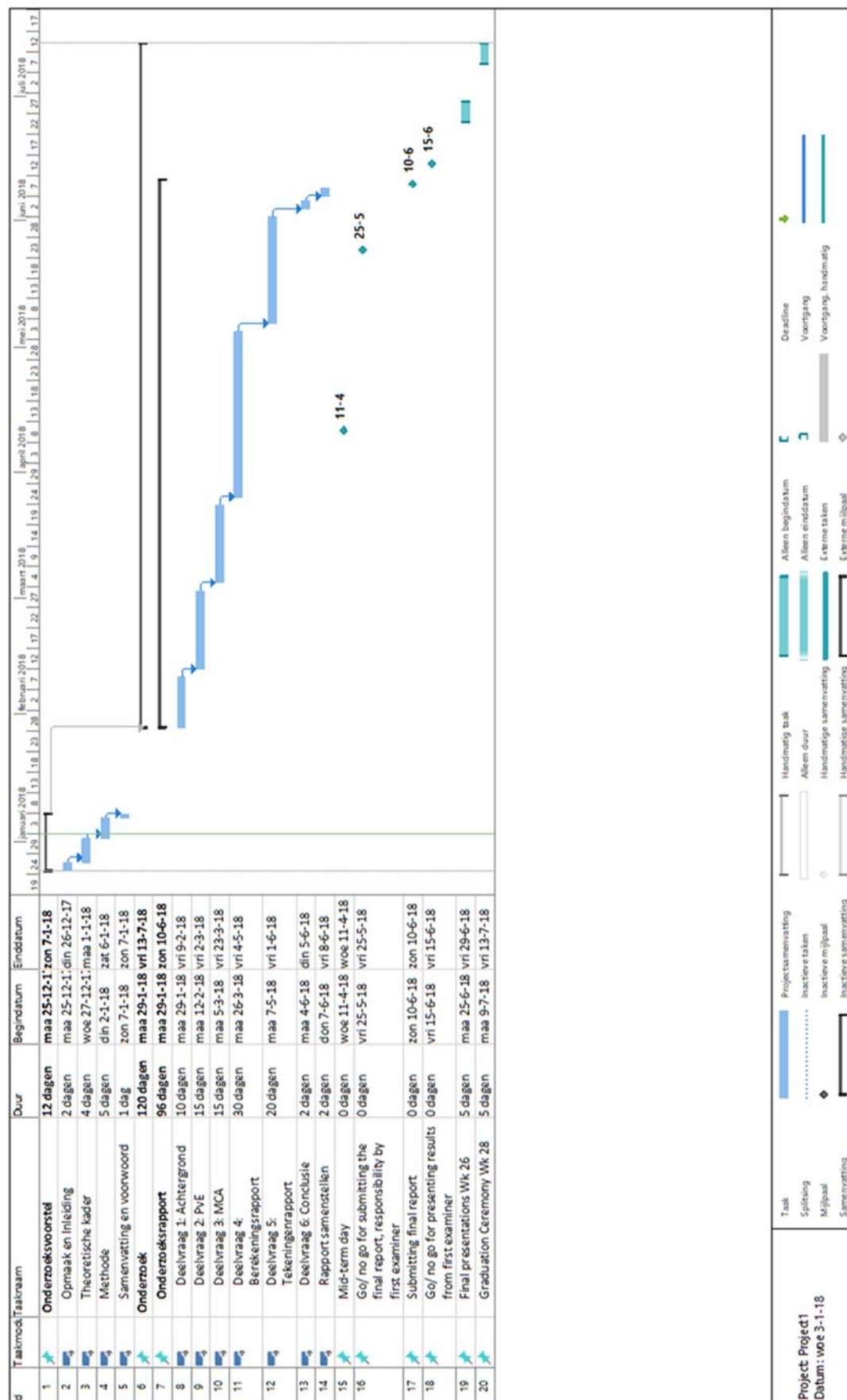
Activiteit 7: De berekeningen vertalen naar tekeningen.

De berekeningen die gemaakt zijn in het berekeningsrapport zullen vertaald worden naar bouwtekeningen. Deze tekeningen zullen gemaakt worden met behulp van AutoCAD of Revit. Er zullen zowel wapeningstekeningen (WT-TEK) als maatvoeringstekening (MT-TEK) gemaakt worden. Dit zal antwoord geven op deelvraag 5: Tekeningen.

Activiteit 8: Het advies opstellen.

Als alle voorgaande zeven activiteiten voltooid zijn zal er een advies geschreven worden voor de gekozen roro-voorziening. Dit zal antwoord geven op deelvraag 6: Conclusie/advies

16. Bijlage planning



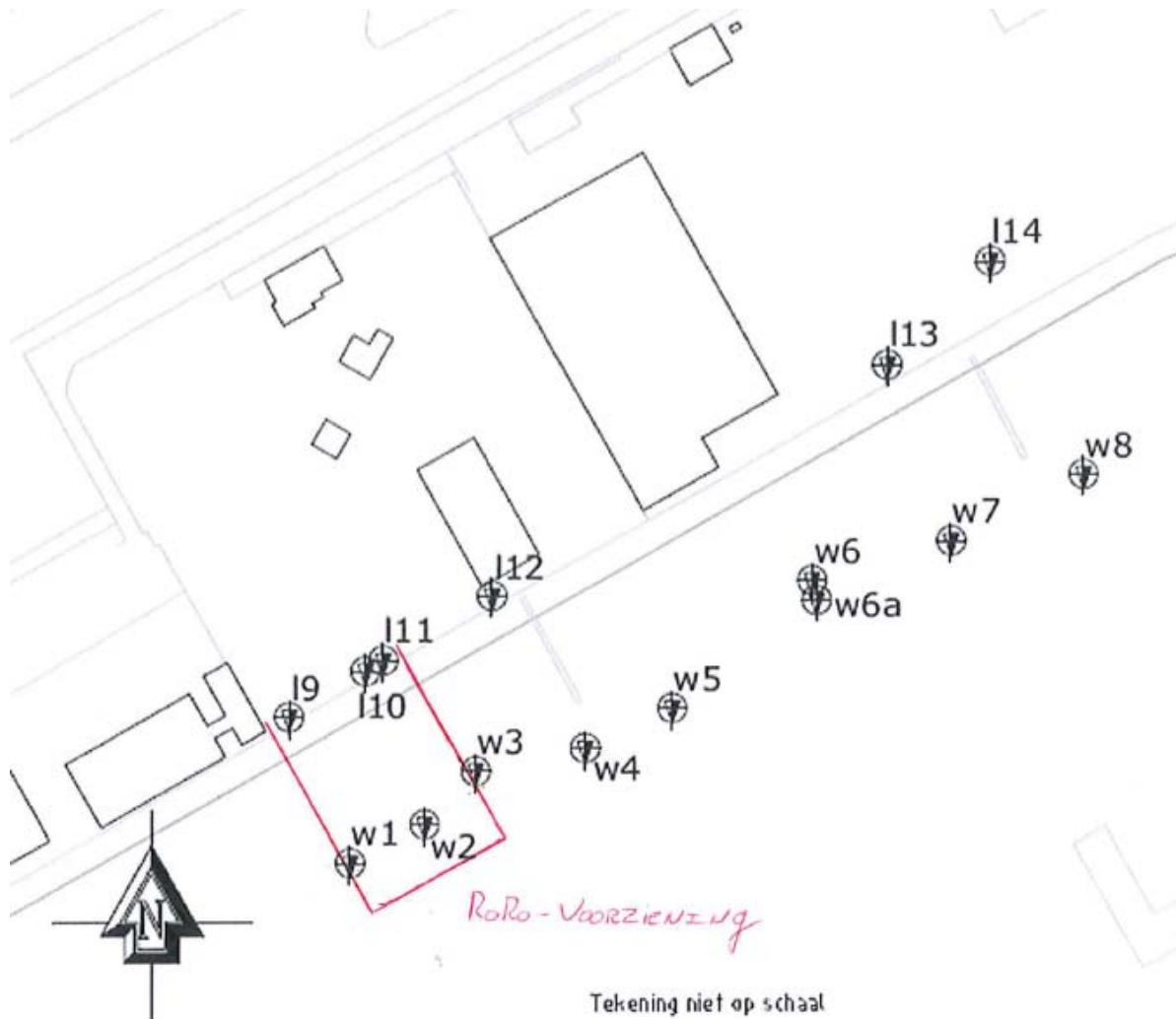
Tabel 51, Planning afstudeer periode

17. Bijlage randvoorwaarden

Dit hoofdstuk zal verdergaan op het hoofdstuk "5 Uitgangspunten".

17.1 De grondgegevens van de locatie

De zes sonderingen die relevant zijn voor de roro-voorziening zijn W1, W2, W3, L9, L10 en L11. Alleen deze sonderingen zijn relevant omdat deze op de locatie zijn genomen waar de roro-voorziening komt te staan zoals te zien is in figuur 20.



Figuur 20, Locatie sonderingen ASK Romein (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)

De sonderingen W1, W2, en W3 zijn in het water (W) genomen en de sonderingen L9, L10 en L11 bevinden zich op het land (L). Iedere sondering gaat tot een andere diepte. Deze dieptes van de sonderingen van zijn terug te vinden in tabel 52.

Sondering	Diepte t.o.v. NAP
W1	± -29 m
W2	± -30 m
W3	± -29 m
L9	± -15 m
L10	± -15 m
L11	± -15 m

Tabel 52, Dieptes van de sonderingen t.o.v. NAP (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)

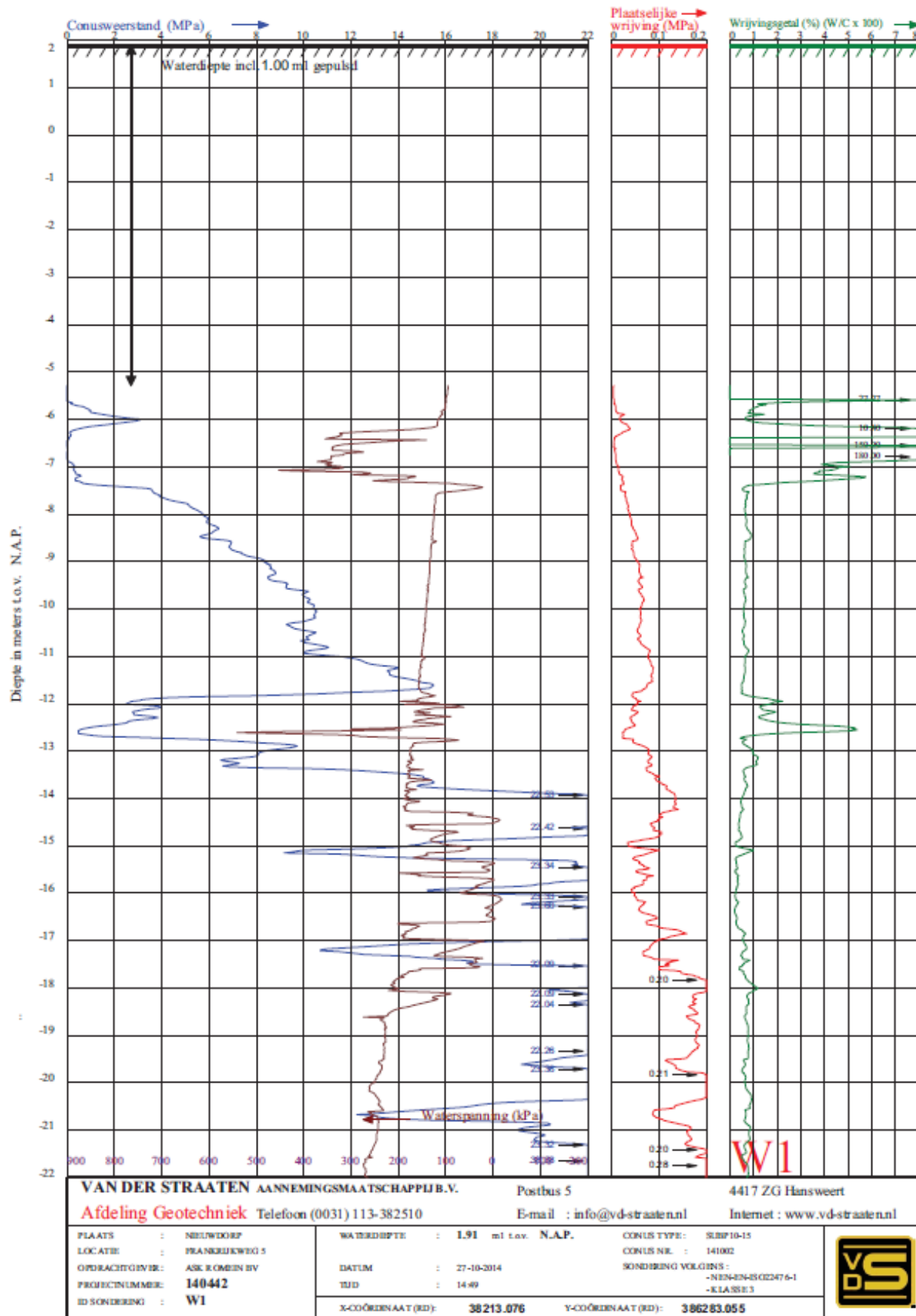
De sonderingen die in het water zijn genomen gaan t/m NAP -29 m en de sonderingen op het land gaan t/m NAP -15 m. Omdat de sonderingen die op het land zijn genomen minder diep zijn kan dit tot problemen leiden in de berekening omdat het niet mogelijk is om naar dieper gelegen grondlagen te kijken voor de stabiliteit van de constructie.

Dit zou opgelost kunnen worden door nieuwe sonderingen uit te laten voeren. Of om de sondering te laten te vervallen en alleen naar de sonderingen te kijken die in het water zijn genomen. Indien uit de berekeningen blijkt dat de sondering L9, L10 en L11 niet diep genoeg zijn, dan zullen ze gecombineerd worden met de sonderingen W1, W2 en W3. Op deze manier zal een beeld gecreëerd worden van de dieper gelegen grondlagen voor de sonderingen L9, L10 en L11.

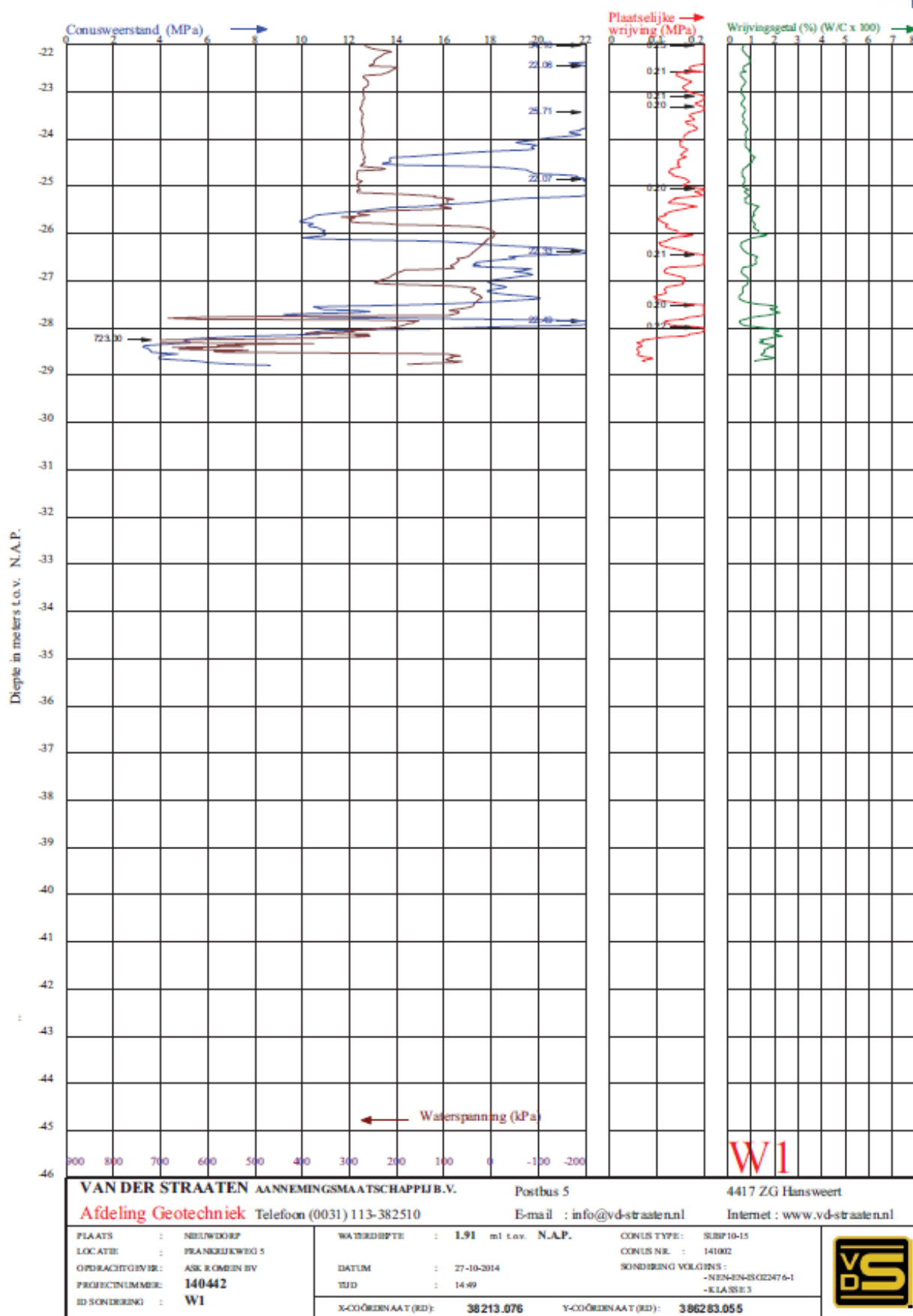
Van alle grondgegevens zijn GEF files gemaakt. Deze file kunnen ingevoerd worden in programma's zoals D-Sheet Piling en D-Foundations. Op deze manier worden de metingen van de sondering ingevoerd, waardoor het programma een interpretatie kan doen van welke grondlaag zich op welke diepte bevindt.

Van iedere sondering is een sonderingsgrafiek beschikbaar. In deze sonderingsgrafiek staan de conusweerstand in MPa, plaatselijke wrijving in MPa en het wrijvingsgetal in percentage. Deze sonderingen zijn terug te vinden in grafiek 1 t/m 9.

17.1.1 Sondering W1

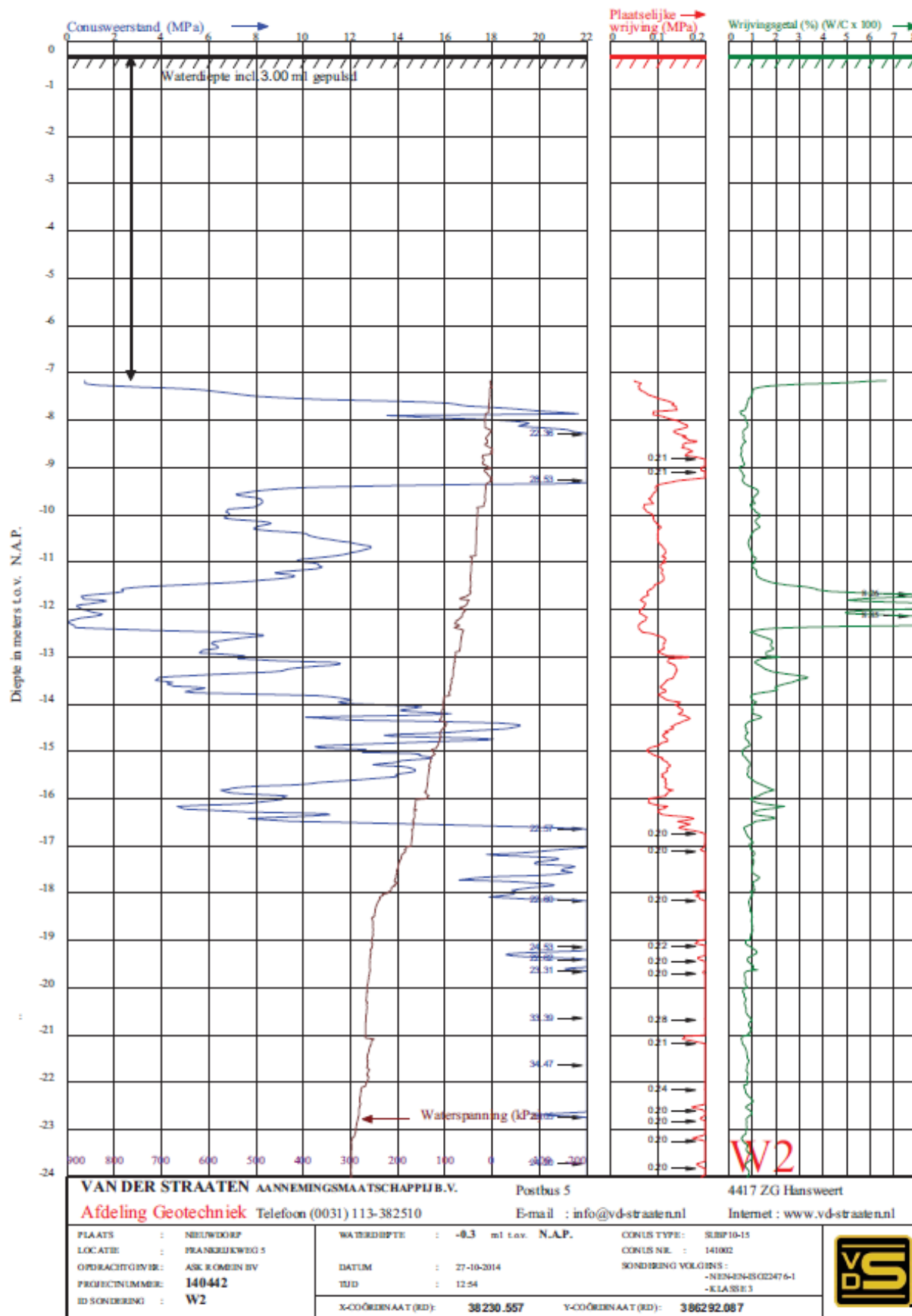


Grafiek 1, Sondering W1, Deel 1 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)

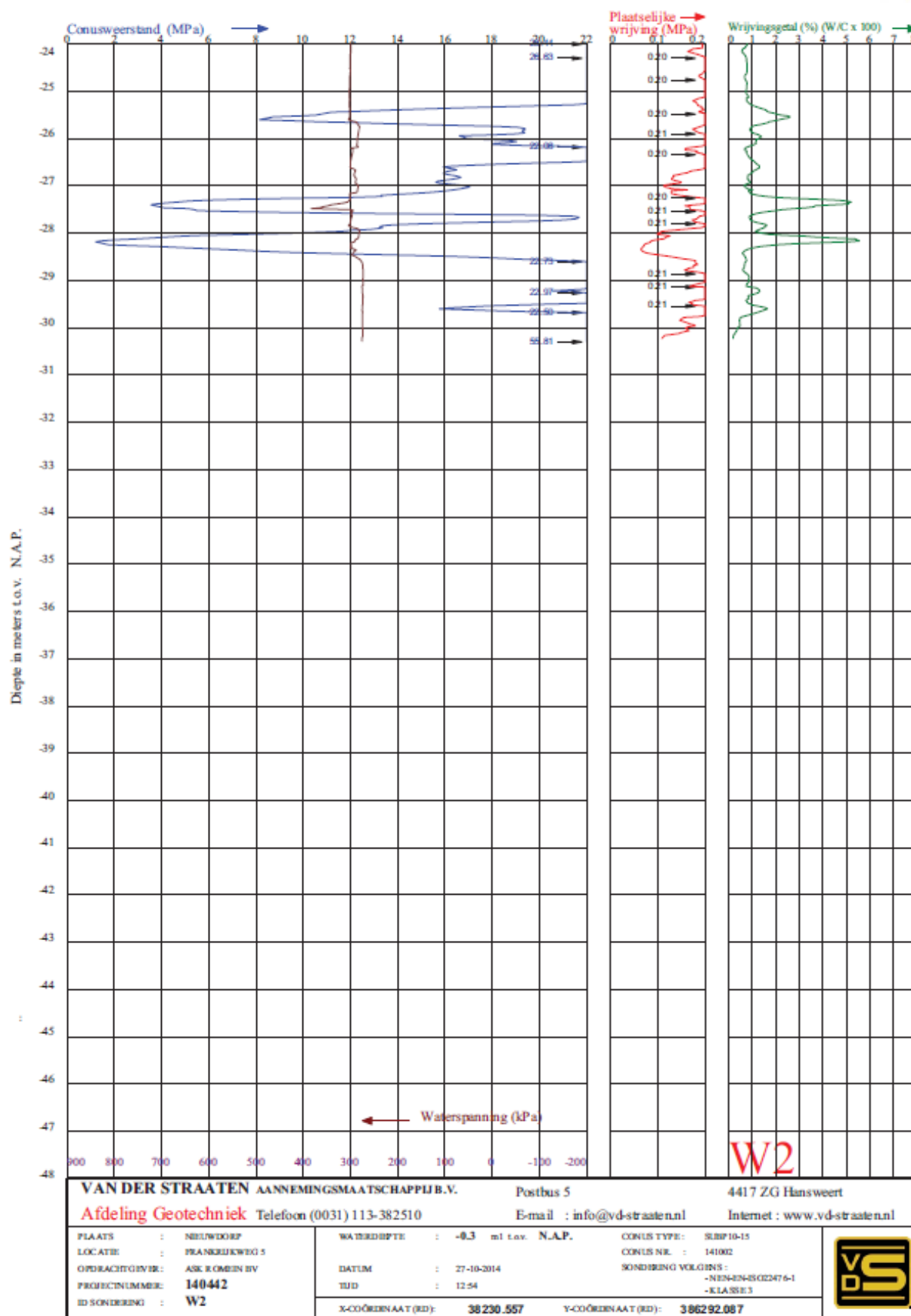


Grafiek 2, Sondering W1, Deel 2 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)

17.1.2 Sondering W2

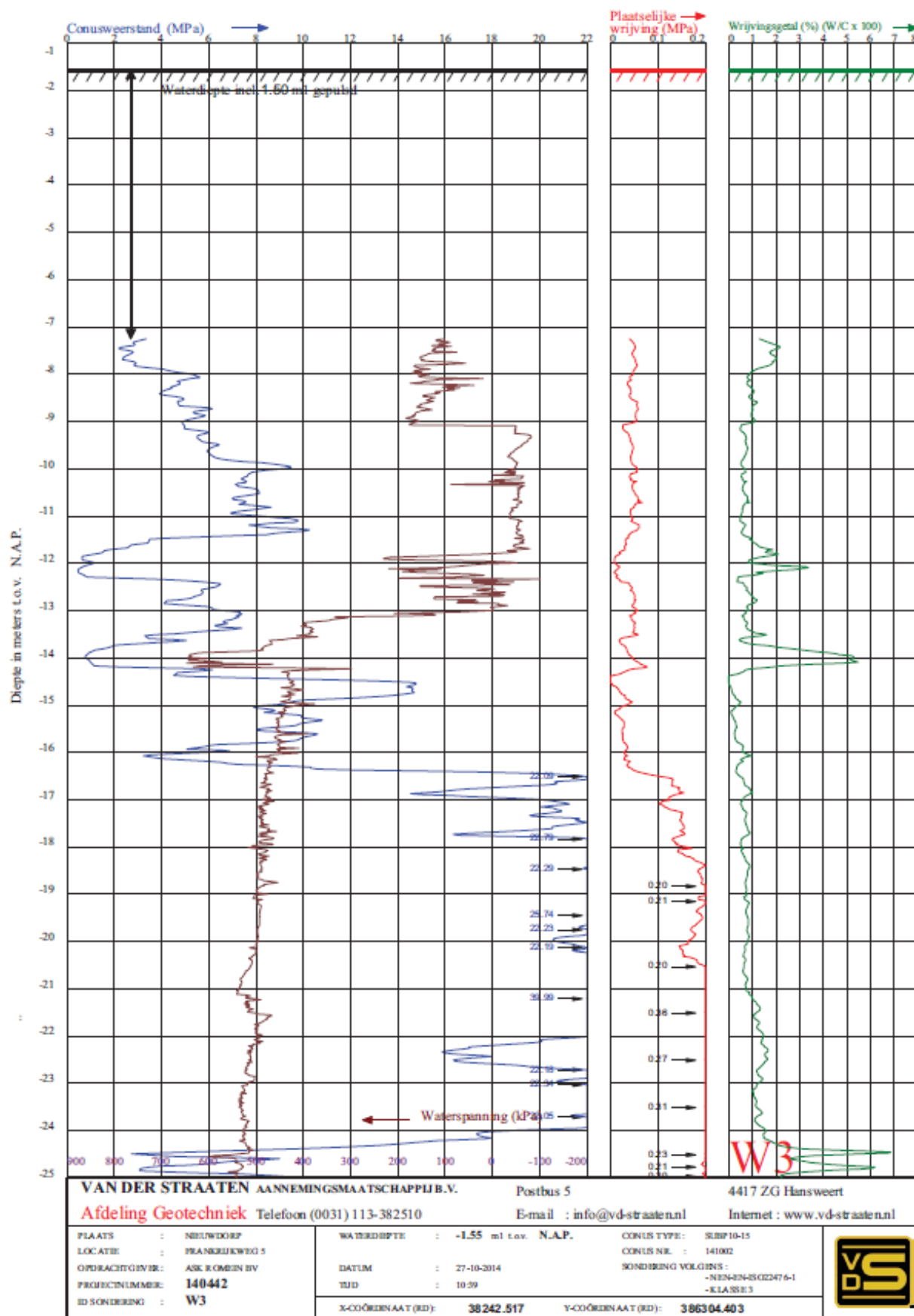


Grafiek 3, Sondering W2, Deel 1 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)

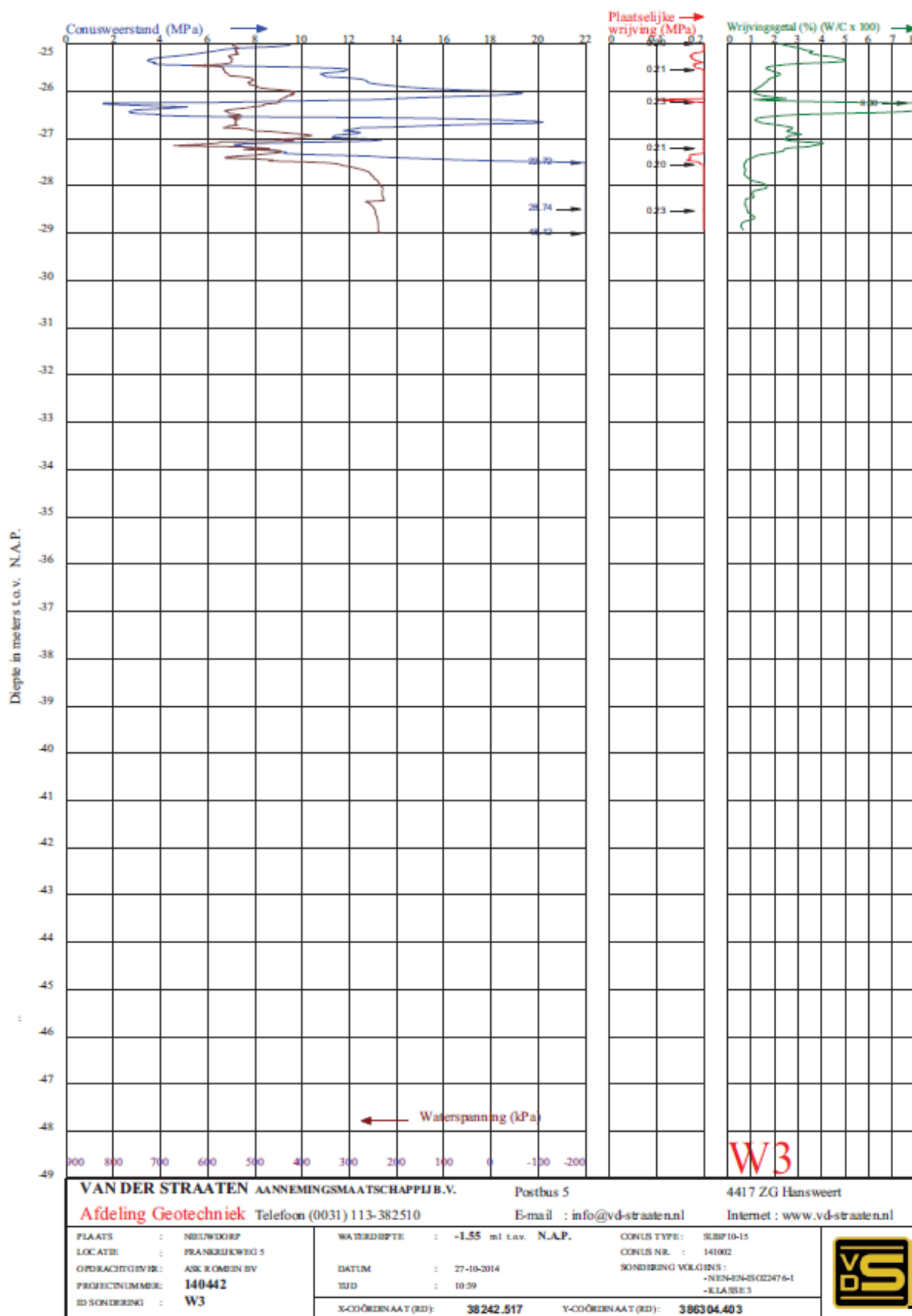


Grafiek 4, Sondering W2, Deel 2 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)

17.1.3 Sondering W3

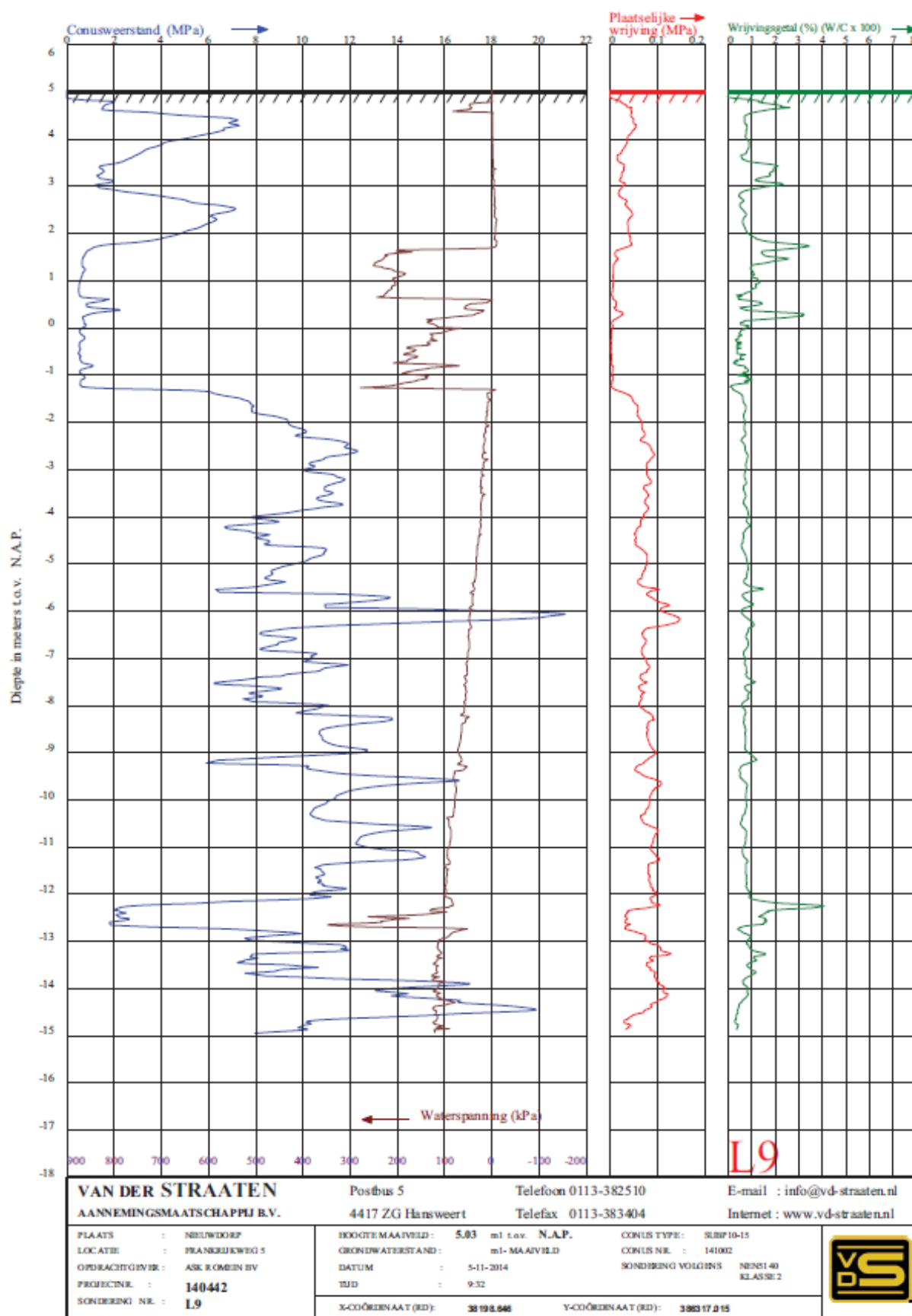


Grafiek 5, Sondering W3, Deel 1 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)



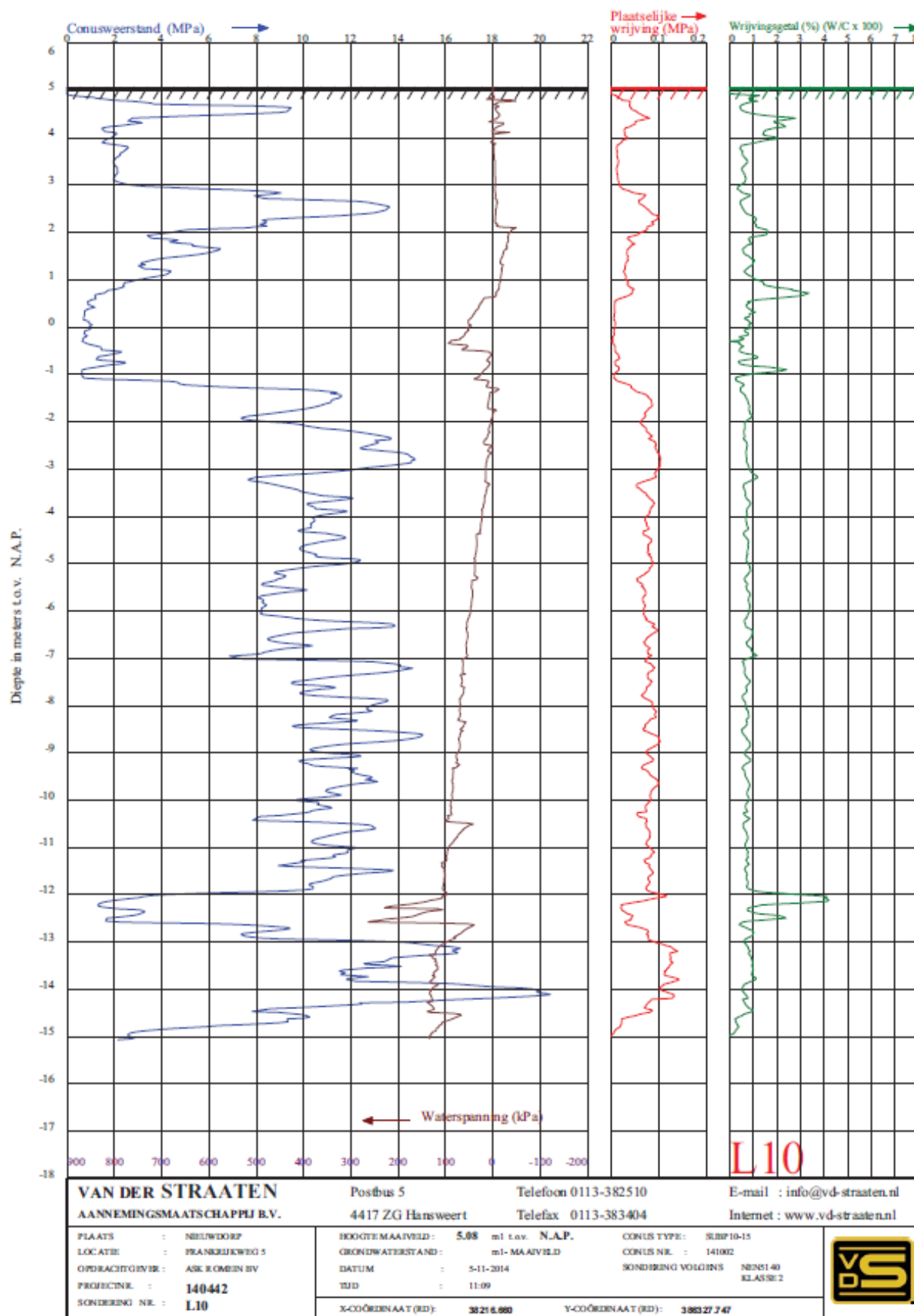
Grafiek 6, Sondering W3, Deel 2 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)

17.1.4 Sondering L9



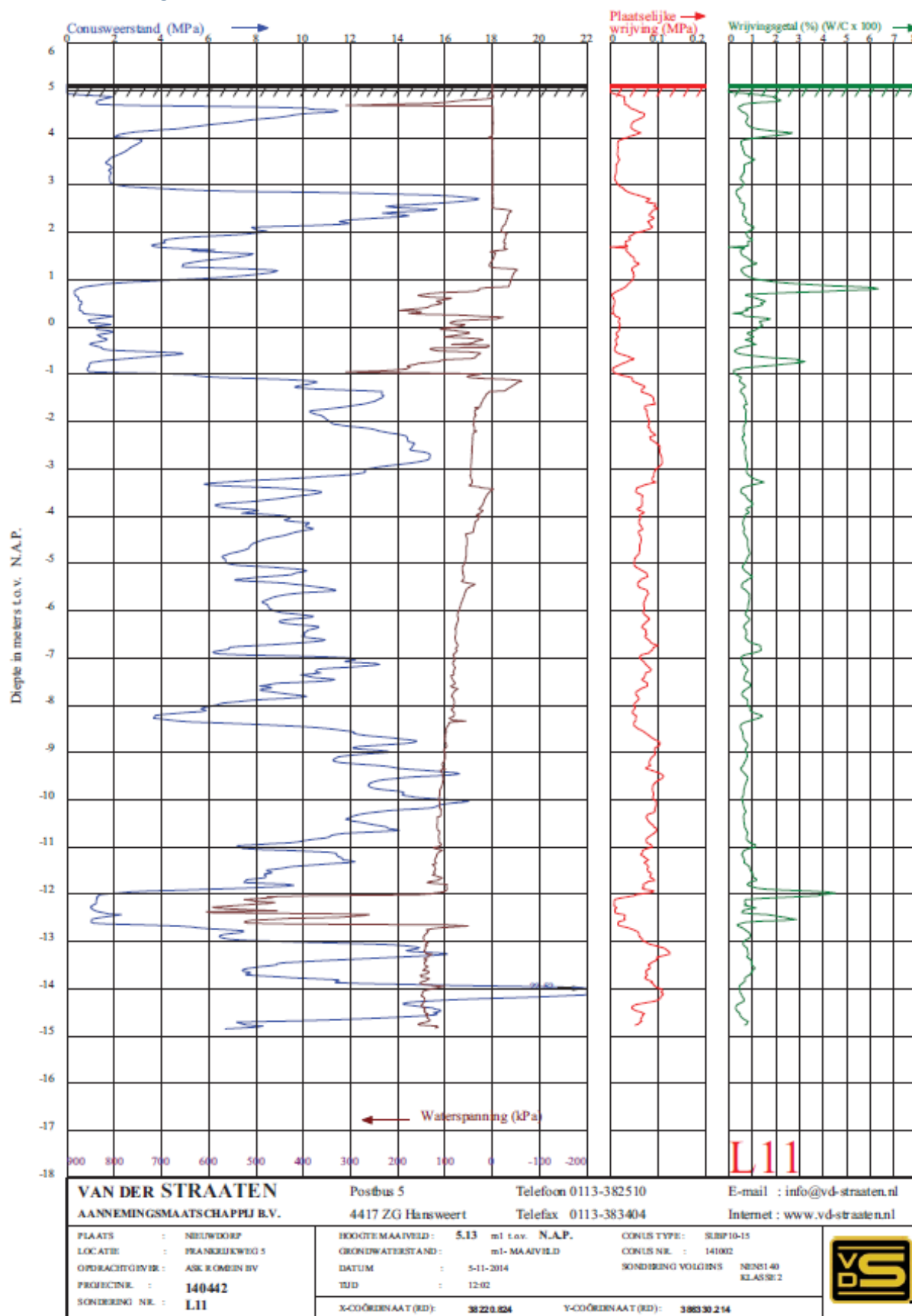
Grafiek 7, Sondering L9 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)

17.1.5 Sondering L10



Grafiek 8, Sondering L10 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)

17.1.6 Sondering L11



Grafiek 9, Sondering L11 (Van Der Straaten aannemingsmaatschappij BV, 2014)

17.2 Schepen

Dit hoofdstuk zal verdergaan op het hoofdstuk "5.2 Schepen".

17.2.1 Ponton

De afmetingen van het ponton zijn van belang voor het ontwerp van de roro-voorziening omdat bij het afmeren iets fout zou kunnen gaan waardoor de roro-voorziening een scheepstoot zou kunnen krijgen van het ponton. De afmetingen van het ponton zijn afgerond 200 x 57 m en heeft een gewicht wanneer het ponton leeg is van 24.277 ton. Voor alle afmetingen van het ponton wordt verwezen naar tabel 53.

Omschrijving	Waarde
L _{OA} (Length overall/totaal lengte)	200,3 m
L _{PP} (Length between perpendiculars/lengte bij waterlijn)	200 m
B _{OA} (breadth overall/totaal breedte)	57,60 m
B (Breadth moulded/breedte schip)	56,94 m
D (Depth at side/onderkant boot t/m bovenkant boot)	13 m
T (Draught, design/diepgang)	8,8 m
T _{SC} (Draught, scantling/diepgang geladen)	12,5 m

Tabel 53, Afmetingen ponton (Royal Haskoning DHV, 2014), benaming: (William & John, 2003)

Voor het ponton hoeft er geen rekening gehouden te worden met trosbelastingen op de roro-voorziening. Het ponton zal alleen gebruik maken van de zes bolderpalen in het water en de vier landbolders om op af te meren en zal dus geen gebruik maken van de bolders op de roro-voorziening volgens de nautische eisen vanuit North Sea Ports "18.2.2 Nautische eisen vanuit North Sea Ports".

17.2.2 Binnenvaartschip

Naast het ponton zou ook een binnenvaartschip de roro-voorziening kunnen aan doen. Ook hiervan zijn de afmetingen van belang in geval van een eventuele scheepstoot. In tabel 54 zijn de afmetingen van een binnen vaartschip te zien.

Omschrijving	Waarde
L _{OA}	135 m
B	17,5 m
D	4,5 m

Tabel 54, Afmetingen binnenvaartschip (Royal Haskoning DHV, 2014)

De waterverplaatsing van een binnenvaartschip kan als volgt bepaald worden: $L_{OA} \cdot B \cdot D \cdot \rho_w \cdot C_B$. Hierin is $C_B^{(7)}$ de blokfactor die in dit geval 0,9 is. Dus dit geeft een waterverplaatsing van ongeveer 10000 ton. Volgens EAU 2012 geeft een waterverplaatsing van 10000 ton en een trosbelasting van 300 kN per bolder. (Royal Haskoning DHV, 2014) (Htg, 2015).

⁽⁷⁾ Is een coëfficiënt die de verhouding tussen het volume van het natte gedeelte van het schip en de balk waarin het onderwaterschip precies past

17.3 Reken uitgangspunten

Dit hoofdstuk zal verdergaan op het hoofdstuk “5.4 Reken uitgangspunten”.

17.3.1 Milieuklasse

De milieuklasse heeft invloed op meerdere aspecten van de beton berekeningen. Zo bepaalt de milieuklasse de minimale vereiste betonklasse en heeft het invloed op de benodigde dekking van de wapening bij een bepaalde levensduur. De milieuklasse wordt bepaald aan de hand van de eurocode 2.

Uit tabel 37 en 38 (blz. 51 & 52) is te concluderen dat de roro-voorziening zich bevindt in een milieuklasse XS3. De reden van deze milieuklasse is omdat een deel de roro-voorziening “de fundering” in zee komt te staan waar een getij is. Om deze reden zal de roro-voorziening zich in de XS3 milieu bevinden. Andere onderdelen van de constructie zullen zich in een andere milieuklasse bevinden, maar het is gebruikelijk om de maatgevende milieuklasse te pakken en deze te gebruiken voor de gehele constructie. Om deze reden zullen alle betonberekening gedaan worden voor een XS3 milieu in het voorontwerp (VO), In het definitieve ontwerp (DO) zal per betononderdeel gekeken worden welke milieuklasse toegepast moet worden.

17.3.2 Betonklasse

De betonklasse die minimaal gebuikt moet worden hangt af van de milieuklasse en de levensduur van het object. Er dient rekening te worden gehouden met een milieuklasse XS3 en een levensduur van 50 jaar⁽⁸⁾. Dit betekent dat er een minimale betonklasse van C45/55 toegepast moet worden volgens de eurocode 2 zoals te zien is in tabel 39 (blz. 52). Naast de minimale betonklasse geeft deze tabel ook de minimale dekking die vereist is bij de milieuklasse en betonklasse, dit zal 0,45 mm bedragen plus de standaard 0,05 mm uitvoeringstolerantie. Het is van belang om te weten welke betonklasse toegepast moet worden omdat iedere betonklasse verschillende eigenschappen heeft.

⁽⁸⁾ zie “18.2.1.4 Levensduur”

17.3.3 Belastingsfactoren en belastingscombinaties

Deze zullen gevonden worden door gebruik te maken van de eurocode 2 en de GTB. Hier zal naar gekeken worden omdat deze nodig zijn om de belastingen in de uiterste grenstoestand (UGT) en in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) te bepalen.

Met behulp van tabel 33 (blz. 47) kan de belastingscombinaties voor zowel de UGT als de BGT bepaald worden. q_{Gk} is de optelsom van alle permanenten belastingen en de q_{Qk} is de maatgevende variabele belasting

Omdat de roro-voorziening als een brug beschouwd kan worden voor langzaam verkeer kan tabel NB.9 – A 2.1 gebruikt worden om de momentaan factoren (Ψ) te bepalen. De roro-voorziening kan op deze manier beschouwd worden, omdat de roro-voorziening een overbruggende functie heeft van wal naar ponton en de maatgevende belastingen (mobiele telescoopkraan en SPTM's) zijn langzaam rijdend verkeer. Met behulp van tabel 35 (blz. 48) kunnen de momentaan factoren bepaald worden.

17.3.4 Veranderlijke belastingen

De roro-voorziening zal voornamelijk variabele belastingen ondervinden, omdat een roro-voorziening niet gebruikt wordt als opslagterrein.

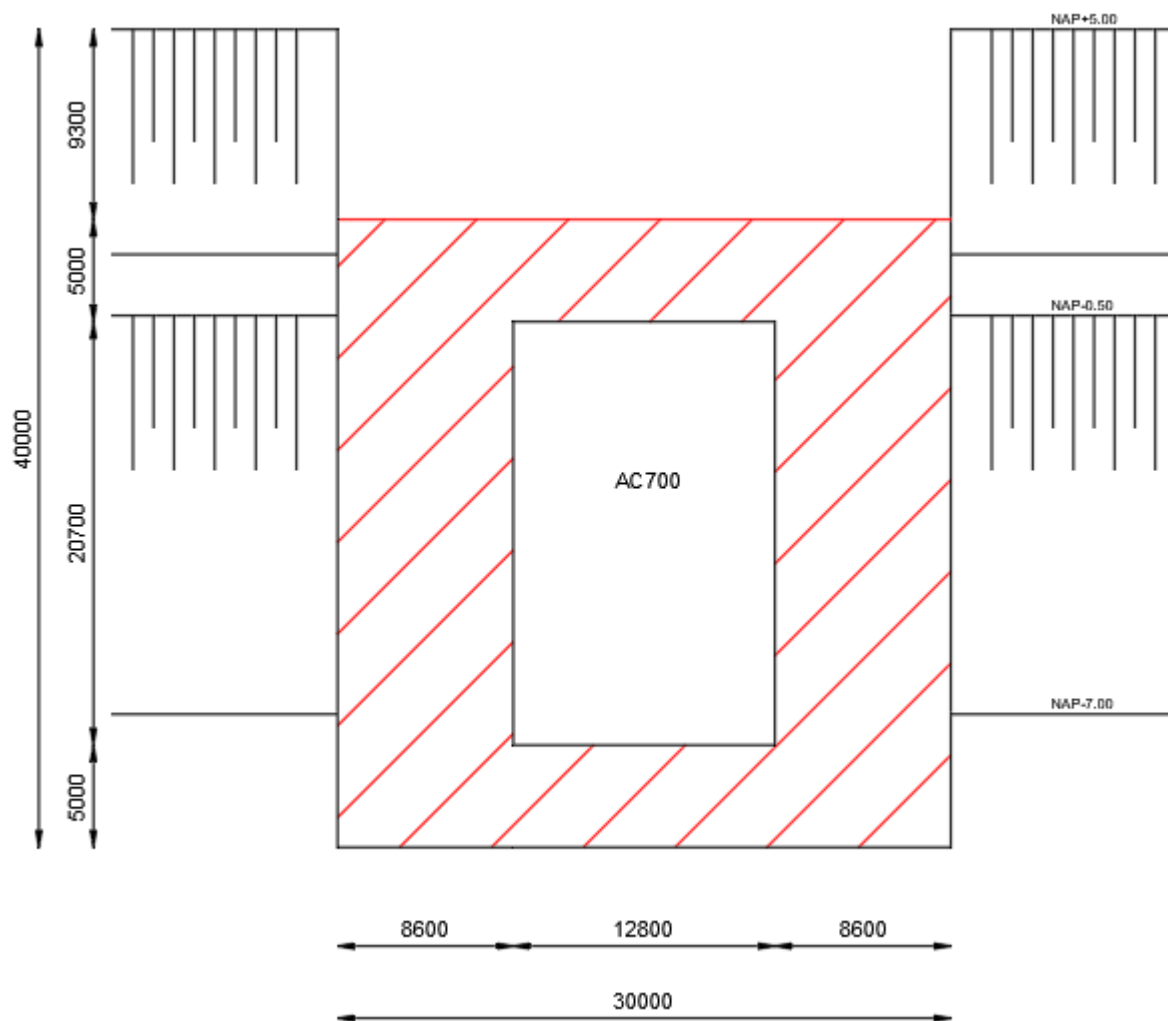
17.3.4.1 Bovenbelasting

De roro-voorziening zal een bovenbelasting ondervinden van 10 ton/m², deze bovenbelasting komt door werkzaamheden op de roro-voorziening.

17.3.4.2 Kraan belasting

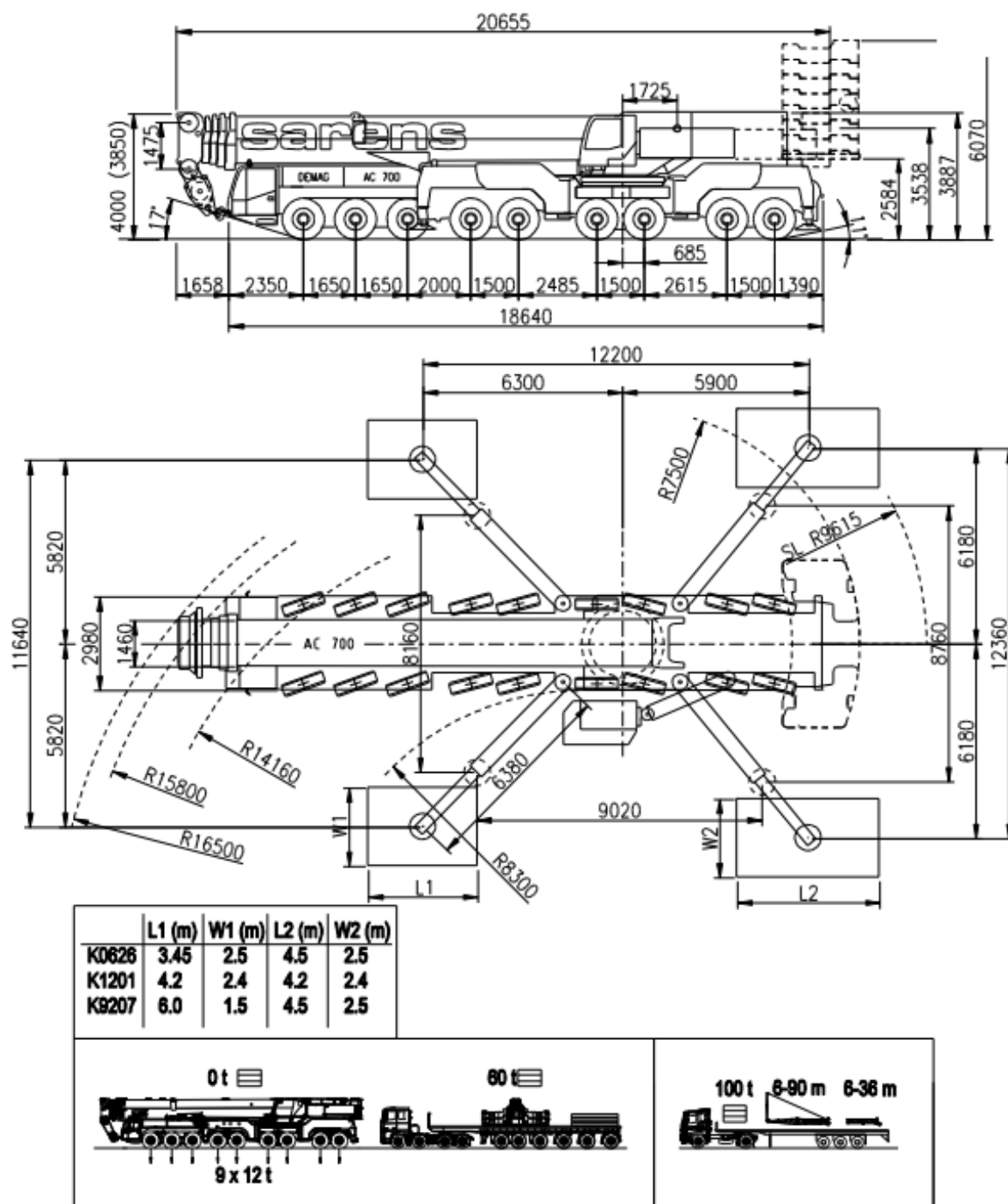
ASK Romein heeft aangegeven dat zij voor bepaalde werkzaamheden een telescoopkraan nodig hebben. Hiervoor gebruiken zij een AC700 van Sarens. In figuur 22 zijn de afmetingen en eigenschappen van deze telescoopkraan weergegeven. Uit deze gegevens is te zien dat er een maximale stempeldruk is van 200 kN/m². Deze stempeldruk werkt over een stempelschot van 4,2 x 2,4 m. Hierdoor zal deze stempeldruk van 200 kN/m² werken op een stempelschot van 10.08 m². Dit geeft een stempelkracht van 2016 kN.

In figuur 21 is een schets gemaakt van de roro-voorziening met daarop de AC700 telescoopkraan. Deze schets geeft een inzicht in de belastingen tijdens de aanwezigheid van de AC700 telescoopkraan. In het rode gearceerde gebied zal aangenomen worden dat hier geen grote en significante belastingen aanwezig zullen zijn, zoals de 10 ton/m². Er zal uitgegaan worden dat in het gearceerde gebied geen werkzaamheden zullen plaatsvinden en alleen mensen en handgereedschap te vinden zullen zijn terwiel de telescoopkraan aanwezig is.



Figuur 21, Schets van de aanwezigheid van de AC700 telescoopkraan

Kraantype : Sarens AC700
 Capaciteit : 700 ton
 Max. Stempeldruk : 200 kN/m²
 Stempelafmetingen : 4,2 x 2,4 m
 Locatie stempels : er wordt met de voorste stempels enkel op de deksloof afgestempeld. (de stempel van de kraan dient op een afstand van minimaal 3,0m vanaf de bolders te blijven)



Figuur 22, Gegevens Sarens AC700 (Sarens Group)

17.3.4.3 Self-propelled modular trailers

Voor het verplaatsen van de modules zullen zogenaamde self-propelled modular trailers (SPMT) toegepast worden. Dit zijn platformwagens die instaat zijn grote en zware objecten te verrijden. SPMT zijn instaat om 30 t/m 43,5 ton/as te dragen. In tabel 55 is een overzicht te zien van de afmetingen en eigenschappen van verschillende SPMT van Sarens.



		Type 2404	Type 2406	Type 2404 S	Type 2406 S	Type 2404 ST	Type 2406 ST
		5.600mm	8.400mm	5.600mm	8.400mm	5.600mm	8.400mm
Dimensions	Platform length (approx.)	2.430 mm		2.430 mm		2.430 mm	
	Platform width (approx.)	2.430 mm		2.430 mm		2.430 mm	
	Theoretical axle load compensation at midstroke	± 350 mm		± 350 mm		± 350 mm	
	Practical axle load compensation at midstroke	± 250 mm		± 250 mm		± 250 mm	
	Total lifting stroke	500/700 mm		500/700 mm		500/700 mm	
Weights	Deadweight per axle line(ex. Powerpack)	± 4.000 kg		± 4.000 kg		± 4.500 kg	
	nett capacity per axle line	30.000 kg		36.000 kg		43.500 kg	
	weight powerpack (approx.)	6.200 kg		6.200 kg		6.200 kg	
	weight mini powerpack (approx.)	1.980 kg		1.980 kg		1.980 kg	
Drive System Design	Traction force with 320 bar	approx. 22.000 kg		approx. 22.000 kg		approx. 22.000 kg	
	Traction force with 350 bar	approx. 24.000 kg		approx. 24.000 kg		approx. 24.000 kg	
	Traction force with 420 bar	approx. 28.000 kg		approx. 28.000 kg		approx. 28.000 kg	
	Traction force per wheel boogie	60 kN		60 kN		60 kN	
	Max. speed unloaded (function of combination)	approx. 5 km/h (12 axles)		approx. 5 km/h (12 axles)		approx. 5 km/h (12 axles)	

Tabel 55, Gegevens SPMT's (Sarens group)

17.3.4.4 Belasting offshore modules

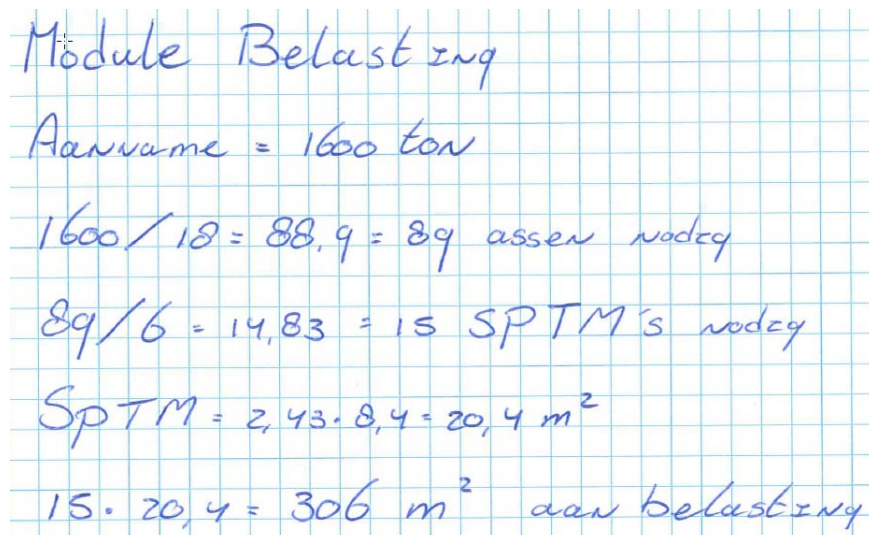
Er wordt uitgegaan van de zwaarst mogelijke belasting van 43.5 ton/as. Deze SPTM's hebben een breedte van 2.43 m, dit betekent dat ze een belasting van $(43.5 / 2.43 =) 18 \text{ ton/m}^2$ kunnen dragen.

Op de site van ASK Romein staan wel offshore projecten, maar niet het gewicht van de modules. Daarom zijn de gewichten van de offshore modules bij HEEREMA gebruikt. In tabel 56 staan enkele projecten met de gewichten van de modules erbij vermeld.

Module	Gewicht [ton]	Afmetingen L x B x H [m]	Figuur
Andrew	750	18 x 13 x 28	Figuur 23
Block 31	75	3 x 2 x 25	Figuur 24
K12-BP	280	20 x 20 x 6	Figuur 25
Valhall	11000	113 x 52 x 72	Figuur 26
Babbage	1600	25 x 31 x 62	Figuur 27

Tabel 56, Enkele projecten van HEEREMA (HEEREMA FABRICATION, 2018)

Gezien de omvang van de Valhall, zal er geen rekening gehouden worden met modules van deze grote en gewicht. Vanuit deze modules is de Babbage de zwaarste module met 1600 ton en er zal daarom ook mee gerekend worden. Voor een module van dit gewicht zijn er 15 SPTM's nodig. Dit geeft een oppervlakte van 306 m^2 .



Module Belasting

Aanname = 1600 ton

$$1600 / 18 = 88,9 = 89 \text{ assen nodig}$$

$$89 / 6 = 14,83 = 15 \text{ SPTM's nodig}$$

$$\text{SPTM} = 2,43 \cdot 8,4 = 20,4 \text{ m}^2$$

$$15 \cdot 20,4 = 306 \text{ m}^2 \text{ aan belasting}$$

Berekening 1, Oppervlakte aan belasting door modules



Figuur 23, Module: Andrew, 750ton (HEEREMA FABRICATION, 2018)



Figuur 24, Module: Block 31, 75ton (HEEREMA FABRICATION, 2018)



Figuur 25, Module K12-BP, 280ton (HEEREMA FABRICATION, 2018)



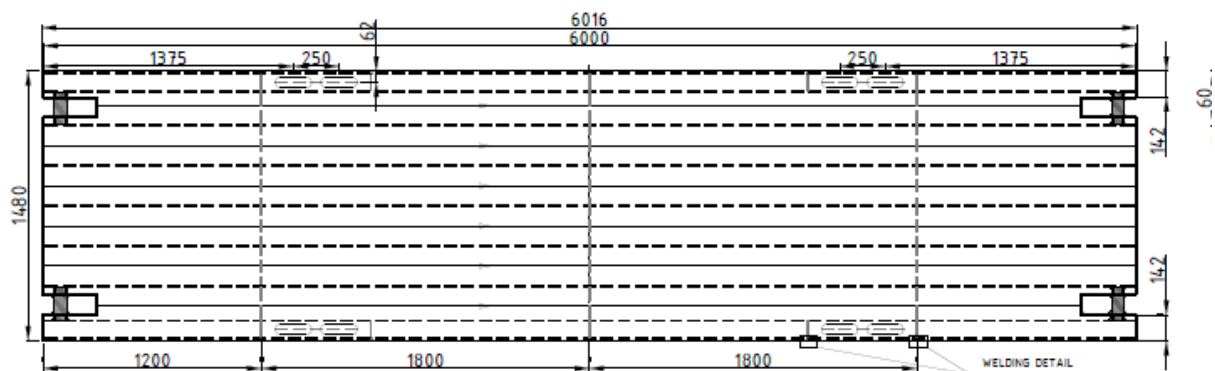
Figuur 26, Module Valhall, 11000ton (HEEREMA FABRICATION, 2018)



Figuur 27, Module Babbage, 1600ton (HEEREMA FABRICATION, 2018)

17.3.4.5 Roro-kleppen

Bij de overgang van roro-voorziening naar ponton, zullen er roro-kleppen gebruikt worden. Dit zijn platen die gebruikt worden voor de SPMT om over te rijden van roro-voorziening naar ponton. In figuur 28 is een roro-klep te zien. Er is gekozen om te rekenen met roro-kleppen van 6 m met een gewicht van 3 ton.



Figuur 28, Roro klep (HEBO Martiemservice B.V., 2016)

17.3.4.6 trosbelasting

Als een schip afgemeerd ligt, dan gebruikt het schip trossen om op zijn plaats te blijven te liggen. Deze trossen worden om bolder gelegd. Op het moment dat zo tros strak getrokken wordt doordat het schip van de roro-voorziening af drijft, treedt er een trosbelasting op. Voor binnenvaartschepen is deze reeds eerder al berekend in "17.2.2 Binnenvaartschip".

17.3.4.7 Aanvaringen

Er zal rekening gehouden moeten worden dat bij het af- en aanmeren van de binnenvaartschepen en het ponton, de mogelijkheid bestaat dat er iets mis kan gaan en er een aanvaring met de roro-voorziening tot gevolgen is. In het VO zal hier niet naar gekeken worden, alleen in het DO zal hiernaar gekeken worden.

17.3.4.8 Belasting variabel

Bij het berekenen van een vloer of een balk, moet rekening gehouden worden met een belastingvariabele door de aanwezigheid van personen, materiaal of materieel. Volgens de GTB 2013 moet er voor industrieel gebruik een belasting variabel van 3 kN/m² aangehouden worden (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, Grafieken en Tabellen voor beton gebaseerd op de Europese Normen voor Ontwerp, Materiaal en Uitvoering, 2013). Omdat er gerekend wordt met een belasting van 100 kN/m², is deze 3 kN/m² niks in vergelijking hierbij en wordt er dus om deze reden niet naar deze veranderlijke belasting gekeken.

18. Bijlage Programma van Eisen

Dit hoofdstuk zal verdergaan op het hoofdstuk “6. Programma van Eisen”.

18.1 Functionele eisen

In dit hoofdstuk zullen de functionele eisen die aan de roro-voorziening gesteld worden besproken.

De roro-voorziening zal gebruikt worden voor het verplaatsen van modules vanaf het terrein van ASK Romein, naar een ponton die in de Kraaijerhaven ligt. Om hieraan te volstaan zal de roro-voorziening aan een aantal functionele eisen moeten voldoen:

- De roro-voorziening moet vrij zijn van obstakels
- De roro-voorziening dient genoeg draagkrachtvermogen te hebben om de lasten te kunnen te dragen
- De roro-voorziening zal vlak zijn zonder een helling. De roro-voorziening zal daarom op hetzelfde niveau gelegd worden als het maaiveld van ASK Romein van NAP +5 m.
- De roro-voorziening zal niet gebruikt worden voor het afmeren. De bolderpalen worden gebruikt als afmeervoorziening
- De roro-voorziening zal een afmeting krijgen van 40 bij 30 m. Hiernaast moet de roro-voorziening instaat zijn uitgebreid te kunnen te worden in de breedte
- De roro-voorziening zal niet voorzien worden van een waterleiding, hydranten en blusmiddelen
- De roro-voorziening zal niet voorzien worden van verlichting
- De roro-voorziening zal voorzien worden van een houten fendering als bescherming
- De roro-voorziening zal voorzien worden van signaal gele drenkelingenladders

18.2 Technische eisen

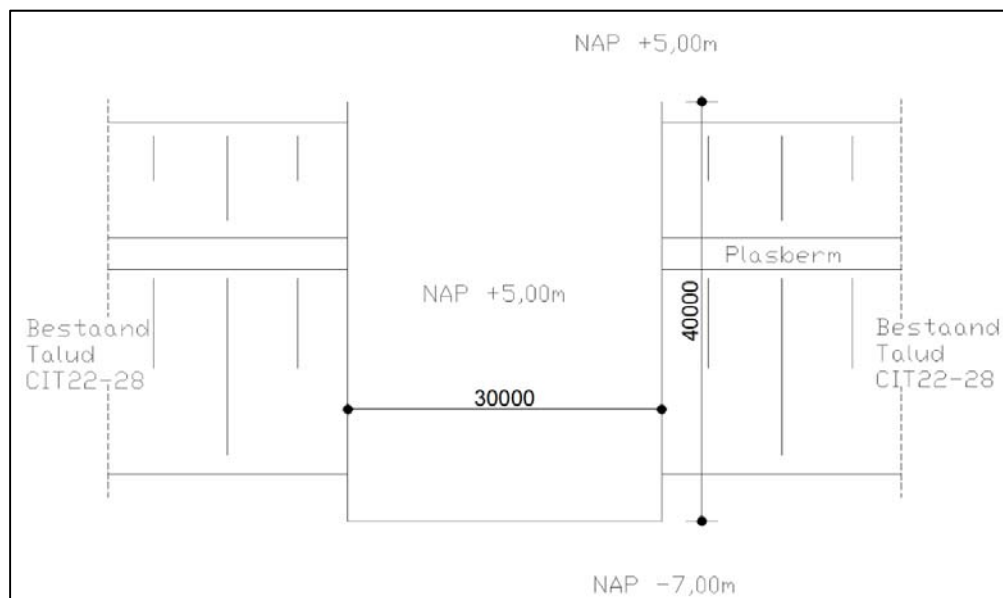
In dit hoofdstuk zullen de technische eisen aan de roro-voorziening besproken worden. Hierbij zal er gekeken worden naar de eisen vanuit de opdrachtgever, de nautische eisen vanuit North Sea Ports, de onderhoud en beheer eisen vanuit North Sea Ports, de terreingebruik eisen vanuit North Sea Ports, de technische eisen aan beton en de technische eisen aan damwandconstructies.

18.2.1 Eisen vanuit de opdrachtgever

ASK Romein heeft eisen opgesteld aan de roro-voorziening, Hieronder zijn de gestelde eisen vanuit ASK Romein ondergebracht in bij elkaar horende groepen.

18.2.1.1 Locatie en afmetingen

- De roro-voorziening dient geplaatst te worden op de aangegeven locatie van de situatietekening zoals te zien is op figuur 6 in "5.1.1 Locatie roro-voorziening"
- Lengte van de roro-voorziening zal 40 meter bedragen
- Breedte van de roro-voorziening zal 30 meter bedragen
- De roro-voorziening moet instaat zijn verlengd te kunnen te worden in de breedte
- De roro-voorziening dient dezelfde hoogte te hebben als het terrein van ASK Romein van NAP +5 m
- De roro-voorziening dient ontworpen te worden op een ontwerpdiepte van NAP -12 m
- Het talud van de Kraaijerthaven bedraagt 1:3. In figuur 29 is een schets te vinden met de afmetingen en hoogtes volgens dwarsprofiel Kraaijerthaven CT 22-28



Figuur 29, Afmetingen roro-voorziening en hoogtes volgens Dwarsprofiel CT 22-28

18.2.1.2 Belastingen

- De bovenbelasting bedraagt 10 ton/m²
- De roro-voorziening moet instaat zijn een AC700 telescoopkraan van Sarens te kunnen te dragen. Deze telescoopkraan maakt gebruik van vier stempels. De maximale stempeldruk van deze kraan bedraagt 200 kN/m². De afmetingen van het stempelschot zijn 4,2 x 2,4 meter, waardoor er een stempeldruk van 2016 kN optreedt. De gegevens van de AC700 telescoopkraan zijn te vinden in figuur 22 van “17.3.4.2 Kraan belasting”
- De modules zullen verplaatst worden door gebruikt te maken van een SPMT. De SPTM's zijn 2,43 x 8,4 m, waardoor ze een oppervlakte van 20,4 m² hebben. Een SPTM is instaat om 30 t/m 43.5 ton/as te dragen. Er wordt uitgegaan van de zwaarst mogelijke belasting van 43.5 ton/as. Deze SPTM's hebben een breedte van 2.43 meter, dit betekent dat ze een belasting van (43.5 / 2.43 =) 18 ton/m² kunnen dragen
- Bij de overgang van roro-voorziening naar ponton zullen roro-kleppen gebruikt worden met een lengte van 6 meter en met een gewicht van 3 ton
- De bolders moeten instaat zijn de trosbelasting van 300 kN op te vangen
- De roro-voorziening dient berekend te worden op de mogelijkheid van een aanvaring van zowel het binnenvaartschip als het ponton

18.2.1.3 Afmeervoorziening

- De roro-voorziening moet voorzien worden van dubbele bolders h.o.h. 25 meter h.o.h. 2 meter
- Bolders mogen niet achter de roro-voorziening geplaatst worden, waardoor bolderkrachten verdwijnen van de roro-voorziening
- Bodembescherming is niet nodig, er zal een ontgrondingskuil van maximaal 2 meter mogen optreden

18.2.1.4 Levensduur

- De roro-voorziening moet een levensduur van 50 jaar hebben

18.2.1.5 Indien er gekozen wordt voor een damwandconstructie

- De anodes dienen een levensduur van 15 jaar te krijgen
- De deksloof dient in beton uitgevoerd te worden
- De deksloof van de damwandconstructie dient instaat te zijn de kraanbelasting te kunnen te dragen
- Er mogen geen strengankers toegepast worden

18.2.2 Nautische eisen vanuit North Sea Ports

Vanuit North Sea Ports zijn een aantal nautische eisen gesteld aan de roro-voorziening:

- Er dient geen rekening gehouden te worden met de ISPS⁽⁹⁾ eisen
- Waterleiding, hydranten en blusmiddelen zijn niet voorzien in de huidige kade en hoeven ook niet aangebracht te worden in de roro-voorziening
- Op de roro-voorziening komt een stroomaansluiting
- Het ponton zal afmeren door gebruik te maken van de zes bolderpalen in het water en de vier landbolders
- De roro-voorziening dient te worden voorzien van houten fendering
- Haalpenen voor binnenvaartschepen hoeven niet toegepast te worden
- De roro-voorziening hoeft niet te worden voorzien van verlichting

18.2.3 Onderhoud en beheer eisen vanuit North Sea Ports

Vanuit North Sea Ports zijn een aantal onderhoud en beheer eisen gesteld aan de roro-voorziening:

- Kathodische bescherming tegen corrosie, nieuwe onderdelen (alleen kleine + demontabele onderdelen) dienen thermische verzinkt te worden
- Er is geen bodembescherming nodig. Er moet rekening gehouden worden met maximale ontgrondingskuilen van 2 meter
- Eventuele verwijderde bestorting van het talud dient hersteld te worden
- Dekslhof voorzien van bescherming aan de achterzijde en voorzijde kaderand, deksloof van beton
- Aanbrengen drainage achter de kademuur. De drainage dient voorzien te worden van een doorspuitvoorziening
- Drenkelingenladders h.o.h 30 meter. Voorzien van gele coating (signaalgeel). Ladders aanbrengen tot 1 meter onder LAT. Bolderpalen dienen ook van drenkelingenladders te worden voorzien

18.2.4 Terreingebruik eisen vanuit North Sea Ports

Vanuit North Sea Ports zijn een aantal terreingebruik eisen gesteld aan de roro-voorziening:

- Belasting van 10 ton/m²
- Belasting door eventueel gebruik van SPTM's. Bij gebruik van SPTM's dient tevens gebruik gemaakt te worden van roro-kleppen
- Afwatering van de roro-voorziening naar landzijde. Water opvangen in de bestaande hemelwaterafvoervoorzieningen
- Indien mantelbuizen toegepast worden, rond 160 mm
- Hoogte roro-voorziening NAP +5 m

18.2.5 Technische eisen aan beton

De eisen aan het beton zijn conform de norm: Eurocode 2 (Braam & Dees, Compendium Eurocode 2, 2008)

18.2.6 Technische eisen aan damwandconstructies

De eisen aan de damwandconstructie zijn conform richtlijn: CUR 166 Damwandenconstructies (CURNET, 2012) (CURNET, 2012)

⁽⁹⁾ International Ship Ports Security (North Sea Port, sd)

19. Bijlage varianten studie

Dit hoofdstuk zal verdergaan op het hoofdstuk "7. Varianten studie".

19.1 Steiger

De eerste variant is een steiger als roro-voorziening. Een steiger is mogelijk, maar dit zou een minder economische oplossing kunnen zijn gezien de hoge belastingen. De steiger zal vrije grote dimensies krijgen om instaat te zijn om te gaan met deze hoge belastingen.

19.1.1 Onderdelen van een steiger

De steiger is onder te verdelen in drie onderdelen:

- Dek
- Balk
- Funderingspalen

19.1.2 Mogelijke materiaal soorten

Voor de steiger variant kan er gebruik gemaakt worden van verschillende soorten materialen

- Hout
- Beton
- Staal
- Kunststof
- Aluminium

19.1.2.1 Hout

Hout is een optie om te gebruiken als materiaalkeuze voor de steiger. Alleen zal er dan wel gebruik gemaakt moeten worden van tropische hardhout om instaat te zijn de hoge belastingen te dragen. Hout zou toegepast kunnen worden voor zowel het dek, de balken en de funderingspalen. Het probleem van tropische hardhout is dat het erg duur is. Zou er gekozen worden om de roro-voorziening uit te voeren in hout, dan zullen de kosten voor de steiger vrij hoog zijn. Tevens is er geen onderhoud mogelijk aan het hout, want als een houten balk vervangen moet worden, zou dat betekenen dat een deel van de steiger gedemonteerd moet worden voordat de betreffende balk vervangene kan worden. De stalen verbindingpunten zijn wel te onderhouden.

Voordelen	Nadelen
Bestand tegen hoge belastingen (tropische hardhout)	Duur
	Onderhoud verbindingen intensief
	Beperkte levensduur
	Arbeidsintensief

Tabel 57, Voordelen en nadelen van hout

19.1.2.2 Beton

Beton is goed instaat om te gaan met hoge belastingen en zou daarom ideaal zijn in verband met de hoge belastingen op de steiger. Beton is een relatief goedkoop materiaal en onderhoud is niet noodzakelijk. Er kan gekozen worden om gebruik te maken van prefab beton voor het dek, de balken en de funderingspalen, Alleen zal er dan bovenop het dek en de balken een druklaag in het werk gestort nog moeten worden. Voor de funderingspalen is er alleen wel een grens. De maximale afmetingen van prefab beton palen bedraagt 500 x 500 mm met een maximale lengte van 36 m. Ook moet er gekeken worden of dat het moment bij de aansluiting van de funderingspalen bij de balken niet te groot zijn. Zouden deze te groot worden, dan is de prefab funderingspaal niet meer instaat dit op te nemen.

Voordelen	Nadelen
Bestand tegen hoge belastingen	Beperkte afmetingen funderingspalen
Goedkoop	
Geen onderhoud	

Tabel 58, Voordelen en nadelen van beton

19.1.2.3 Staal

Staal is net als beton goed instaat om te gaan met de hoge belastingen en zou daarom ook ideaal zijn in verband met de belastingen op de steiger. Staal kan toegepast worden voor zowel het dek, de balken en de funderingspalen. Het nadeel van staal is dat het duur is en dat het zal gaan corroderen. Om het dek en de balken van de steiger uit te voeren in staal zal een te duren optie zijn. Funderingspalen zouden wel in staal uitgevoerd kunnen worden in de vorm van stalen buispalen. Het voordeel van stalen buispalen is dat als het moment bij de verbinding tussen de funderingspalen en de balk te groot worden, deze opgenomen kunnen worden door de stalen buispalen. Doordat staal corrodeert zal er onderhoud gepleegd moeten worden. Om corroderen tegen te gaan zullen er anodes toegepast moeten worden. Deze zullen om de 15 jaar vervangen moeten worden.

Voordelen	Nadelen
Bestand tegen hoge belastingen	Duur
Kan goed omgaan met grote momenten	Onderhoud
Toe te passen bij grote dieptes	Spreiding lokale pieklasten op het dek. Veel verstijvingen noodzakelijk

Tabel 59, Voor en nadelen van staal

19.1.2.4 Kunststof

Steigers worden ook uitgevoerd in kunststof, alleen zijn dit steigers voor de pleziervaart en niet met industriële functies. Er zou wel een kunststof laag op het dek aangebracht kunnen worden om het dek te beschermen tegen chemische middelen (Dubbelman, sd). Omdat het hier om offshore modules gaat zijn er geen chemische middelen aanwezig. Om deze reden zal er niet gekeken worden naar de mogelijkheid om kunststof toe te passen voor de steiger.

19.1.2.5 Aluminium

Steigers worden ook uitgevoerd in aluminium, alleen zijn dit steigers voor de pleziervaart en niet met industriële functies. Als andere metalen (behalve zink en magnesium) in de constructie zijn verwerkt zal dit leiden tot een galvanische corrosie⁽¹⁰⁾ omdat aluminium laag staat op de lader van onedele metalen (Vaders, 2014). Om deze reden zal er niet gekeken worden naar de mogelijkheid om de steiger uit te voeren in aluminium.

⁽¹⁰⁾ Bevestigde metalen worden blootgesteld aan neutrale elektrolyt (Vaders, 2014)

19.1.2.6 Keuze materiaal

Zoals al eerdergenoemd zal er niet gekeken worden naar kunststof en aluminium. Dat betekent dat hout, beton en staal overblijven. De keuze is gemaakt om alleen te kijken naar beton en staal. Voor het dek en de balken zal er alleen maar beton gebruikt worden, omdat als hier staal voor gekozen zal worden de kosten te hoog zullen gaan worden. Voor de funderingspalen zal er zowel naar beton en staal gekeken worden. Er zal niet naar hout gekeken worden omdat tropische hardhout nodig is, is dit een te dure oplossing is.

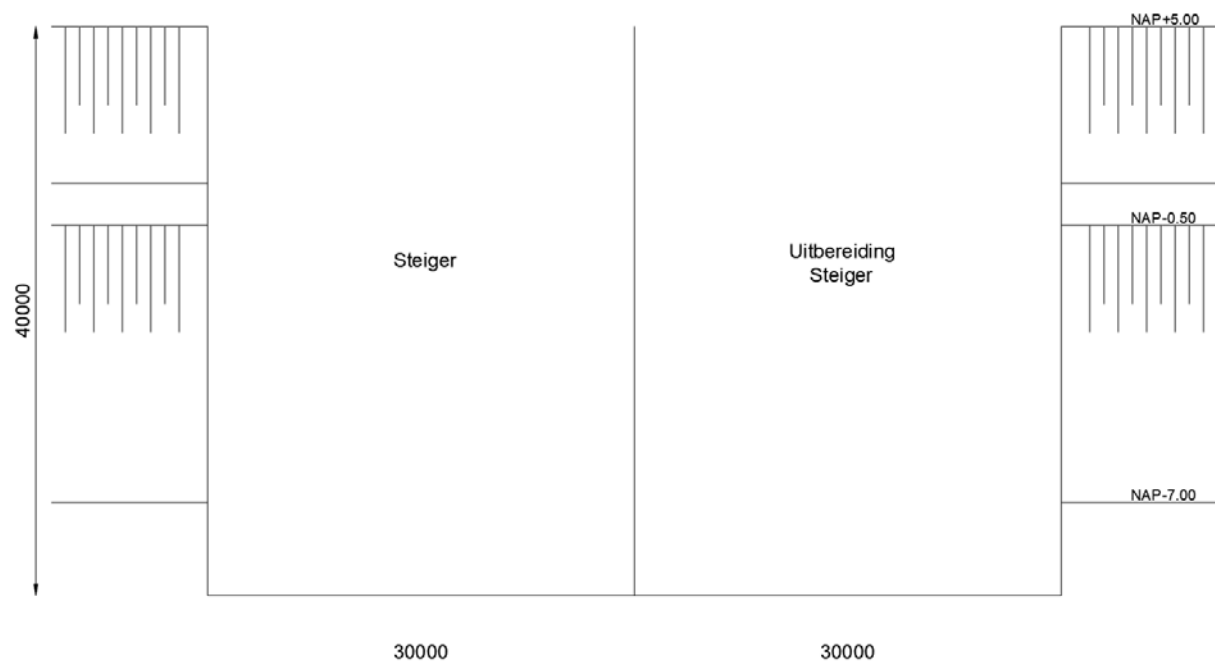
19.1.3 Geometrie

Er kan een keuze gemaakt worden om de balken in langsrichting of in dwarsrichting te plaatsen. De overspanning in zowel de langsrichting als de dwarsrichting zijn te groot om de balk als één geheel te plaatsen, dus er zullen natte knopen gebruikt moeten worden. Het voordeel van langsrichting is dat bij eventuele aanvaring met de steiger de normaalkracht makkelijk opgevangen kan worden door de balken. Het voordeel van dwarsrichting is dat er minder natte knopen nodig zijn.

Tevens is de h.o.h. afstand van de balken bepalend voor de h.o.h. afstand van de palen. Als de h.o.h. afstand van de balken groter worden, dan zal de h.o.h. afstand van de palen onder de balken kleiner worden om de oplegreactie op de palen te bepreken tot aanvaardbare waarden, dus zullen er meer palen nodig zijn om deze oplegreactie op te vangen. De h.o.h. afstand van de palen wordt bepaald door de equivalente diameter⁽¹¹⁾ (D_{eq}) van de palen en het draagvermogen van de palen.

19.1.4 Uitbreiding in de breedte

ASK Romein had de eis gesteld dat het mogelijk moet zijn de roro-voorziening in de toekomst uit te breiden in de breedte richting. Bij een steiger is dit vrij eenvoudig te realiseren, want je plaatst er een tweede steiger naast als uitbreiding zoals te zien is op figuur 30. Er zal alleen een dilatatievoeg tussen de twee steigers aangebracht moeten worden.



Figuur 30, Uitbreiding van de steigervariant

⁽¹¹⁾ De diameter van een cirkelgevormde paal die dezelfde weerstand biedt als een rechthoekige vormde paal (Admiraal, et al., 2000)

19.1.5 Alternatief in balken

De h.o.h. afstand kan gezien worden als een alternatief. De h.o.h. afstand is zoals eerdergenoemd een maatgevende maat voor de roro-voorziening, dit omdat de h.o.h. afstand van de balken ook bepalend zijn voor de h.o.h. afstand van de palen.

Als startwaarden zal er een h.o.h. afstand van 5 m voor de balken aangehouden worden. Hierdoor zullen er in totaal 9 balken nodig zijn. Het gebruik van balken is duur, omdat er relatief veel betonstaal in balken zitten, door de dwarskarachtswapening, plus het intensieve werk om alle verbindingen te maken in het werk.

Een ander alternatief is de richting van de balken. Zo kan er voor de dwarsrichting of de langsrichting gekozen worden zoals eerder besproken is.

Er is gekozen om de balken in dwarsrichting te leggen, omdat dan minder natte knopen nodig zijn. Het opvangen van een eventuele aanvaringen zal gedaan worden door een remmingswerk die voor de steiger wordt geplaatst.

19.1.6 Alternatief in funderingspalen

Er zijn twee mogelijkheden in de funderingspalen. Er kan gekozen worden voor betonnen palen. Of er wordt gekozen voor stalen buispalen.

Er wordt in principe gekozen voor betonnen funderingspalen, omdat deze relatief goedkoop zijn en geen onderhoud nodig hebben. Als blijkt dat het moment bij de aansluiting van funderingspaal naar balk te groot is, zullen er stalen buispalen toegepast worden omdat deze wel het moment kunnen opnemen.

19.2 Damwandconstructie

De tweede variant is een damwandconstructie als roro-voorziening. Een damwandconstructie zou een goede mogelijkheid kunnen zijn omdat een deze goed instaat is om te gaan met de grote belastingen.

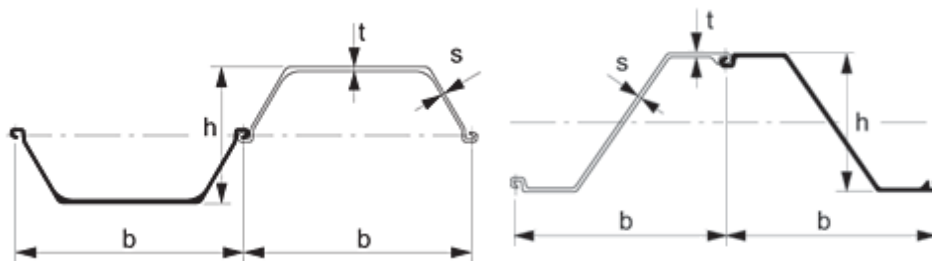
19.2.1 Onderdelen van een damwandconstructie

Een damwandconstructie is opgebouwd uit de volgende onderdelen:

- Kopwand
- Vleugelwand
- Ankers
- Gordingen
- Deksluif

19.2.2 Kopwand en vleugelwand

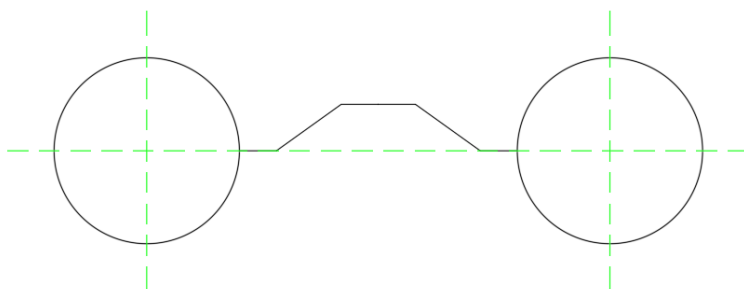
Voor zowel de kopwand als de vleugelwand kunnen damwanden gebruikt worden. Deze zijn te verkrijgen in Z-profielen en U-profielen die te zien zijn in figuur 31. Vaak wordt er gekozen voor Z-profielen in plaats van U-profielen voor een damwandconstructie. Dit komt omdat bij gebruik van U-profielen scheve buiging kan optreden (CURNET, 2012).



Figuur 31, U-profiel links en Z-profiel rechts (ArcelorMittal, sd)

Als de belasting en de kerende hoogte te groot worden, volstaat een damwand niet meer. Dan zal er een combiwand toegepast moeten worden. Een combiwand is een samenstelling van stalen buispalen met tussenplakken bestaande uit damplanken zoals te zien is in figuur 32. Bij een combiwand wordt de belasting opgenomen door de buispalen. De tussenplanken zijn er alleen om het grondmassief achter de combiwand te keren, deze zullen zelf geen belastingen op nemen.

De voordelen van een combiwand is de mogelijkheid om grote belastingen te kunnen te dragen. Een nadeel voor zowel de combiwand als de damwand is dat ze duur zijn omdat ze van staal zijn en een ander nadeel is dat corrosie zal optreden. Er zal dus onderhoud gepleegd moeten worden in de vorm van het aanbrengen van anodes. Omdat anodes alleen werken onder water, zal de damwand ook voorzien moeten worden van een coating tegen de corrosie.



Figuur 32, Combiwand bestaande uit buispalen en tussenplanken (2x Z-profiel)

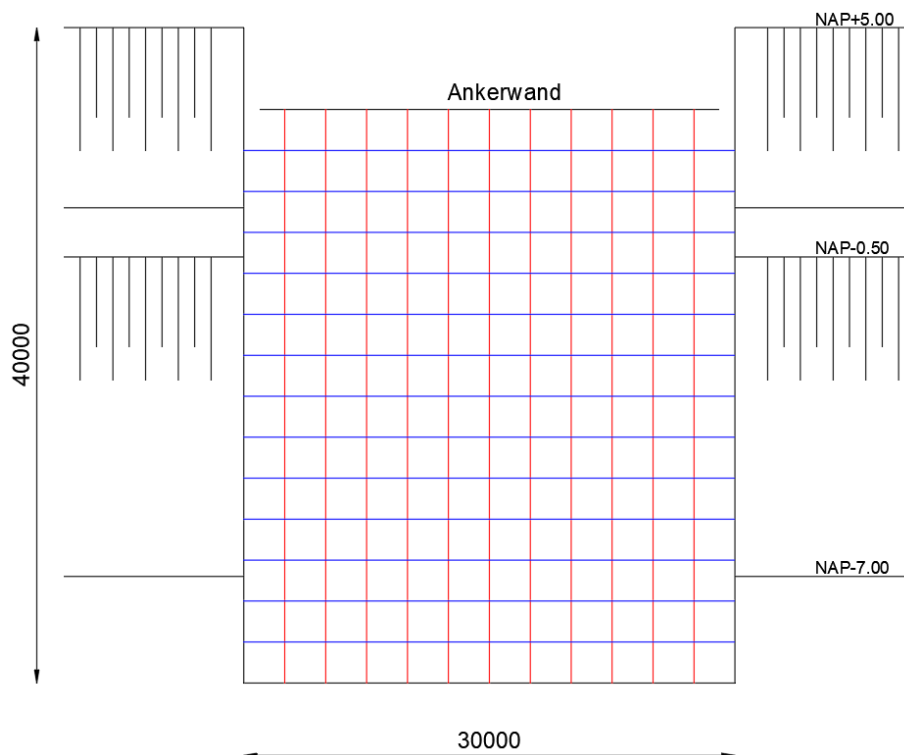
De vleugelwand zou ook nog uitgevoerd kunnen worden als een betonnen keerwand. Het voordeel hiervan is dat beton goedkoper is dan staal en er geen onderhoud nodig is. Het nadeel hiervan is de verbinding van damwand naar betonnen keerwand. De betonnen keerwand en de damwand hebben beide een andere zettingspatroon. Dit komt omdat de betonnen keerwand vele malen zwaarder is dan een damwand en hoger gefundeerd is, zal deze sneller zetten. Doordat de betonnen keerwand sneller zet dan de damwand, zal de betonnen keringswand als het ware aan de damwand gaan hangen, waardoor de damwandconstructie extra belast wordt.

19.2.3 Ankers

Er zijn verschillende soorten ankers mogelijk voor het verankeren van een damwandconstructie. Een eis vanuit de opdrachtgever was, dat het toepassen van strenganker niet toegestaan is. De reden hiervoor zal waarschijnlijk zijn, omdat strenganker nogal gevoelig zijn en er veel verkeer kan gaan bij het aanbrengen, waardoor de kans groot is dat nieuwe strengankers geplaatst moeten worden. Om deze reden vallen strengankers af.

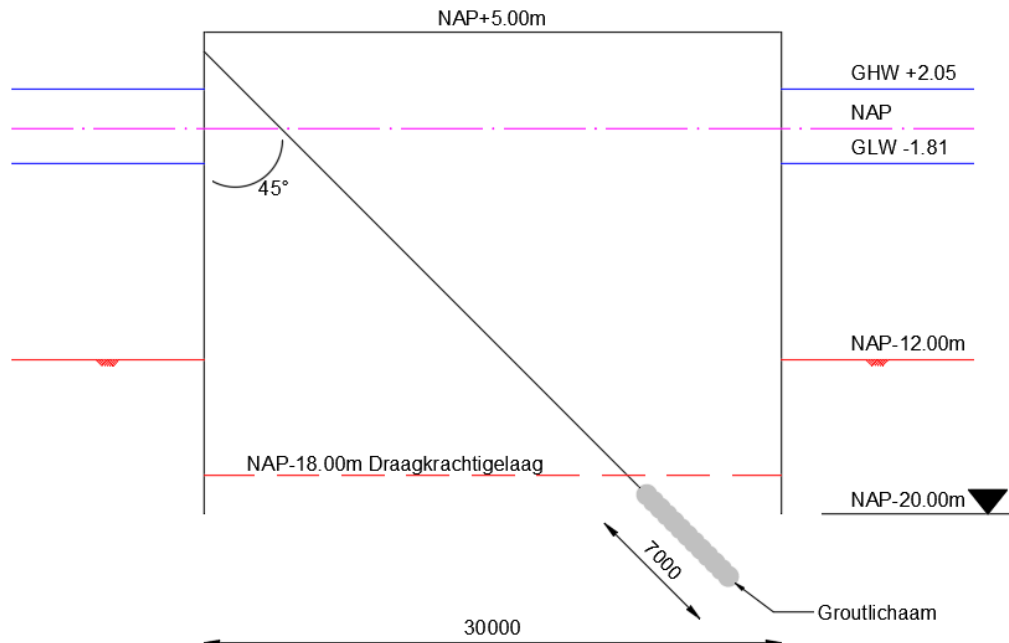
Legankers zouden in deze situatie een zeer goede oplossing kunnen zijn om toe te passen als verankering omdat er twee vleugelwanden zijn kan daartussen gemakkelijk legankers geplaatst worden. De kopwand kan ook op deze manier verankerd worden, alleen zal er dan een ankerwand geplaatst moeten worden. Dit is een damwand aan de achterzijde van de kopwand, buiten het afschuifvlak van de kopwand. Deze damwand zal gebruikt worden om de legankers aan te bevestigen voor de verankering van de kopwand zie figuur 33.

Het voordeel van legankers is dat ankers elkaar niet doorkruizen en leganker zijn niet afhankelijk van het een goede grondlaag. Een nadeel van een leganker is dat voor de kopwand een aparte damwand geplaatst moet worden voor de verankering van de kopwand.



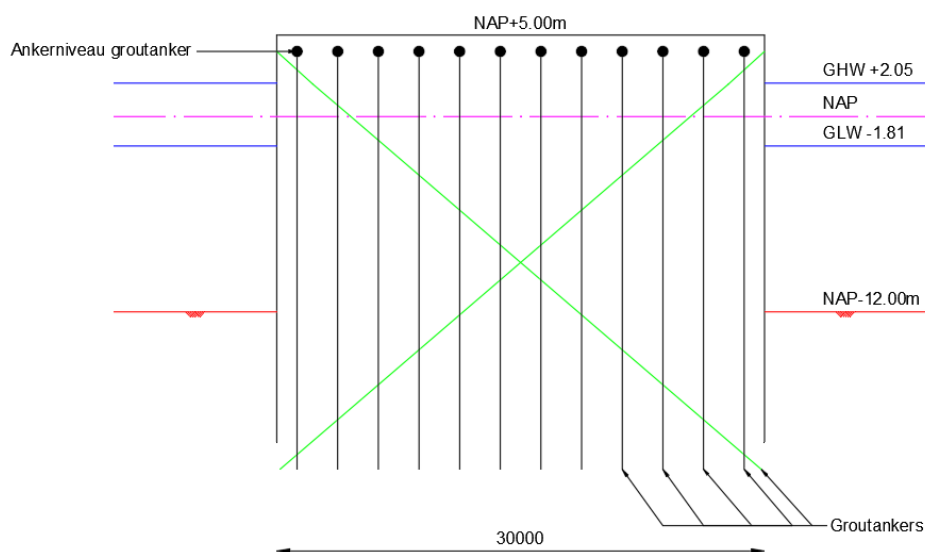
Figuur 33, Toepassen van legankers (rood: legankers kopwand, blauw: legankers vleugelwand)

Een andere optie zou het gebruik van groutankers kunnen zijn. Een groutanker wordt onder een hoek aangebracht. De ankerkracht van een groutanker wordt bepaald door de houdkracht van het groutlichaam. Als eerste zal er gekeken moeten worden of dat groutanker überhaupt toegepast kan worden vanwege de beperkte ruimte. Als er uitgegaan wordt van een standaard aanbrenghoek van 45° dan zou het uiteinde van het groutanker lager moeten zitten dan het aanbrengniveau van de damwandprofielen zie figuur 34. Dit kan pas zeker gezegd worden als de aanbrengdiepte van de damwandprofielen bepaald zijn met een D-Sheet berekening.



Figuur 34, Grout anker wel of niet mogelijk

Groutankers werken alleen in een zandlagen. Het voordeel is dat op deze locatie veel zandlagen aanwezig zijn, dus zou een groutanker genoeg ankerkracht kunnen creëren. De nadelen van een groutanker zijn dat ze elkaar gaan doorkruizen, omdat je hier een beperkte ruimte hebt zal het lastig worden om alle groutanker hier kwijt te kunnen zoals te zien is in figuur 35.



Figuur 35, Dwarsdoorsnede met kruisende groutankers (Zwart: ankers kopwand, Groen: ankers vleugelwand)

19.2.4 Gordingen

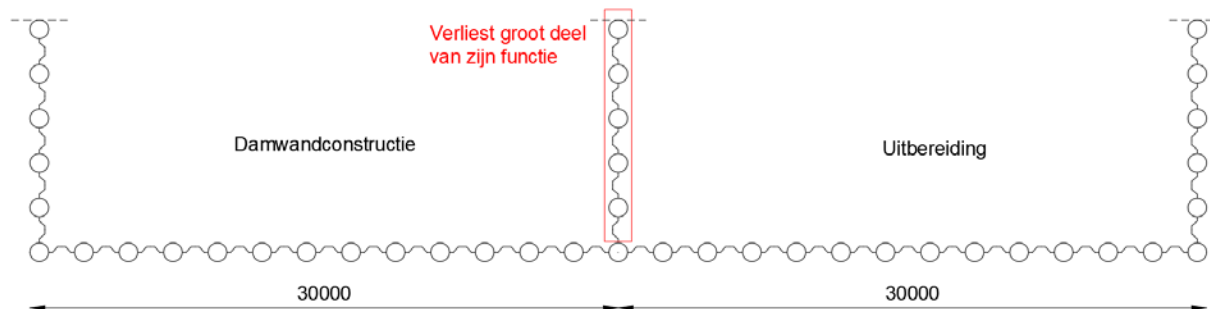
Een gording zorgt voor de overdracht van krachten tussen de damwand en ankers. Een gording kan zowel in staal als in beton uitgevoerd worden. Een voorbeeld van een stalen gording is een HEB. Het voordeel van een betonnen gording is dat deze goedkoper is dan een stalen gording. Een voordeel van een stalen gording is dat deze makkelijk te monteren is door ze te lassen aan de damwandprofielen.

19.2.5 Dekvloof

Een eis van zowel de opdrachtgever als vanuit North Sea Ports, was dat de deksloof uitgevoerd moest worden in beton.

19.2.6 Uitbreiding in de breedte

Dit kan gedaan worden door een slot op de laatste buispaal of damwand te zetten, waar later de uitbreiding op verder gebouwd kan worden. Alleen zit er een nadeel aan, want als de damwandconstructie uitgebreid wordt, betekent dit dat de vleugelwand verloren gaat. Omdat staal duur is, is het zonde om dit in de grond te laten te zitten, maar zou je dit verwijderen, dan zal de reeds eerder geplaatste damwandconstructie instabiel worden, dus is dit niet mogelijk. Dit is terug te zien in figuur 36.



Figuur 36, Verlies van de vleugelwand bij uitbreiding in de breedte

19.2.7 Alternatief in de damwand

Bij de damwand kan er gekozen worden tussen het gebruik van Z-profielen of U-profielen. Omdat bij U-profielen scheve buiging kan ontstaan zal er gekozen worden voor Z-profielen. Wanneer de belasting en de kerende hoogte te groot worden voor de damwand, zal er gebruik gemaakt gaan worden van een combiwand.

Er zal geen betonnen keerwand toegepast worden. De reden hiervoor is het verschil in zettingspatroon waardoor de betonnen keerwand aan de damwand zal gaan hangen, waardoor een extra belasting ontstaat.

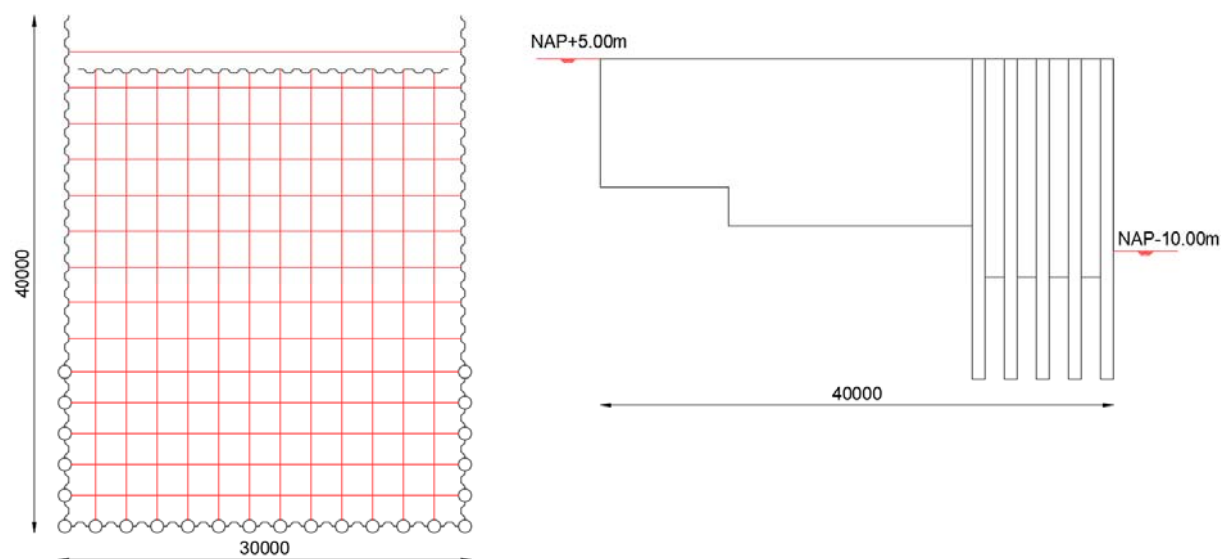
De ruimte tussen de damwanden zal opgevuld worden met schoon zand, omdat schoon zand goed te verdichten en er geen nazetting meer zal optreden na een goede verdichting.

19.2.8 Alternatief in het anker

Bij de ankers kan er gekozen worden voor legankers of groutankers. Er zal gekozen worden voor legankers omdat bij groutankers de kans reëel is dat er te weinig ruimte is om alle groutankers kwijt te kunnen

19.2.9 Alternatief in de gording

Bij de gordingen kan er gekozen worden tussen stalen en betonnen gordingen. Er zal gekozen worden voor stalen gordingen. De reden hiervoor is omdat stalen gordingen in dit geval makkelijk te monteren zijn, omdat er damwanden worden toegepast is het mogelijk de gording vast te lassen aan de damwand.



Figuur 37, Schets variant 2

19.3 Caisson

De derde variant is een caisson als ro-ro-voorziening. Om een caisson te plaatsen zal er gekeken moeten worden naar het talud, om plaats te maken voor de caisson. Naast alleen een caisson zal er ook een deel in het werk gestort worden.

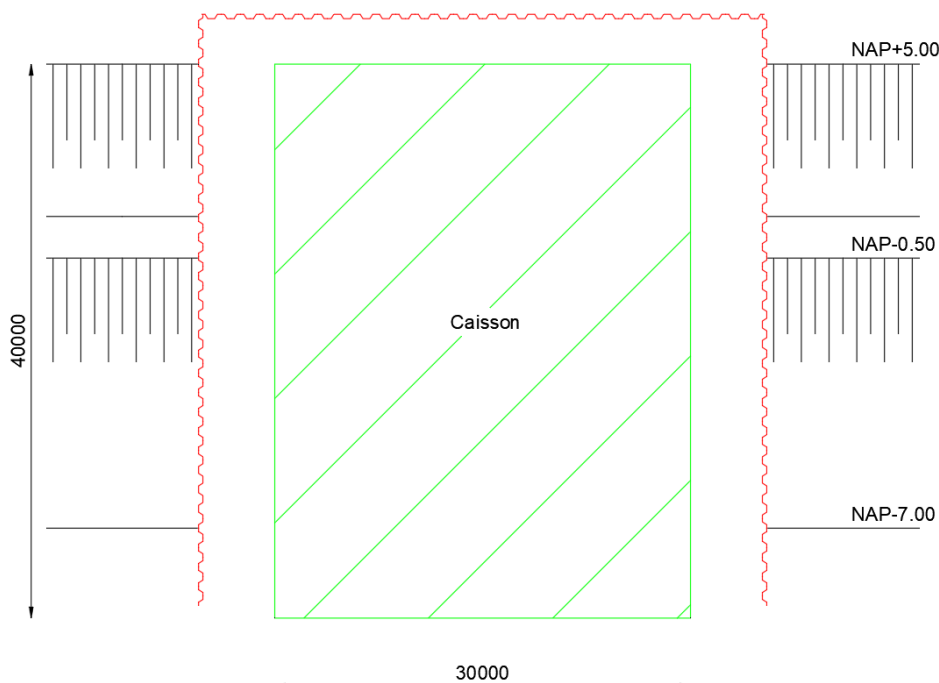
19.3.1 Bouwen van een caisson

Als een caisson gebuikt zal gaan worden als ro-ro-voorziening houdt dat in, dat er een dok⁽¹²⁾ nodig is om de caisson in te fabriceren. Hierdoor zal de caisson niet op locatie gebouwd kunnen worden, waardoor transport nodig is. Het nadeel van een caisson is dus dat je dok en transport nodig hebt. Er zal gekeken moeten worden waar een dok zich bevindt voor de bouw van de caisson. Om deze reden is een caisson een dure oplossing om toe te passen. Het voordeel van een caisson is dat het goed instaat is om te gaan met de grote belastingen.

19.3.2 Het talud

Om de caisson te plaatsen zal een deel het huidige talud verwijderd moeten worden om een vlakke ondergrond te creëren voor de caisson. Het verwijderen van het talud kan niet zomaar gedaan worden omdat dan het gehele talud instabiel wordt en er een gevaarlijke situatie ontstaat voor het achterliggende land. Daarom zal het deel van het talud dat weggehaald moet worden voor de plaatsing van de caisson, afgesloten worden door een tijdelijke damwand zoals te zien is in figuur 38. Op deze manier zal de ruimte tussen de damwand gevuld worden met water uit de haven, waardoor het mogelijk wordt de caisson op zijn plaats te krijgen.

De nadelen zijn dat het talud afgegraven moet worden, waardoor een instabiele situatie kan voorkomen. Die kan opgelost worden door een tijdelijke damwand. Er zal een steenslagbed onder de caissons geplaatst moeten worden om een goede ondergrond te creëren. Het kost veel materiaal om dit te realiseren.



Figuur 38, Talud afgraven voor het plaatsen van de caissons

⁽¹²⁾ Een bassin dat vol of leeg gepompt kan worden, voor de bouw van schepen en offshore constructies

19.3.3 Werk op locatie

Zoals hiervoor al genoemd was moet het talud afgegraven worden om een vlakke ondergrond te creëren voor de caissons. Bij het afzinken van de caissons zal de bovenkant van de caisson niet op NAP + 5m komen te liggen. Dit zal op hoogte gebracht worden door op locatie een balk in het werk te storten aan de randen van de caisson, zodat men er zeker van is dat de bovenkant van de caissons op NAP +5 m.

De ruimtes tussen de in het werk gestorte betonnen balken zal opgevuld worden met schoonzand, omdat schoonzand geen nazetting meer heeft en goed instaat is de hoge belastingen daarom te dragen. Daarnaast zullen ook de caissons gevuld moeten worden met zand om deze op hun plek te houden.

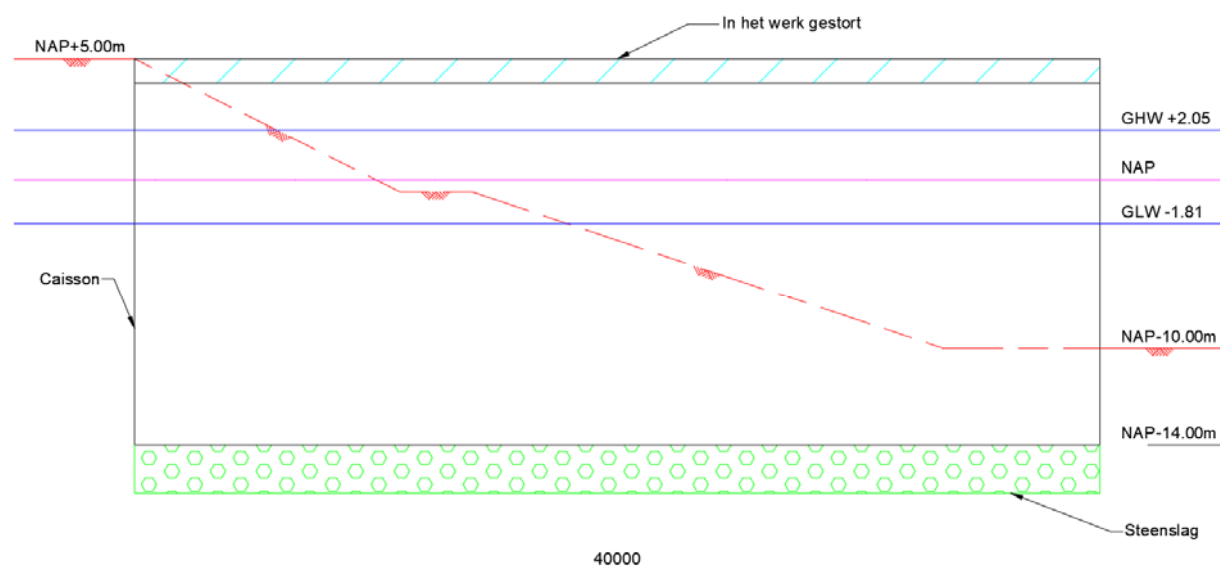
19.3.4 Uitbreiding in de breedte

Uitbreiding is goed te doen bij deze variant omdat er bijna geen verlies is van de dan bestaan de roro-voorziening. Alleen een in het werk gestorte balk zal verloren gaan. Wederom het aanleggen van de caisson brengt veel werk en kosten met zich mee.

19.3.5 Caisson variant

Het talud zo maar afgraven is niet mogelijk in verband met stabiliteit van het talud. Bovenop de caisson zal een opstort gemaakt worden om er zeker van te zijn dat de roro-voorziening op de juiste hoogte ligt van NAP +5 m.

Dus de voordelen zijn dat een caisson de hoge belastingen makkelijk kan dragen en dat ze uit beton bestaan dus relatief goedkoop zijn. De nadelen zijn dat de caisson niet op locatie gebouwd kunnen worden en transport nodig is, het bestaande talud moet helemaal aangepast worden en er zal een tijdelijke hulpconstructie geplaatst moeten worden.



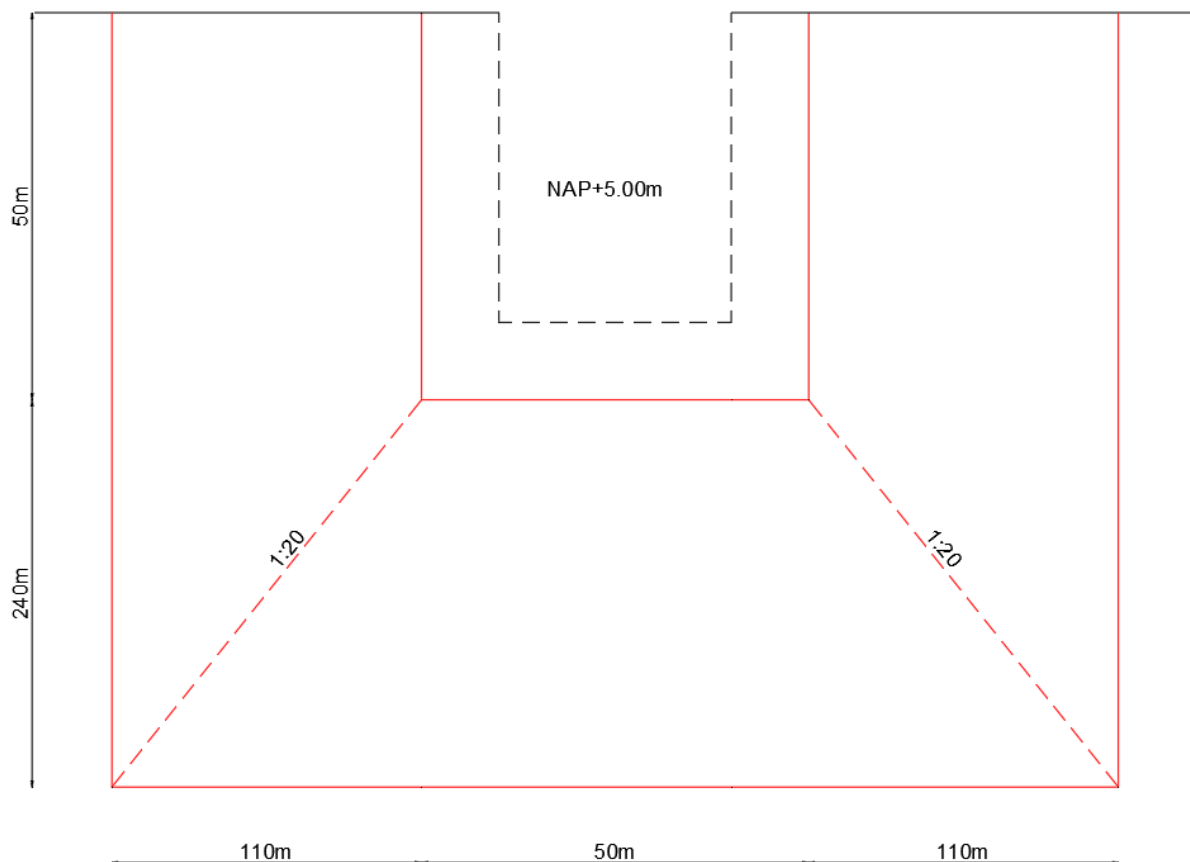
Figuur 39, Schets variant 3

19.4 Diepwanden

De vierde variant is het plaatsen van een diepwand. Voordat er een diepwand geplaatst kan worden zal er een werkterrein gemaakt moeten worden, doormiddel van zand op de plaats waar de roro-voorziening aan te brengen.

19.4.1 Zand opspuiten

Om een diepwand te plaatsen moet er land zijn om op te werken, omdat de roro-voorziening in het water staat moet er eerst zand geplaatst worden voordat de diepwanden geplaatst kunnen worden, dus er zullen eerst baggerwerkzaamheden uitgevoerd moeten worden. Om een werkterrein te krijgen dat groot genoeg is zal zijn voor het plaatsen van de diepwanden zal het werkterrein $\pm 50 \times \pm 50$ m plus het talud van $\pm 1:20$ groot zijn zoals te zien is in figuur 40.



Figuur 40, Opspuiten van zand voor een diepwand

$$50 \times 50 \times 12 = 30000 \text{ m}^3$$

$$110 \times 50 \times 5,5 = 30250 \text{ m}^3$$

$$0,5 \times 270 \times 240 \times 12 = 388800 \text{ m}^3$$

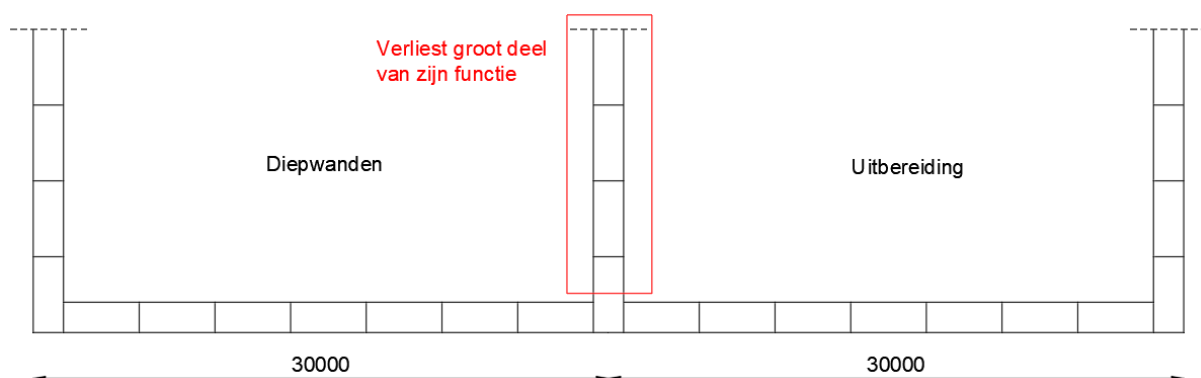
Dus er zal ongeveer 450000 m³ zand gedumpt moeten worden, voordat er begonnen kan worden met het plaatsen van de diepwanden. Dit is een groot nadeel van deze oplossing. Er moet eerst heel veel baggerwerk uitgevoerd moeten worden, waardoor de kosten enorm hoog worden. Een ander groot nadeel is dat de gehele haven volgegooid wordt met zand, waardoor de haven enorm veel overlast zal ondervinden en als de roro-voorziening klaar is moeten er wederom baggerwerkzaamheden uitgevoerd worden om het overtollige zand weg te halen.

19.4.2 Diepwand

Een diepwand is enorm goed instaat zeer hoge belasting op te nemen. De diepwanden zullen niet op hoogte gemaakt worden. De reden hiervoor is omdat diepwanden niet mooi vlak gemaakt worden, dus zal de laatste meters in het werk gestort worden om een mooie vlakke afwerking te krijgen. Het voordeel is daarom ook dat het goed kan omgaan met hoge belastingen.

19.4.3 Uitbreiding in de breedte

Als de diepwand uitgebreid zal moeten gaan worden in de breedte zal je wederom veel baggerwerkzaamheden krijgen en zal de haven weer overlast ondervinden. Daarnaast zal de dan bestaande roro-voorziening buiten gebruik moeten, waardoor ASK Romein stil komt te liggen. Tevens zal er veel verlies zijn van bestaande diepwanden zoals te zien is in figuur 41. Tevens zal de aansluiting van de nieuwe diepwand op de bestaande diepwand een problematische zijn, omdat deze moeilijk aan te brengen is.



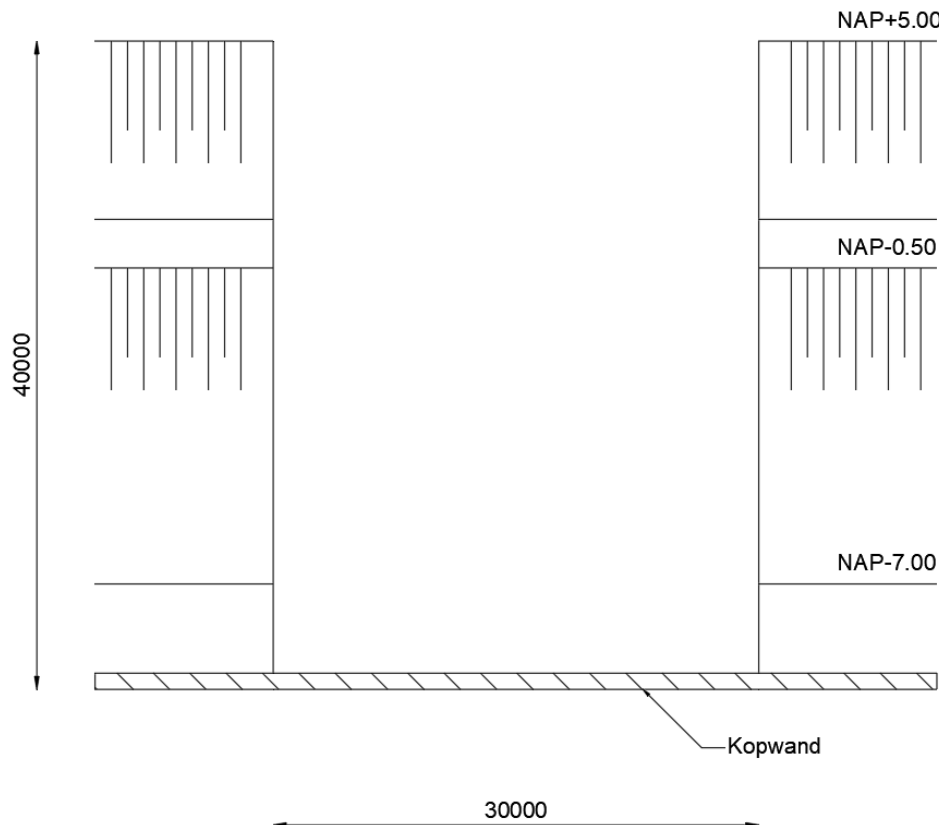
Figuur 41, Uitbreiding van de diepwand

19.4.4 Alternatief

Door het zeer grote nadeel van de benodigde baggerwerkzaamheden en de vele overlast voor de haven van Vlissingen-Oost zal de alternatief afvallen. Dit kan wel een goed alternatief zijn voor een haven in aanbouw, omdat er dan toch al baggerwerkzaamheden zijn en er geen overlast voor de haven gecreëerd kan worden. Of de haven moet nog gebaggerd worden, kunnen de diepwaden voorheen al op het land gemaakt worden.

19.5 Kopwand met talud

De vijfde variant is om alleen gebruik te maken van een kopwand als kademuur en tussen de kopwand en het terrein van ASK Romein een zandlichaam te plaatsen met aan weerszijde een talud zoals te zien is op figuur 42.



Figuur 42, Schets variant 5

19.5.1 Kopwand

Zoals te zien is op figuur 42 zal er allen een kopwand geplaatst worden. In verband met de diepte zal er een damwand constructie toegepast worden. Vanwege de hoge belastingen zal er een combiwand geplaatst worden met Z-profielen als tussen planken. Tevens zal er gekeken kunnen worden naar een verjonging van de kopwand, omdat ter hoogte van het talud de damwandconstructie minder lasten zal gaan ondervinden en minder grond hoeft te keren kan er volstaan worden met een damwanden in plaats van een combiwand.

19.5.2 Ankers

Zoals bij variant 2, damwandconstructie, zullen ook hier ankers toegepast moeten worden voor de kopwand. Er zijn twee mogelijkheden. Legankers of groutankers. Bij gebruik van legankers zal er een ankerwand geplaatst moeten worden achter de kopwand buiten het afschuifvlak van de kopwand. Voor groutankers moet er een zandlaag aanwezig zijn om in geplaatst te worden om genoeg ankerkracht te krijgen.

Het voordeel van legankers is dat de ankers niet afhankelijk van goede grondlaag. Een nadeel van een leganker is dat voor de kopwand een aparte damwand geplaatst moet worden voor de verankering van de kopwand.

Een groutankers werkt alleen in een zandlagen. Het voordeel is dat op deze locatie veel zandlagen aanwezig, dus zou een groutanker genoeg ankerkracht kunnen creëren.

19.5.3 Gording

Een gording zorgt er voor de overdracht van krachten tussen de damwand en ankers. Een gording kan zowel in staal als in beton uitgevoerd worden. Een voorbeeld van een stalen gording is een HEB. Het voordeel van een betonnen gording is dat deze goedkoper is dan een stalen gording. Een voordeel van een stalen gording is dat deze makkelijk te monteren is door te lassen aan de damwandprofielen.

19.5.4 Deksloof

Een eis van zowel de opdrachtgever als vanuit North Sea Ports, was dat de deksloof uitgevoerd moest worden in beton.

19.5.5 Zandlichaam

De ruimte tussen de kopwand en het terrein van ASK Romein zal opgevuld worden met zand waar bovenop een bestrating komt te liggen. Aan weerszijde van het zandlichaam zal een talud gelegd worden op dezelfde manier zoals het bestaande talud nu is.

19.5.6 Uitbreiding in de breedte

De eventuele uitbreiding in de toekomst is vrij eenvoudig. Zowel de kopwand als talud kunnen gewoon verlengd worden. Alleen het dan huidige talud zal eerst opgebroken worden en de verjonging aan de kant van de uitbereiding zal getrokken moeten worden, zodat deze vervangen kan worden door een kopwand.

19.5.7 Alternatief

Er kan gekozen worden de kopwand uit te voeren als een combiwand, omdat een combiwand goed om kan gaan met hoge belastingen. De verankering zal gedaan worden door middel van legankers. Dit houdt in dat er een ankerwand nodig zal zijn voor de kopwand. De reden dat er gekozen is voor legankers omdat de ankers niet afhankelijk zijn van een goede grondlaag. In geval van een gording zal deze van staal zijn omdat deze makkelijk te monteren valt omdat de damwandprofielen ook van staal zijn, dus kan deze er aan vast gelast worden. De deksloof zal van beton zijn in verband met de eis van de opdrachtgever. De ruimte tussen de kopwand en het terrein van ASK Romein zal opgevuld worden met schoonzand, omdat schoon zand goed te verdichten is en er dus geen nazetting meer is na een goede verdichting.

19.6 MCA van de varianten studie

Vanuit de overgebleven drie varianten zullen de twee meest kansrijke varianten gekozen om te gaan te dimensioneren. Dit zal gedaan worden door de overgebleven varianten te toetsen met een Multi Criteria Analyse (MCA).

Iedere variant zal in dit hoofdstuk getoetst worden aan de gestelde criteriums. Hoe hoger de punten hoe beter de variant uit het MCA komt. De twee varianten met de hoogste score zullen gedimensioneerd worden.

MCA steiger variant				
Criterium	Weging	Score	Punten	Toelichting
Kosten	50 %	5	250	Beton is een relatief goedkoop materiaal, om te gebruiken
Uitbreiding	20 %	5	100	De uitbreiding van de steiger kan gedaan worden door een tweede steiger direct naast de andere steiger te bouwen, waardoor niks verloren gaat van de vorige steiger
Overlast omgeving	10 %	3	30	Omdat het mogelijk is alle werkzaamheden vanaf het terrein van ASK Romein of vanaf een ponton buiten de vaarwegen te doen, zal er geen tot geringe overlast zijn voor de omgeving. Maar wel trilling en geluidsoverlast voor heikwerk voor het naast gelegen kantoor
Bouwtijd	20 %	5	100	Omdat veel van de steiger uit prefab beton zal bestaan zal het mogelijk zijn de steiger in relatief korte tijd te bouwen
Totaal	100 %	-	480	-

Tabel 60, MCA steiger variant

MCA caisson variant				
Criterium	Weging	Score	Punten	Toelichting
Kosten	50 %	1	50	Er zal veel gebaggerd moeten worden om het mogelijk te maken om de caisson te plaatsen, daarnaast zal het transport van de caisson van dok naar locatie ook de kosten laten stijgen
Uitbreiding	20 %	5	100	De uitbreiding van de caisson kan gedaan worden door een caisson direct naast de andere caisson te leggen, waardoor niks verloren gaat van de vorige caisson
Overlast omgeving	10 %	3	30	Tijdens het afzinken van de caisson zal de Kraaijerhaven niet beschikbaar zijn voor scheepsverkeer i.v.m. de benodigde ruimte voor het manoeuvreren van de caisson
Bouwtijd	20 %	1	20	Doordat een caisson gebouwd moet worden in een dok zal er transport nodig zijn om de caisson op locatie te krijgen, hierdoor zal de bouwtijd toe nemen.
Totaal	100 %	-	200	-

Tabel 61, MCA caisson variant

MCA kopwand met talud				
Criterium	Weging	Score	Punten	Toelichting
Kosten	50 %	1	50	Staal is een relatief duur materiaal, om te gebruiken
Uitbreiding	20 %	3	60	De uitbreiding van de kopwand kan gedaan worden door simpel de kopwand en het talud te verlengd worden, waar door er geen verlies in materiaal is. Alleen zal de verjonging getrokken moeten worden
Overlast omgeving	10 %	5	50	Omdat het mogelijk is alle werkzaamheden vanaf het terrein van ASK Romein of vanaf een ponton buiten de vaarwegen te doen, zal er geen tot geringe overlast zijn voor de omgeving
Bouwtijd	20 %	3	60	Het aanbrengen van de groutankers zal langzaam gaan. Als het aanbrengniveau van de groutankers tussen de GW en GLW ligt, zal dit betekenen dat de groutankers alleen bij laagwater aangebracht kunnen worden. Hierdoor kan de bouwtijd toenemen.
Totaal	100 %	-	220	-

Tabel 62, MCA kopwand met talud variant

20. Bijlage keuze variant

Dit hoofdstuk zal verdergaan op het hoofdstuk "8. Keuze variant".

20.1 Kosten steiger

In dit hoofdstuk zullen de kosten voor de steiger variant gecalculeerd worden. Dit zal gedaan worden door naar de inkoop-, materieel en personeel-, installatie- en eenmalige kosten te kijken.

20.1.1 Inkoop kosten

De inkoop van het materiaal zal € 1.118.956,26 bedragen. In tabel 13 is een overzicht te zien van de inkoop kosten voor de steiger. Alle kosten worden afzonderlijk besproken.

20.1.1.1 Beton C45/55

Voor het beton wordt er gerekend met een prijs van € 650,- per m³. Deze prijs is opgebouwd uit inkoop beton C45/55, inkoop prefab onderdelen dek en balk, bekisting en het afwerken van het beton. Deze prijs ligt hoger dan voor gewoon beton. Dit komt omdat er C45/55 beton gebruikt wordt.

20.1.1.2 Wapening

Voor alle wapening wordt er gerekend met een prijs van € 1,10 per kilo. In deze prijs zit in begrepen het wapeningsstaal en het vlechtwerk.

20.1.1.3 Prefab funderingspalen

Voor de prefab funderingspalen wordt er gerekend met een prijs van € 100,- per m. Deze prijs bestaat alleen uit de inkoop van de funderingspaal.

20.1.2 Materieel en personeel kosten

Het materieel en personeel zal € 109.920,- bedragen. In tabel 14 is een overzicht te zien van de materieel en personeel kosten voor de steiger. De kosten worden besproken per activiteit.

20.1.2.1 Heien funderingspalen

Bij het heien wordt er rekening gehouden met zes funderingspaal per dag. Een funderingspaal aanbrengen duurt ongeveer 1 uur, dus 6 uur funderingspalen zetten per dag en 2 uur per dag voor het verplaatsen van het ponton. Voor deze activiteit is nodig:

- Heistelling 20 dagen
- Heiploeg 20 dagen
- Dieselblok 20 dagen
- Ponton 20 dagen

20.1.2.2 Prefab leggen

Bij het leggen van de prefab zal er uitgegaan worden van ongeveer zes prefab elementen per dag. De reden hiervoor is omdat dit werk op het water gedaan wordt, waardoor de snelheid niet hoog ligt. Een balk zal bestaan uit drie prefab elementen. Het dek tussen de balken bestaat ook uit drie elementen. In totaal zijn er 27 balk elementen en 24 dek elementen. Voor deze activiteit is nodig:

- Telescoopkraan 130 ton⁽¹³⁾ 8 dagen
- Ponton 8 dagen

20.1.2.3 Vlechten

Tijdens het vlechten zal er een telescoopkraan aanwezig zijn voor het bijdraaien van de wapening. Er wordt rekening gehouden met 20 dagen vlechten. Voor deze activiteit is nodig:

- Telescoopkraan 70 ton⁽¹⁴⁾ 20 dagen

20.1.2.4 In het werk gestort

In totaal is er 1066,8 m³ beton nodig, een deel hiervan zal uit prefab beton bestaan. Er zal ongeveer 800 m³ beton nog in het werk gestort worden. Dit kan in één dag gestort worden met één betonpomp. Voor deze activiteit is nodig:

- Betonpomp 52 m⁽¹⁵⁾ 1 dag
- Stortploeg 1 dag

20.1.2.5 Timmermannen

De timmermannen zullen gebruikt worden voor de kleiner activiteiten. Op het einde van het project zal er opgeruimd moet worden, de installatie van diverse onderdeel zoals leuningen, drenkelingen ladders, etc. Daarnaast zullen ze ook de bekisting maken voor het dek. Er zal gerekend worden met 10 dagen omdat het hier gaat om (40 x 2 + 30 x 2 =) 140 m bekisting.

- Opruimen bouwplaats 5 dagen
- Installatie diverse 15 dagen
- Bekisting 10 dagen

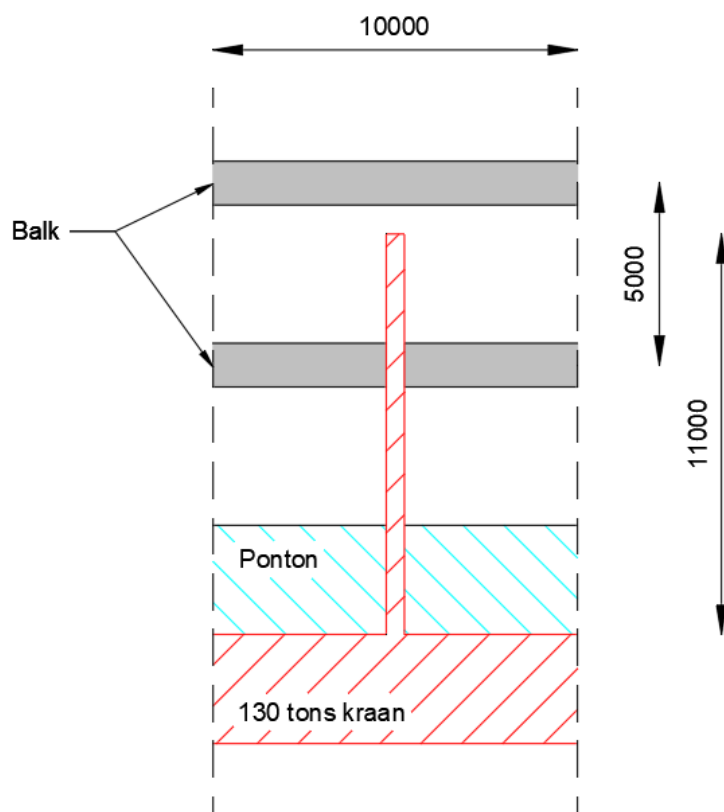
⁽¹³⁾ Zie "20.1.2.6 Telescoopkraan 130 ton" waarom een 130 ton kraan nodig is

⁽¹⁴⁾ Zie "20.1.2.7 Telescoopkraan 70 ton" waarom een 70 ton kraan nodig is

⁽¹⁵⁾ Zie "20.1.2.8 Betonpomp 52 m" waarom een 52 m betonpomp nodig is

20.1.2.6 Telescoopkraan 130 ton

In "20.1.2.2 Prefab leggen" was besproken dat een 130 ton telescoopkraan gebruikt zal worden voor het leggen van de prefab elementen. In figuur 43 is een schets te zien van de activiteit. In tabel 63 is te zien dat op 20 m kan de kraan 20 t/m 30 ton tillen. Er wordt uitgegaan van een dek element van 10 m x 5 m x 0,20 m x 2400 kg/m³ = 24 ton. Voor de balk wordt er gerekend met 10 m x 1,2 m x 0,20 m x 2400 kg/m³ = 5,76 ton.



Figuur 43, Lay-out van hijswerkzaamheden 130 ton telescoopkraan

 12.8 m*	12.8 m*	12.8 m	17.1 m	21.4 m	25.8 m	30.1 m	34.4 m	38.7 m	43.0 m	47.4 m	51.7 m	56.0 m	60.0 m
2.7	130.0**												
3.0	111.2**	104.7**	90.0	90.0									
3.5	99.7	95.7	90.0	90.0	70.0								
4.0	91.4	88.1	88.0	87.6	70.0								
4.5	83.3	81.5	81.4	81.0	70.0	54.3							
5.0	75.8	75.8	75.7	75.3	70.0	51.3	44.0						
6.0	66.3	66.2	66.1	65.6	66.0	50.0	42.3	32.8					
7.0	58.8	58.1	58.3	57.5	58.1	49.3	38.4	32.8	27.1				
8.0	52.7	51.2	51.6	51.4	51.1	46.0	38.0	32.8	27.1	21.4			
9.0	47.7	45.4	45.8	45.8	45.3	43.1	35.8	30.3	27.1	21.4	16.6		
10.0	42.1	40.6	41.0	41.0	40.5	40.6	33.7	28.1	26.5	21.4	16.6	13.2	
11.0			37.0	37.0	36.5	37.2	31.8	26.2	24.7	21.4	16.6	13.2	10.6
12.0			33.6	33.6	33.5	33.8	30.1	24.5	23.1	21.3	16.6	13.2	10.6
14.0			28.2	28.1	28.7	28.3	27.2	21.6	20.4	19.2	16.6	13.2	10.6
16.0				22.9	23.5	23.1	23.9	19.3	18.2	17.4	15.8	13.2	10.6
18.0				19.2	19.7	20.6	20.0	17.4	16.7	15.7	14.5	12.8	10.6
20.0					17.4	17.6	17.0	15.8	15.2	14.1	13.5	12.0	10.5
22.0					15.5	15.3	14.7	14.1	13.9	12.7	12.2	11.2	9.7
24.0						13.4	12.8	12.9	12.7	11.5	11.0	10.4	9.0
26.0						11.8	11.3	11.8	11.3	10.5	10.0	9.8	8.2
28.0							10.6	10.5	10.0	9.6	9.2	9.0	7.5
30.0							9.8	9.4	8.8	8.6	8.4	8.3	6.9
32.0								8.4	8.0	7.9	7.8	7.6	6.3
34.0								7.6	7.5	7.4	7.1	7.1	5.8
36.0									7.1	6.7	6.5	6.6	5.4
38.0									6.5	6.0	6.1	6.0	5.0
40.0									5.9	5.4	5.7	5.4	4.6
42.0										4.9	5.2	4.8	4.3
44.0										4.5	4.8	4.3	4.0
46.0											4.3	3.9	3.8
48.0											3.9	3.5	3.4
50.0												3.1	3.1
52.0												2.8	2.8
54.0													2.4
56.0													2.2

Tabel 63, Hijstabel 130 ton telescoopkraan (TADANO LIMITED, 2016)

20.1.2.7 Telescoopkraan 70 ton

Zoals in "20.1.2.3 Vlechten" besproken was, zal de 70 ton telescoopkraan gebruikt worden voor het bijdraaien van wapening. Een Ø40 is de zwaarste staaf voor de steiger. Er is gerekend met een bundel van 10Ø40 14 m lang ($9,865^{(16)} \times 14 \times 10 =$) 1.39 ton. Uit tabel 64 is te zien dat de wapening dan op 38 m van af wal op de steiger gelegd kan worden.

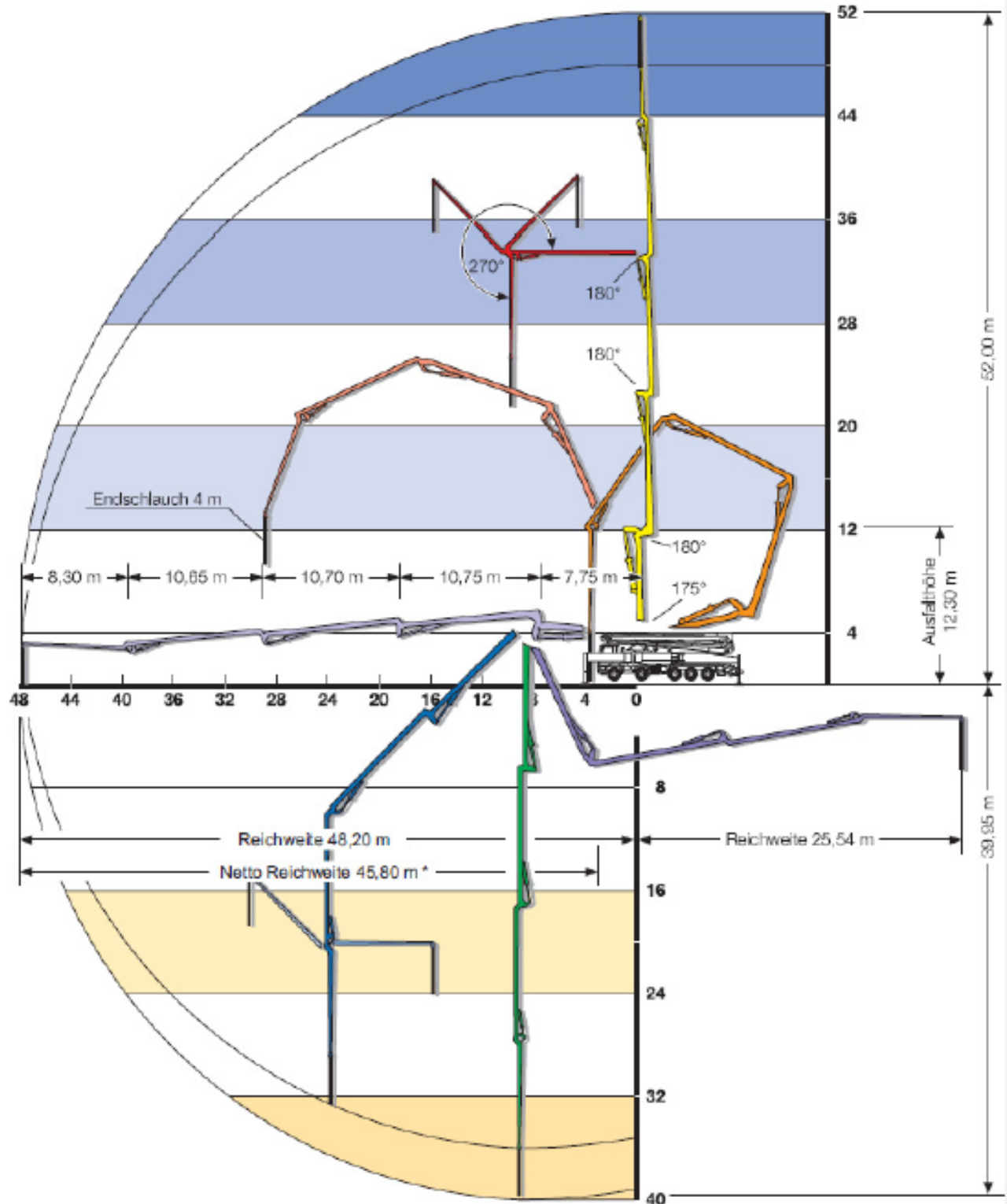
 m	11.0 m*	11.0 m	14.8 m	18.7 m	22.5 m	26.3 m	30.1 m	34.0 m	37.8 m	41.6 m	44.0 m
2.5	70.0**	58.0**									
3.0	59.6**	54.8**	50.0	49.3							
3.5	54.8**	49.7	47.0	45.1	42.3						
4.0	49.2	45.4	43.4	41.9	41.0	30.0					
4.5	43.5	41.6	40.3	38.9	38.0	30.0	24.5				
5.0	38.9	37.8	37.6	36.2	35.4	30.0	23.3	18.8			
6.0	31.9	31.8	32.0	31.5	31.2	28.8	21.1	18.8	14.2		
7.0	26.9	26.9	27.2	27.3	27.0	26.4	19.2	17.7	14.2	10.8	9.6
8.0	23.2	23.2	23.5	23.5	23.3	23.6	17.9	16.3	14.2	10.8	9.6
9.0			20.5	20.7	20.6	20.7	16.7	15.0	13.8	10.8	9.6
10.0			18.2	18.3	18.6	18.3	15.7	13.9	12.9	10.8	9.6
11.0			16.2	16.5	16.5	16.1	14.9	13.0	12.1	10.8	9.6
12.0			14.1	14.5	14.4	14.0	14.0	12.1	11.3	10.3	9.0
14.0				11.4	11.3	11.2	11.3	10.7	10.0	9.3	7.8
16.0				9.3	9.3	9.5	9.1	8.8	8.9	8.3	6.9
18.0					7.8	7.9	7.5	7.8	7.4	7.4	6.1
20.0					6.8	6.6	6.7	6.5	6.5	6.2	5.3
22.0						5.6	5.8	5.5	5.5	5.2	4.8
24.0							5.0	4.8	4.7	4.4	4.2
26.0							4.3	4.1	4.0	3.8	3.7
28.0								3.6	3.5	3.2	3.2
30.0								3.1	3.0	2.8	2.8
32.0									2.6	2.4	2.4
34.0									2.3	2.0	2.0
36.0										1.7	1.7
38.0										1.4	1.4
40.0											1.2

Tabel 64, Hijtabel 70 ton telescoopkraan (TADANO LIMITED, 2013)

⁽¹⁶⁾ (Sagel, Braam, & Lagendijk, GTB 2013, Grafieken en Tabellen voor beton gebaseerd op de Europese Normen voor Ontwerp, Materiaal en Uitvoering, 2013)

20.1.2.8 Betonpomp 52 m

Voor het storten van het beton zal er gebruik gemaakt worden van een 52 m betonpomp. In figuur 44 is te zien dat het maximale horizontale bereik 48 m bedraagt, hiermee kan het uiteinde van de steiger makkelijk bereikt worden. Een kleinere pomp (43 m betonpomp) heeft een bereik van 40 m. Dit zou betekenen dat de betonpomp op de steiger komt te staan tijdens het storten. Om deze reden zal er gekozen worden voor een 52 m pomp.



Figuur 44, Bereik 52 m betonpomp (ZHBC b.v.)

20.1.3 Bouwkosten

De installatie zal € 41.700,60 bedragen. In tabel 15 is een overzicht te zien van de bouwkosten voor de steiger. Alle kosten worden afzonderlijk besproken.

20.1.3.1 Natte knoop

Voor een natte knoop wordt er gerekend met een prijs van € 750,- per knoop. In deze prijs zit in begrepen de bekisting, ondersteuning voor de bekisting en vlechtwerk.

20.1.3.2 Verpompen beton

Er zal gerekend worden met € 4,50 per m³ beton die verpompt wordt.

20.1.3.3 koppensnellen

De koppen van de funderingspalen zullen gesneld moeten worden om de wapening van de funderingspalen over te laten te gaan naar de balk. Omdat deze activiteit boven het water uitgevoerd moet worden zal hier een hogere prijs voor aangehouden worden. Daarom zal er gerekend worden met € 200,- per funderingspaal

20.2 Kosten damwandconstructie

In deze paragraaf zullen de kosten voor de damwandconstructie variant gecalculeerd worden. Dit zal gedaan worden door naar de inkoop-, materieel en personeel-, installatie- en eenmalige kosten te kijken.

20.2.1 Inkoop kosten

De inkoop van het materiaal zal € 814.652,- bedragen. In tabel 16 is een overzicht te zien van de inkoop kosten voor de damwandconstructie. Alle kosten worden afzonderlijk besproken.

20.2.1.1 Damwandprofielen

Voor de damwandprofielen wordt er gerekend met alleen de inkoopprijs per ton van de verschillende damwand profielen.

20.2.1.2 Legankers

Voor de legankers ASDO500 wordt er gerekend met een prijs van € 4,50 per kg en de legankers ASDO355 wordt er gerekend met een prijs van € 2,50 per kg. In deze prijs zit in alleen de inkoop van de legankers.

20.2.1.3 Beton

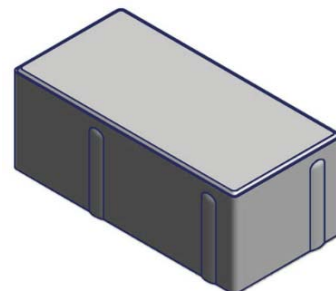
Voor het beton wordt er gerekend met een prijs van € 250 per m³. In deze prijs zit in begrepen de inkoop van beton en de bekisting.

20.2.1.4 Bestrating

Voor de bestrating wordt er gerekend met een prijs van € 25 per m². In deze prijs zit in begrepen de inkoop van de betonklinkerkeien en het bestraten van de roro-voorziening.

De bestrating van zowel de damwandconstructie als de kopwand met talud kan op verschillende manier uitgevoerd worden. Er kan gekozen worden om stelcon platen, klinkers of betonklinkerkeien (BKK) toe te passen.

Er zal gekozen worden om BKK's toe te passen. De reden hiervoor is dat BKK's geschikt zijn voor hoge belastingen, onderhoudsvriendelijk en er is een gelijkmatige zetting van de bestrating. Een BKK zoals te zien is in figuur 45 is 220x110x80 mm (MBI De Steenmeesters, sd).



Figuur 45, BKK (MBI De Steenmeesters, sd)

Er zal niet gekozen worden voor stelcon platen, omdat deze makkelijk kunnen scheuren en bij zetting zullen er hoogteverschillen gaan ontstaan tussen de stelcon platen. Klinkers zullen ook niet gebuikt worden omdat deze niet geschikt zijn voor hoge belastingen.

20.2.1.5 Zand

Voor het zand wordt er gerekend met een prijs van € 15 per m³. In deze prijs zit alleen de inkoop van zand en transport naar locatie.

20.2.2 Materieel en personeel kosten

Het materieel en personeel zal € 45.600,- bedragen. In tabel 17 is een overzicht te zien van de materieel en personeel kosten voor de damwandconstructie. De kosten worden besproken per activiteit.

20.2.2.1 Plaatsen combiwand

Voor het plaatsen van de combiwand wordt er rekening gehouden dat er 15 systeemmaten per dag geplaatst worden in verband met het verplaatsen van het ponton. Dit zal betekenen dat er in totaal 2 dagen nodig zijn om de combiwand te plaatsen. Voor deze activiteit is nodig:

- Heistelling 2 dagen
- Trilblok 2 dagen
- Heiploeg 2 dagen
- Ponton 2 dagen

20.2.2.2 Plaatsen vleugelwand

Voor het plaatsen van de vleugelwanden wordt er rekening gehouden met 4 dagen, uitgaande dat er ongeveer 20 planken per dag gezet worden plus verplaatsen van het ponton. Voor deze activiteit is nodig:

- Heistelling 4 dagen
- Trilblok 4 dagen
- Heiploeg 4 dagen
- Ponton 4 dagen

20.2.2.3 Plaatsen ankerwand

Voor het plaatsen van de ankerwanden wordt er rekening gehouden met 1 dag. Dit zal sneller gaan dan de vleugelwand en combiwand, omdat de ankerwand vanaf het land geplaatst kan worden. Voor deze activiteit is nodig:

- Heistelling 1 dagen
- Trilblok 1 dagen
- Heiploeg 1 dagen

20.2.2.4 Zand rijden

Er zal in totaal 9040 m³ zand nodig zijn. Een vrachtwagen heeft een capaciteit van 24 m³ ($9040 / 24 =$) 377 vrachtwagens met zand. Er wordt uitgegaan van vier vrachtwagens per uur ($377 / 4 =$) 94,25 uur nodig voor de aanvoer van het zand. Een werkdag bestaat uit acht uur, dus ($94,25 / 8 =$) 12 dagen + 3 dagen extra om het zand te verwerken op locatie. Dus in totaal zal er 15 dagen gerekend moeten worden voor het zand rijden. Voor deze activiteit is nodig:

- Bandenkraan 15 dagen

20.2.2.5 Timmermannen

De timmermannen zullen gebruikt worden voor de kleiner activiteiten. Op het einde van het project zal er opgeruimd moet worden, de installatie van diverse onderdeel zoals leuningen, drenkelingen ladders, etc. Daarnaast zullen ze ook de bekisten maken voor het deksloof.

- Opruimen bouwplaats 5 dagen
- Installatie diverse 15 dagen
- Bekisting 5 dagen

20.2.2.6 Plaatsen leganker

In "20.2.3.3 Plaatsen leganker (35 m)" en "20.2.3.4 Plaatsen legankers (30 m)" wordt verder op de kosten van het plaatsen van de leganker in gegaan. Voor deze activiteit is nodig:

- Ponton 11 dagen

20.2.2.7 Bemaling

Er zal een bemaling nodig zijn om de grondwaterstand te verlagen met ± 1 m. In overleg met DIMCO zal hier € 5000,- voor gerekend worden.

20.2.3 Bouwkosten

De installatie zal € 87.544,- bedragen. In tabel 18 is een overzicht te zien van de bouwkosten voor de damwandconstructie. Alle kosten worden afzonderlijk besproken.

20.2.3.1 Buispalen installeren

Voor het plaatsen van een buispaal wordt gerekend met € 1.000,- per buispaal. Dit is een gemiddeld bedrag voor het plaatsen van een buispaal.

20.2.3.2 Damwand installeren

Voor het plaatsen van een damwand wordt gerekend met € 17,50 per m². Dit is een gemiddeld bedrag voor het plaatsen van een damwand.

20.2.3.3 Plaatsen leganker (35 m)

Voor het plaatsen van de legankers van 35 m zal gerekend worden met vier uur een 130 ton telescoopkraan (€ 200,-/uur) en 12 manuren (€ 40,-/uur). Per leganker zal dat € 1.280,- per leganker bedragen.

20.2.3.4 Plaatsen legankers (30 m)

Voor het plaatsen van de legankers van 30 m zal gerekend worden met 3 uur een 130 ton telescoopkraan (€ 200,-/uur) en 9 manuren (€ 40,-/uur). Per leganker zal dat € 960,- per leganker bedragen.

20.3 Kosten kopwand met talud

In deze paragraaf zullen de kosten voor de kopwand met talud variant gecalculeerd worden. Dit zal gedaan worden door naar de inkoop-, materieel en personeel-, installatie- en eenmalige kosten te kijken.

20.3.1 Inkoop kosten

De inkoop van het materiaal zal € 1.003.891,- bedragen. In tabel 19 is een overzicht te zien van de inkoop kosten voor de kopwand met talud. Alle kosten worden afzonderlijk besproken.

20.3.1.1 Damwandprofielen

Voor de damwandprofielen wordt er gerekend met alleen de inkoopprijs per ton van de verschillende damwand profielen.

20.3.1.2 Legankers

Voor de leganker ASDO500 wordt er gerekend met een prijs van € 4,50 per kg. In deze prijs zit in alleen de inkoop van de legankers.

20.3.1.3 Groutankers

Voor de groutankers wordt er gerekend met een prijs van € 3000.- per stuk. In deze prijs zit de inkoop van groutanker en het plaatsen van de groutanker.

20.3.1.4 Beton

Voor het beton wordt er gerekend met een prijs van € 250 per m³. In deze prijs zit in begrepen de inkoop van beton en de bekisting.

20.3.1.5 Bestrating

Voor de bestrating wordt er gerekend met een prijs van € 25 per m². In deze prijs zit in begrepen de inkoop van de betonklinkerkeien en het bestraten van de roro-voorziening.

20.3.1.6 Zand

Voor het zand wordt er gerekend met een prijs van € 15 per m³. In deze prijs zit alleen de inkoop van zand en transport naar locatie.

20.3.2 Materieel en personeel kosten

Het materieel en personeel zal € 33.230,- bedragen. In tabel 20 is een overzicht te zien van de materieel en personeel kosten voor de kopwand met talud. De kosten worden besproken per activiteit.

20.3.2.1 Plaatsen combiwand

Voor het plaatsen van de combiwand wordt er rekening gehouden dat er tien systeemmaten per dag geplaatst worden in verband met het verplaatsen van het ponton. Dit zal betekenen dat er in totaal 2 dagen nodig zijn om de combiwand te plaatsen. Voor deze activiteit is nodig:

- Heistelling 2 dagen
- Trilblok 2 dagen
- Heiploeg 2 dagen
- Ponton 2 dagen

20.3.2.2 Plaatsen verjonging kopwand

Voor het plaatsen van de verjonging van de kopwand wordt er rekening gehouden met 3 dagen, uitgaande dat er ongeveer 25 planken per dag gezet worden plus verplaatsen van het ponton. Voor deze activiteit is nodig:

- Heistelling 3 dagen
- Trilblok 3 dagen
- Heiploeg 3 dagen
- Ponton 3 dagen

20.3.2.3 Plaatsen ankerwand

Voor het plaatsen van de ankerwanden wordt er rekening gehouden met één dag. Dit zal sneller gaan dan de vleugelwand en combiwand, omdat de ankerwand vanaf het land geplaatst kan worden. Voor deze activiteit is nodig:

- Heistelling 1 dagen
- Trilblok 1 dagen
- Heiploeg 1 dagen

20.3.2.4 Plaatsen leganker

In "20.2.3.3 plaatsen leganker (35 m)" wordt verder op de kosten van het plaatsen van het leganker ingegaan. Voor het groutanker wordt er gerekend op twee groutankers per dag. Dit komt omdat er een geringe tijd per dag is, waar het water laag genoeg staat om de groutankers aan te brengen. Voor deze activiteit is nodig:

- Ponton 11 dagen

20.3.2.5 Zand rijden

Er zal in totaal 19586 m³ zand nodig zijn. Een vrachtwagen heeft een capaciteit van 24 m³, $19586 / 24 = 816$ vrachtwagens met zand. Er wordt uitgegaan van vier vrachtwagens per uur $816 / 4 = 204$ uur nodig voor de aanvoer van het zand. Een werkdag bestaat uit acht uur, dus $204 / 8 = 26$ dagen + 4 dagen extra om het zand te verwerken op locatie. Dus in totaal zal er 30 dagen gerekend moeten worden voor het zand rijden. Voor deze activiteit is nodig:

- Bandenkraan 30 dagen

20.3.2.6 *Timmermannen*

De timmermannen zullen gebruikt worden voor de kleiner activiteiten. Op het einde van het project zal er opgeruimd moet worden, de installatie van diverse onderdeel zoals leuning, drenkelingen ladders, etc. Daarnaast zullen ze ook de bekisten maken voor het deksloof.

- Opruimen bouwplaats 5 dagen
- Installatie diverse 15 dagen
- Bekisting 3 dagen

20.3.3 *Bouwkosten*

De installatie zal € 73.406,75 bedragen. In tabel 21 is een overzicht te zien van de bouwkosten voor de kopwand met talud. Alle kosten worden afzonderlijk besproken.

20.3.3.1 *Buispalen installeren*

Voor het plaatsen van een buispaal wordt gerekend met € 1.000,- per buispaal. Dit is een gemiddeld bedrag voor het plaatsen van een buispaal.

20.3.3.2 *Damwand installeren*

Voor het plaatsen van een damwand wordt gerekend met € 17,50 per m². Dit is een gemiddeld bedrag voor het plaatsen van een damwand.

20.3.3.3 *Plaatsen leganker (35 m)*

Voor het plaatsen van de legankers van 35 m zal gerekend worden met vier uur een 130 ton telescoopkraan (€ 200,-/uur) en 12 manuren (€ 40,-/uur). Per leganker zal dat € 1.280,- per leganker bedragen.

20.4 Gevoeligheidsanalyse

Omdat de punten van de drie varianten tamelijk ver uiteen liggen verschil, zal er toch een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd worden om te zien wat het effect op de uitkomst is wanneer andere wegen aangehouden zullen worden. Hiervoor zullen de wegen per criterium aangepast worden, waarna de nieuwe wegen in de matrix ingevuld zullen worden.

20.4.1 Wegen per criterium

De wegen die gebruikt waren voor de matrix waren als volgt:

- De kosten 50 %
- Het draagkrachtvermogen 25 %
- Het onderhoud van de varianten 12,5 %
- De uitbreiding 12,5 %

Er is besloten om twee gevoeligheidsanalyse uit te voeren. Iedere gevoeligheidsanalyse zal met andere wegen werken.

Gevoeligheidsanalyse 1:

- De kosten 35 %
- Het draagkrachtvermogen 30 %
- Het onderhoud van de varianten 20 %
- De uitbreiding 15 %

Gevoeligheidsanalyse 2:

- De kosten 25 %
- Het draagkrachtvermogen 10 %
- Het onderhoud van de varianten 30 %
- De uitbreiding 35 %

20.4.2 Gevoeligheidsanalyse 1:

In tabel 65 t/m 67 zijn de matrixen met gevoeligheidsanalyse één te vinden van de drie varianten.

Steiger variant			
Criterium	Weging	Score	Punten
Kosten	35	3	105
Draagkracht	30	3	90
Onderhoud	20	5	100
Uitbreiding	15	5	75
Totaal aantal punten			370

Tabel 65, Gevoeligheidsanalyse 1 steiger variant

Damwandconstructie variant			
Criterium	Weging	Score	Punten
Kosten	35	5	175
Draagkracht	30	4	120
Onderhoud	20	3	60
Uitbreiding	15	2	30
Totaal aantal punten			385

Tabel 66, Gevoeligheidsanalyse 1 damwandconstructie variant

Kopwand met talud variant			
Criterium	Weging	Score	Punten
Kosten	35	1	35
Draagkracht	30	4	120
Onderhoud	20	4	80
Uitbreiding	15	5	45
Totaal aantal punten			280

Tabel 67, Gevoeligheidsanalyse 1 kopwand met talud variant

Uit gevoeligheidsanalyse één is te concluderen dat de uitkomst van de varianten niet veranderd is. Dus op basis van deze toetsing is de matrix accuraat.

20.4.3 Gevoeligheidsanalyse 2:

In tabel 68 t/m 70 zijn de matrixen met gevoeligheidsanalyse één te vinden van de drie varianten.

Steiger variant			
Criterium	Weging	Score	Punten
Kosten	25	3	75
Draagkracht	10	3	30
Onderhoud	30	5	150
Uitbreiding	35	5	175
Totaal aantal punten			430

Tabel 68, Gevoeligheidsanalyse 2 steiger variant

Damwandconstructie variant			
Criterium	Weging	Score	Punten
Kosten	25	5	125
Draagkracht	10	4	40
Onderhoud	30	3	90
Uitbreiding	35	2	70
Totaal aantal punten			325

Tabel 69, Gevoeligheidsanalyse 2 damwandconstructie variant

Kopwand met talud variant			
Criterium	Weging	Score	Punten
Kosten	25	1	25
Draagkracht	10	4	40
Onderhoud	30	4	120
Uitbreiding	35	5	175
Totaal aantal punten			360

Tabel 70, Gevoeligheidsanalyse 2 kopwand met talud variant

Uit gevoeligheidsanalyse twee is te concluderen dat er een verandering is in de uitkomsten ten opzichten van de matrixen. Volgens deze gevoeligheidsanalyse zou de steiger variant als beste uit de matrix komen en de damwandconstructie als slechtste. Dit komt omdat de kosten per variant nu minder zwaar meetellen.

20.4.4 Conclusie gevoeligheidsanalyse

De kosten is de meest accurate en objectieve criteria die getoetst kan worden via de matrix omdat van iedere variant de kosten bepaald door middel van kengetallen. Daarnaast draait een project simpel gezegd gewoon om geld, want een opdrachtgever wilt het liefst een zo goed mogelijke oplossing tegen de zo laagst mogelijke prijs en de aanbieders willen het liefst een zo hoog mogelijk winst rendement behalen op een project. Dus is een weging van 25% bij de tweede gevoeligheidsanalyse te laag gezien de belangrijkheid van de kosten voor een project.

Ondanks dat gevoeligheidsanalyse een andere conclusie geeft over de matrix zal alsnog verder gaan worden met de damwandconstructie uit het de matrix als beste variant. Dit is gedaan op basis van boven staande argument en omdat de damwandconstructie als beste uit de matrix en gevoeligheidsanalyse is gekomen.