

Onderhoud van de kadeconstructies in de haven van Yerseke

Adviesrapport



Auteur:	K. Thilleman
Opdrachtgever:	Gemeente Reimerswaal
Plaats van uitgifte:	Kruiningen
Datum van uitgifte:	28-05-2015
Versienummer:	1.0

Onderhoud van de kadeconstructies in de haven van Yerseke

Adviesrapport

Titel	Onderhoud van de kadeconstructies in de havens van Yerseke
Opdrachtgever	Gemeente Reimerswaal
Document	Adviesrapport
Datum van voltooiing	28-05-2015
Datum van uitgifte	28-05-2015
Plaats van uitgifte	Kruiningen
Status	Definitief
Versie	1.0
Auteur	K. Thilleman
Stage begeleider	B. van Hese
1ste examiner	H.A. Bakker
2de examiner	J.C. Filius

Voorwoord

Voor u ligt een adviesrapport wat het product is van een half jaar durende afstudeerstage. Deze stage is uitgevoerd bij de Gemeente Reimerswaal op de afdeling Gemeentewerken. Met dit rapport, de stage en de bijbehorende resultaten wil ik mijn opleiding Civiele Techniek aan de HZ University of Applied Sciences afronden.

Naar aanleiding van de opdracht welke de Gemeente Reimerswaal heeft verstrekt, is onderzoek gedaan naar de meest geschikte onderhoudsmethode voor de kadeconstructie in de havens van Yerseke. Tijdens deze leerzame stageperiode zijn de verschillende constructies in kaart gebracht en is de resterende levensduur bepaald. Dankzij de nauwe samenwerking met aannemingsmaatschappij Van Der Straaten en de hulp van verschillende personen binnen de afdeling Gemeentewerken, ben ik in staat geweest om een antwoord te geven op de gestelde hoofdvraag.

Vanuit deze positie wil ik alle betrokkenen bedanken voor hun hulp en inzet. De volgende personen wil ik in het bijzonder bedanken voor onder andere de kans op deze afstudeeropdracht, de verleende assistentie en begeleiding, voor hun advies en de verrichte inspanningen tijdens deze periode.

Dhr. B. van Hese

Gemeente Reimerswaal

Dhr. A. van der Steenhoven

Van Der Straaten

Verder wil ik ook mijn begeleiders Dhr. H.A. Bakker en Dhr. J.C. Filius van de opleiding Civiele Techniek, bedanken voor hun tijd, inspanning en begeleiding, zowel in de voorbereiding als gedurende de afstudeerperiode. Mede dankzij deze personen is het deze afstudeerperiode mogelijk geweest om dit onderzoek te realiseren. Voor mij was deze periode een leerzame en interessante ervaring, waarbij ik veel kennis heb opgedaan over het vakgebied.

Kevin Thilleman, 26 mei 2015 te Kruiningen

Samenvatting

De gemeente Reimerswaal ligt in de provincie Zeeland. Het gemeentehuis is gevestigd in Kruiningen. Binnen de gemeente werken 170 werknemers. De vraag voor dit onderzoek komt vanuit de sector grondgebied, afdeling gemeentewerken (GW). De begeleiding voor dit project werd verzorgd door Dhr. B. van Hese. De gemeente Reimerswaal is eigenaar, beheerder en exploitant van de havens in Yerseke is.

De aanleiding voor dit onderzoek is terug te vinden in de haven van Yerseke. Merendeel van de kademuren (onderdeel van de primaire waterkering) in de haven bestaan uit damwanden. De damwanden hebben een economische levensduur van 40 jaar en twee van de vier verschillende constructies bereiken binnen de komende tien jaar het einde van hun levensduur. Bij het bereiken van de economische levensduur moet er een beslissing gemaakt worden over wat er met de kademuren moet gebeuren. Om deze reden is het belangrijk dat de Gemeente Reimerswaal een duidelijk beeld heeft van de constructies en weet in wat voor staat de constructies verkeren.

Voor de gemeente is het naast de staat van de damwanden ook belangrijk om een goed onderbouwd advies te krijgen over de verschillende werkzaamheden die aan de damwand verricht kunnen worden. Hiervoor is er naast de berekeningen waarmee de resterende levensduur is berekend, een variantenstudie gemaakt om zo tot een goed onderbouwd advies te komen voor het onderhouden van de damwanden.

Het onderzoek is gestart met het in kaart brengen van de huidige situatie. Hierbij is gekeken naar de bodemopbouw, hoogteliggingen, kabels, leidingen en naar de opbouw van de huidige damwandconstructies. Om een overzichtelijk beeld te scheppen van alle constructies zijn hier nieuwe tekeningen van gemaakt. Na het inzichtelijk maken van de huidige situatie zijn er gesprekken gevoerd met de verschillende belanghebbende, hieruit volgt een plan van eisen op te stellen.

Om de staat van de damwandconstructies te kunnen bepalen zijn er eerst inspecties uitgevoerd, waarbij de resterende staaldikte is gemeten. Door middel van een aantal berekeningen is voor elke constructie de technische levensduur bepaald, verder is hier ook gekeken naar de invloed van corrosie op de technische levensduur. Na de berekeningen zijn de meest gangbare onderhoudsmethodes beschreven in een variantenstudie. Bij de variantenstudie is er gekeken naar de functie en kosten van de verschillende methodes. Tenslotte is er voor elke constructie de meeste geschikte methode gekozen door te kijken wat er aan de constructie moet gebeuren en hiervoor een methode te kiezen die het beste in staat is om dit "probleem" op te lossen.

Met behulp van de gemaakte berekeningen en variantenstudie is er een conclusie getrokken waarmee de hoofdvraag is beantwoordt. De Alexanderhaven heeft een resterende levensduur van 98 jaar het is het beste om de damwand aan de bovenkant te versterken. De Beatrixhaven heeft een resterende levensduur van 791 jaar en de meeste geschikte methode is het versterken van de bovenste meters. De Alexander- en Beatrixhaven hebben beide nog een lange levensduur als er alleen naar de onderkant van de damwand wordt gekeken, maar de bovenkant roest sneller weg waardoor gaten kunnen ontstaan en de omliggende kade verzakt. Deze gaten moeten gerepareerd worden door de damwand te versterken. Voor de gehele Julianahaven geldt dat de kadeconstructie niet meer voldoet en dat deze vervangen moeten worden.

Summary

The Gemeente Reimerswaal is located within the Provincie Zeeland. The town hall located in Kruiningen. There are 170 employees working with the municipality. The request for this research comes from the sector Grondgebied, department Gemeentewerken (GW). The guidance for this project is conducted by Mr. B. van Hese. The Gemeente Reimerswaal is the owner, manager and operator of the ports in Yerseke.

The reason for this study can be found in the port of Yerseke. Most of the quay walls (part of the primary embankment) in the port have been realized by means of sheet piling. The sheet piles have an economical lifetime of 40 years and two out of the four various constructions will reach the end of their lifespan with the next decade. Upon reaching the end of their economic lifespan a decision must be made about what should be done with the quay walls. For this reason it is important that the Gemeente Reimerswaal has a clear picture of the structures and is in the clear about their condition.

For the municipality the state of the sheet piles is just as important as having a well-founded advice about the various operations which can be performed on the sheet piles. Therefore in addition to the calculations made for the remaining lifespan a variant study has been made to give a well-founded advice about the maintenance of the sheet piles.

The research was started by making an overview of the current situation. For the current situation a summary was made about the soil structure, elevations, cables, pipes and the composition of the current sheet pile constructions. New drawings were made to provide a clear representation of the constructions. After the overview of the current situation was made, several conversations with different stakeholders took place to make a set of requirements.

To determine the state of the sheet pile constructions, several inspections were performed, during the inspections a remaining steel thickness was measured. After using several calculations the remaining technical lifespan of each construction was determined, also the influence of corrosion on the technical lifespan was investigated. After the calculations, the most common maintenance methods were described in a variants study. The variants study takes a look at the functions and the costs of the different maintenance methods. Finally, the "problem" of each quay wall is described and for each situation the best method has been chosen to solve this "problem".

After the completion of the calculations and the variants study a conclusion was made which answers the main question. The Alexanderhaven has a remaining lifespan of 98 years, to maintain this quay wall the first meters of the sheet pile should be reinforced. The Beatrixhaven has a remaining lifespan of 98 years, to maintain this quay wall the first meters of the sheet pile should be reinforced. Although both the Alexanderhaven and the Beatrixhaven have a long lifespan it is still advised to reinforce the sheet piles, because the lifespan is based on the bottom of the sheet pile. The first meters have a higher corrosion rate, which could cause holes in the sheet pile. These holes should be repaired by reinforcing the sheet pile. The quay walls in de Julianahaven have reached their technical lifespan and should be replaced for a new and stronger quay wall.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Samenvatting.....	2
Summary	3
1. Inleiding	6
1.1. Aanleiding voor dit onderzoek	6
1.2. Indeling van het adviesrapport	6
1.3. Leeswijzer.....	7
2. Theoretisch kader	8
2.1. Invloed van de omringende grond op de kadeconstructie.....	8
2.2. Invloed op de kadeconstructie door gebruik van de haven.....	8
2.3. Invloed van het omringende water op de kadeconstructie.....	8
2.4. Krachten welke vrijkomen op de kadeconstructie door het afmeren.....	9
2.5. Eisen voor de primaire kering	9
2.6. Verschillende manieren van onderhoud	9
2.7. Verschillende materialen voor het realiseren van kadeconstructies	9
2.8. Verschillende methodes voor het bouwen van kadeconstructies	9
3. Methode	11
3.1. Deelvragen	11
3.2. Uitgevoerde werkzaamheden.....	12
4. Resultaten.....	15
4.1. Huidige situatie	15
4.1.1. Gebiedsomschrijving.....	15
4.1.2. Kabels en leidingen.....	17
4.1.3. Opbouw kadeconstructies.....	18
4.1.4. Huidige staat van de kadeconstructies	19
4.2. Plan van Eisen.....	22
4.2.1. Eisen opdrachtgever	22
4.2.2. Eisen exploitatiemaatschappij Kijkuit	23
4.2.3. Eisen Scheepswerf van Os.....	23
4.2.4. Eisen Waterschap Scheldestromen	23
4.2.5. Eisen machinefabriek Bakker	24
4.3. Resterende Levensduur	24
4.3.1. D-sheet modellen	24

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

4.3.2.	Corrosie op de damwand	26
4.3.3.	Berekening resterende levensduur	26
4.4.	Variantenstudie	27
5.	Discussie	31
6.	Conclusie	32
7.	Aanbevelingen	34
	Bibliografie	35

Bijlagen welke in het adviesrapport zijn opgenomen

Bijlage 1:	Deskresearch
Bijlage 2:	Grondopbouw
Bijlage 3:	Dieptekaart
Bijlage 4:	Sondering
Bijlage 5:	Overzicht zoutwaterleiding
Bijlage 6:	Klic haven Yerseke
Bijlage 7:	Inspectie rapport Acotec
Bijlage 8:	Meetgegevens inspectie VDS

Bijlagen welke buiten het adviesrapport zijn opgenomen

Bijlage 9:	Berekeningsrapport
Bijlage 10:	Rapport variantenstudie
Bijlage 11:	Oorspronkelijke tekeningen
Bijlage 12:	Nieuwe tekeningen

1. Inleiding

Hieronder is de aanleiding voor dit onderzoek weergegeven, tevens is hier de hoofdvraag weergegeven. Het beantwoorden van de hoofdvraag wordt uitgevoerd in de rest van het rapport. Naast de aanleiding en de hoofdvraag is ook de indeling van het adviesrapport en de volgorde van de verschillende rapporten weergegeven.

1.1. Aanleiding voor dit onderzoek

De aanleiding voor dit onderzoek is te vinden in de haven van Yerseke. Merendeel van de kademuren (onderdeel van de primaire waterkering) in de haven zijn gerealiseerd door middel van damwanden (Zie figuur 1, gemarkeerde kades bestaan uit een damwand constructie). De damwanden hebben een economische levensduur van 40 jaar en twee van de vier verschillende constructies bereiken binnen de komende tien jaar het einde van hun levensduur. Bij het bereiken van de economische levensduur moet er een beslissing gemaakt worden over wat er met de kademuren moet gebeuren. Om deze reden is het belangrijk dat de Gemeente Reimerswaal een duidelijk beeld heeft van de constructies en weet in wat voor staat de constructies verkeren.



Figuur 1: Haven Yerseke met gearceerde kadeconstructie

Voor de opdrachtgever is het naast de staat van de damwanden ook belangrijk om een goed onderbouwd advies te krijgen over de verschillende werkzaamheden die aan de damwand verricht kunnen worden. Hiervoor is er naast de berekeningen voor de resterende levensduur ook een variantenstudie gemaakt om zo tot een goed onderbouwd advies te komen, waarin tevens een advies voor het onderhoud wordt gegeven.

De hoofdvraag voor dit onderzoek is als volgt:

Wat is de huidige staat van de kadeconstructies en wat is er per constructie de meest geschikte werkzaamheid, om zodoende de grond- en waterkerende functie van de kadeconstructie te garanderen met in achthouding van de eisen opgesteld door de verschillende actoren?

1.2. Indeling van het adviesrapport

Het binnenwerk van dit rapport wordt gevormd door een aantal hoofdstukken, welke elk hun eigen functie hebben. Als eerste is het theoretisch kader ingevoegd, hierin is er weergegeven welke vragen er in het begin van dit onderzoek zijn beantwoord door middel van deskresearch. Vervolgens is er in het volgende hoofdstuk weergegeven hoe het onderzoek is verricht en welke methode er is aangehouden. Na de methode zijn de resultaten van het onderzoek en de hierbij gestelde deelvragen weergegeven. Naast de weergave van de gevonden resultaten wordt er gediscussieerd over eventuele verbeterpunten en/of toevoegingen die het onderzoek ten goede zouden komen. Deze eerder gevonden resultaten zijn gebruikt om een conclusie te maken welke antwoordt geeft op de hoofdvraag. Ten slotte is er bij de conclusie ook een aantal aanbevelingen bijgevoegd die noodzakelijk zijn voor een betere onderbouwing en een gedetailleerder beeld geven van de gevonden resultaten.

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

1.3. Leeswijzer

Naast dit adviesrapport zijn er nog twee rapporten bijgevoegd om tot een gedegen conclusie te komen. Beide rapporten zijn genummerd als bijlage om zo aan te geven wanneer deze van toepassing zijn. De volgorde is als volgt:

- Adviesrapport (Onderhoud havens Yerseke)
- Berekeningsrapport (Resterende Levensduur)
- Rapport (Variantenstudie kade onderhoud)

2. Theoretisch kader

Het theoretisch kader is opgebouwd uit twee delen, de deskresearch welke is te vinden in bijlage 1. Hierin is vermeldt op welke manier gezocht is naar de verschillende bronnen, welke zoektermen er zijn gebruikt en hierin staan de bronnen vermeldt. De bronnen zijn vervolgens weergegeven in de literatuurlijst welke later in dit document terug te vinden is. Het tweede gedeelte van het theoretisch kader bestaat uit het samenvatten van de gevonden bronnen per zoek vraag. De samenvattingen zijn hieronder weergegeven.

2.1. Invloed van de omringende grond op de kadeconstructie

De invloed van de omringende grond aan de actieve (kadezijde) en passieve (waterzijde) kant wordt bepaald door twee factoren, namelijk de korreldruk (met bijbehorende bovenbelasting) en de grondwaterdruk. De passieve gronddruk in samenwerking met het waterpeil werkt de actieve gronddruk tegen om de damwand stabiel te houden.

Als eerst moeten beiden in de verticale richting bepaald worden. De korreldruk moet vervolgens in de horizontale richting bepaald worden om de belasting op de damwand te bepalen. Nadat de horizontale korreldruk is bepaald moet de waterdruk hierbij opgeteld worden om de totale belasting te bepalen. De aanwezige drukken welke veroorzaakt worden door de omringende grond kunnen bepaald worden door middel van aanwezige documentatie en zal later in het onderzoeksrapport beschreven worden. (Briswarenhuis, 2008) (ir.J.G.Rosink, Grondmechanica Deel A, 2005) (ir.J.G.Rosink, Grondmechanica Deel C, 2005) (Smedt, 2013) (Verruijt, 2001) (Wikipedia, 2014) (Vliet, 2002) (Verstrynge, 2007) (Gier, 2009)

2.2. Invloed op de kadeconstructie door gebruik van de haven

Naast de aanwezige belasting van de grond, grondwater en de aanwezige bestrating wordt er ook een belasting uitgeoefend door het gebruik van de haven aan de kadezijde, denk hierbij aan voertuigen die over de kade rijden of vrachten die op de loswal geladen of gelost worden. Deze druk wordt meegenomen in het berekenen van een horizontale korreldruk zoals eerder beschreven. De belasting voor voertuigen wordt berekend aan de hand van de maximaal toelaatbare aslast voor het voertuig of voor de kadeconstructie wordt gerekend met een algemene boven belasting aan de hand van de functie en ligging van de haven. (Briswarenhuis, 2008) (wijk, 2008) (Kleinhou, 2013) (Wit, 2014)

2.3. Invloed van het omringende water op de kadeconstructie

Het water wat tegen de damwand drukt werkt de gronddruk van de actieve zijde tegen en bevordert de stabiliteit van de damwand. Tijdens het berekenen wordt er gerekend met de meest ongunstige waterstand, aangezien er hierdoor minder tegenstand wordt geboden tegen de actieve gronddruk. De druk aan de passieve kant van de kadeconstructie is afhankelijk van de diepte van de haven en de waterstanden (eb en vloed).

Naast de gewone eb en vloed is ook rekening gehouden moet worden met dood- en springtij, bij springtij is de waterstand extremer dan normaal. Dit betekent dat het water hoger staat dan normaal tijdens vloed en dat het water lager komt te staan tijdens eb in vergelijking met een normale getijdencyclus. Dood- en springtij komen altijd twee keer per maand voor dus dit is zeker een punt om mee te nemen. (Rijkswaterstaat) (Welleman) (Briswarenhuis, 2008) (Gemeente reimerswaal)

2.4. Krachten welke vrijkomen op de kadeconstructie door het afmeren

De belangrijkste krachten die vrijkomen op de kadeconstructie zijn de troskrachten van schepen die aanleggen en de aanvaarkrachten van de schepen die de kadeconstructie raken bij het aanvaren. Voor zowel de troskracht als de aanvaarkracht is de grootte van het schip met de bijbehorende waterverplaatsing de belangrijkste factor om deze krachten te bepalen. Naast de waterverplaatsing is het voor de aanvaarkracht ook belangrijk om de hoek van aanvaring mee te nemen om zo de meest ongunstigste hoek te gebruiken bij het bepalen van de aanvaarkracht. Voor de troskracht zijn er aan de hand van de waterverplaatsing richtlijnen opgezet om zo de troskracht van de schepen te bepalen. (Briswarenhuis, 2008) (Kotterspotter) (Lieveense, 2010) (T. Taams, 2001)

2.5. Eisen voor de primaire kering

De dijken rondom Yerseke en de aanwezige kadeconstructies behoren tot de primaire waterkering welke eigendom en verantwoording is van het Waterschap Scheldestromen. Primaire keringen worden elke vijf jaar gecontroleerd of deze nog voldoen aan de gestelde hydraulische randvoorwaarden. Deze randvoorwaarden zullen gedeeltelijk de eisen vormen van het Waterschap. (Waterschap Scheldestromen) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007) (Scheldestromen, 2006)

2.6. Verschillende manieren van onderhoud

Het onderhouden van damwanden kan op een aantal verschillende manieren gedaan worden en is vaak afhankelijk van de aanwezige schadebeelden en de benodigde verlenging van de technische levensduur. Het verduurzamen van een stalen damwand kan gedaan worden door kathodische bescherming toe te voegen waardoor het corrosie proces wordt vertraagd. Ook kan er gekozen worden om een coating aan te brengen die het staal beschermd en afschermt voor corrosie. Ten slotte kan er ook gekozen worden om stalen platen op de zwakke plekken waardoor de damwand zijn functie kan blijven behouden. Vaak wordt er ook gekozen om een combinatie van de bovenstaande methodes toe te passen waardoor er een beter resultaat ontstaat. (Acotec) (Briswarenhuis, 2008) (Gooimeer, 2014) (Hommema) (Jotun) (Van der Heide) (De digitale richtlijn) (EMIS energie- en milieu-informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest, 2012)

2.7. Verschillende materialen voor het realiseren van kadeconstructies

Als er een nieuwe kadeconstructie gerealiseerd moet worden zijn er een aantal materialen waar uit gekozen moet worden. De mogelijke materialen zijn staal, hout, kunststof, (bak)steen en beton zowel prefab als in het werk gestort. De in de loop van het onderzoek zullen er een aantal materialen afvallen aangezien omdat deze niet binnen de visie van de opdrachtgever vallen of omdat deze technisch niet haalbaar zijn. (Prolock) (Briswarenhuis, 2008) (Gampet Products) (Acelor, 2007) (Geotechnics) (Port of Rotterdam)

2.8. Verschillende methodes voor het bouwen van kadeconstructies

Naast de verschillende materialen zijn er ook verschillende methodes om een kadeconstructie te maken. Met staal kan er gekozen voor een damwand of er kan een combiwand gebouwd worden. Met beton zijn er drie manieren om een kadeconstructie te creëren, namelijk met prefab-elementen (damwand of keermuren), een in het werk gestorte damwand of er kan gekozen worden voor een diepwand. Van hout en kunststof kan een kadeconstructie gemaakt worden door middel van damwandplanken. Van (bak)steen kan er voor een kadeconstructie een muur gemetseld worden.

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

Welke methode er gebruikt wordt is afhankelijk van de eisen en de technische haalbaarheid. Verder is het belangrijk dat het gekozen materiaal en bouwmethode de water en grond kerende functie van de kademuur kan garanderen. (Acelor mittal) (Azzouzi, 2003) (Briswarenhuis, 2008) (EMIS energie- en milieu-informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest, 2012) (Port of Rotterdam) (Voorbij Funderingstechniek)

3. Methode

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het onderzoek is uitgevoerd en wat voor stappen er zijn gemaakt om antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag.

Hoofdvraag: Wat is de huidige staat van de kadeconstructies en wat is er per constructie de meest geschikte werkzaamheid, om zodoende de grond- en waterkerende functie van de kadeconstructie te garanderen met in achthouding van de eisen opgesteld door de verschillende actoren?

3.1. Deelvragen

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn er verschillende deelvragen gemaakt. Deze deelvragen zijn vervolgens weer onderverdeeld in subdeelvragen. Door de onderverdeling wordt er dieper ingegaan op de deelvragen waardoor de antwoorden een groter diepgang krijgen en zodoende voor een goede onderbouwing zorgen. De deelvragen zijn als volgt:

1. **Wat is de huidige situatie binnen de haven van Yerseke?**
 - 1.1. Hoe ziet het gebied rond de havens van Yerseke eruit?
 - 1.2. Wat ligt er van kabels en leidingen in de haven?
 - 1.3. Hoe zijn de kadeconstructies opgebouwd?
 - 1.4. Hoe zien de kadeconstructies er nu uit?
2. **Aan welke eisen moeten de kadeconstructies voldoen?**
 - 2.1. Welke eisen worden gesteld door de opdrachtgever (Gemeente Reimerswaal)?
 - 2.2. Welke eisen stelt het waterschap in verband met de primaire kering?
 - 2.3. Welke eisen worden er door de Exploitatiemaatschappij Kijkuit (zoutwaterleiding) gesteld?
 - 2.4. Welke eisen worden er door Scheepswerf van Os gesteld?
 - 2.5. Welke eisen heeft de Machinefabriek Bakker betreffende dit onderwerp?
3. **Wat is de technische levensduur van de verschillende kadeconstructies?**
 - 3.1. Welke krachten kunnen de constructies weerstaan?
 - 3.2. Hoeveel corrosie is er op de damwandplanken ontstaan?
 - 3.3. Welke invloed heeft de corrosie op de damwanden?
4. **Welke methodes zijn er toepasbaar om de grond- en waterkerende functie van de kadeconstructie te garanderen, met in achtneming van de gestelde eisen?**
 - 4.1. Welke levensduur verlengende methodes zijn er toepasbaar?
 - 4.2. Welke vervangende methodes zijn er mogelijk?
5. **Welke methode is er het meest geschikt om per kadeconstructie toe te passen?**
 - 5.1. Welke voor- en nadelen zijn er verbonden aan de verschillende methodes?
 - 5.2. Wat zijn de kosten van de verschillende methodes?

3.2. Uitgevoerde werkzaamheden

Hieronder zal er per deelvraag worden weergegeven welke werkzaamheden er zijn verricht om de (sub) deelvragen te kunnen beantwoorden. Het beantwoorden van deze sub deelvragen leidt tot een onderbouwd antwoord op de deelvraag.

Deelvraag 1: Wat is de huidige situatie binnen de haven van Yerseke?

Sub-deelvraag 1.1. : Hoe ziet het gebied rond de havens van Yerseke eruit?

Het beantwoorden van deze deelvraag is opgesplitst in drie verschillende punten welke samen leiden tot het antwoord op de sub-deelvraag. Deze punten zijn:

- Primaire waterkeringen
- De bodemopbouw
- De hoogteliggingen van de kadeconstructies

Voor de ligging van de primaire waterkering is informatie opgevraagd bij het Waterschap Scheldestromen, waardoor het duidelijk werd waar de grenzen van de primaire waterkering ligt. Verder is hier een beschrijving gegeven over de categorie waarin de waterkering valt, tenslotte is ook beschreven in welke dijkvak deze valt en wat de faalkans is.

Voor de bodemopbouw van de kades is DINO loket geraadpleegd. Er een doorsnede aangevraagd waarop de verschillende grondlagen zijn weergegeven, om zodoende een globaal beeld te kunnen schetsen. Veder zijn er sonderingen aangevraagd om de doorsnede te controleren.

De hoogteliggingen van de kadeconstructies zijn op een aantal verschillende manieren bepaald. Als eerste zijn de oorspronkelijke tekeningen bestudeerd waardoor het duidelijk is geworden op welke hoogtes de bovenkant van de deksloof is aangelegd. Naast de kadehoogtes is er ook gekeken naar de bodem van de havens. Op de oorspronkelijke tekeningen is stonden alleen de oude hoogtes, maar aangezien er recentelijk peilingen zijn uitgevoerd in de havens zijn de dieptes die hierbij gevonden zijn gebruikt bij de beschrijving van de huidige situatie. Tenslotte is er door deze hoogtes te combineren, een te keren hoogte gevonden voor de drie havens.

Sub-deelvraag 1.2.: Wat ligt er aan kabels en leidingen in de haven?

Als eerste is er een Klic melding aangevraagd bij het kadaster. Op de bijgeleverde tekeningen is er een duidelijk beeld van de aanwezige kabels en leidingen te zien. Verder bleek uit het uitgevoerde onderzoek dat er sprake was van een vers waterleiding, welke niet is aangegeven op de Klic. Hiervoor zijn de corresponderende tekeningen opgezocht binnen de gemeente.

Sub-deelvraag 1.3.: Hoe zijn de kadeconstructies opgebouwd?

Om een duidelijk beeld te krijgen hoe de verschillende constructies in elkaar zitten zijn de oorspronkelijke tekeningen bestudeerd en is er per kadeconstructie een beschrijving gemaakt over de manier waarop deze zijn opgebouwd. Naast deze beschrijving zijn er ook tekeningen gemaakt waarop te zien is hoe de opbouw van de kades is gerealiseerd. Naast de nieuwe tekeningen zijn ook de originele tekening bijgevoegd in dit rapport.

Sub-deelvraag 1.4.: Hoe zien de kadeconstructies er nu uit?

Bij het beantwoorden van deze deelvraag zijn een aantal verschillende methodes gebruikt. Als eerste is het rapport van Acotec (gespecialiseerd in damwand onderhoud) gebruikt om een beeld te schetsen over de hoeveelheid aantasting door de corrosie. Naast de inspectie van Acotec is in april ook een inspectie door aannemingsmaatschappij Van Der Straaten uitgevoerd, waarvan de gegevens zijn gebruikt om een beeld te vormen over de staat van de damwand.

Deelvraag 2: Aan welke eisen moeten de kadeconstructies voldoen

Bij het maken van een plan van eisen is eerst een lijst gemaakt met belanghebbende, waardoor het duidelijk is geworden welke organisaties, bedrijven en personen belang hebben bij activiteiten en werkzaamheden in de havens van Yerseke. Vervolgens is er met elk van deze belanghebbende een gesprek gepland, waarbij de eisen zijn besproken.

Deelvraag 3: Wat is de technische levensduur van de verschillende kadeconstructies?

Sub-deelvraag 3.1.: Welke krachten kunnen de constructies weerstaan?

In combinatie met de eerder gemaakte tekeningen is er voor elk van de verschillende kadeconstructies een D-sheet model gemaakt waarin de oude en nieuwe situatie is uitgerekend. Na het testen van deze situaties is er bij de meest ongunstige situatie een belasting toegevoegd. De hieruit voortkomende rapporten zijn vervolgens beschreven in het berekeningsrapport.

Sub-deelvraag 3.2.: Hoeveel corrosie is er op de damwanden ontstaan?

Begin april is er in samenwerking met aannemingsmaatschappij Van Der Straaten een inspectie uitgevoerd waarbij de resterende staaldikte is gemeten. Met de gegevens uit de metingen is vervolgens berekend hoeveel procent van de damwand is weg gecorrodeerd. Naast het percentage weg gecorrodeerd staal is ook de snelheid van de corrosie per jaar uitgerekend.

Sub-deelvraag 3.3.: Welke invloed heeft de corrosie op de damwanden?

Met behulp van een berekeningstechniek welke is aangeleverd door aannemingsmaatschappij Van Der Straaten is er in combinatie met de eerder verzamelde gegevens berekend wat de afname in staaldikte doet met de weerstand die opgewekt wordt door de damwandplank. De vermindering in weerstand en de gevonden maximale momenten hebben geleid tot een levensduur per constructie.

Deelvraag 4: Welke methodes zijn er toepasbaar om de grond- en waterkerende functie van de kadeconstructie te garanderen, met in achtneming van de gestelde eisen?

Als voorbereiding voor de variantenstudie zijn uit de verschillende vervangende constructies en levensduur verlengende methodes de meest gangbare methodes geïnventariseerd. Verder zijn deze methodes voorzien van een beschrijving waarin duidelijk wordt weergegeven hoe deze methodes toegepast worden. Ook is er bij de methodes die niet gebruikt zijn bij de variantenstudie een beschrijving gegeven waarom deze niet toepasbaar of als ongeschikt zijn bevonden.

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

Deelvraag 5: Welke methode is het meest geschikt om per kadeconstructie toe te passen?

Voor deze deelvraag is er in combinatie met de beschrijving uit deelvraag 4 een variantenstudie gemaakt. Naast de beschrijving uit deelvraag 4 zijn er voor de gekozen varianten de voor- en nadelen, functie en kosten beschreven. Na deze beschrijving is er voor elke constructie een afweging gemaakt met behulp van de eerder beschreven voor- en nadelen. De gemaakte afweging is een onderbouwde keuze tussen de verschillende varianten, waarmee deelvraag 5 is beantwoord.

4. Resultaten

In dit hoofdstuk zijn de gevonden resultaten weergegeven van de eerder gestelde deelvragen.

4.1. Huidige situatie

In dit hoofdstuk is er gekeken naar de huidige situatie van het projectgebied. Onder de huidige situatie vallen onder andere de volgende onderwerpen:

- gebiedsomschrijving
- kabels en leidingen
- opbouw van de kadeconstructies
- uitgevoerde inspecties

4.1.1. Gebiedsomschrijving

In het projectgebied zijn een aantal punten beschreven om een goed en duidelijk beeld te creëren over de omgeving en eventuele obstakels. Onder de gebiedsomschrijving valt:

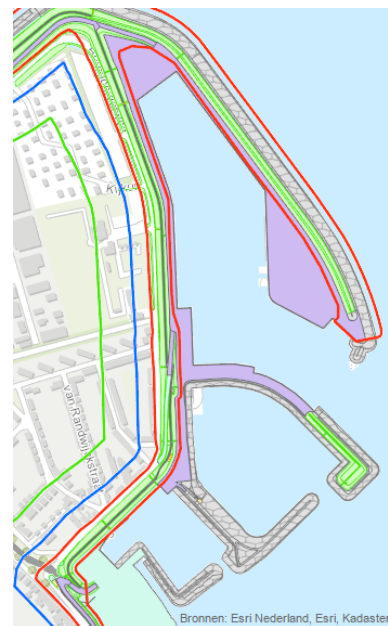
- primaire waterkering
- bodemopbouw
- hoogteligging

4.1.1.1. Primaire waterkering

Zoals te zien op figuur 2 (Waterschap Scheldestromen) liggen de kadeconstructies net buiten de waterstaatswerken (aangegeven met de rode lijn), maar samen met de deze waterstaatwerken vormen de kadeconstructies de primaire waterkering voor dijkkring 31 dijkvak 19 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011), dit specifieke gedeelte van de dijkkring heeft een faalkans van 1:10.000.

Waterkeringen worden onderverdeeld in drie verschillende categorieën. Namelijk categorie a, b en c. Waterkeringen van de categorie a, keren het water rechtstreeks, denk hierbij aan dijken en duinen. Waterkeringen uit de categorie b zijn waterkeringen die a en c keringen met elkaar verbinden, een voorbeeld hiervan is de afsluitdijk. Ten slotte is de functie van waterkeringen die in de categorie c vallen, het indirect beschermen tegen buitenwater.

Dijkvak 19 heeft als functie om het water uit de Oosterschelde te keren hierdoor heeft dit dijkvak de categorie a gekregen. Deze dijkkring loopt van de Schelde-Rijnverbinding tot het kanaal door Zuid-Beveland. De kadeconstructies beschermen de voet van de waterkering en zijn hierdoor deel van de primaire waterkering. Door de invloed van de kadeconstructies op de primaire kering, is het Waterschap Scheldestromen betrokken bij dit project. Deze betrokkenheid zal terug te vinden zijn in het plan van eisen, waarin hun belangen en eisen weergegeven worden.



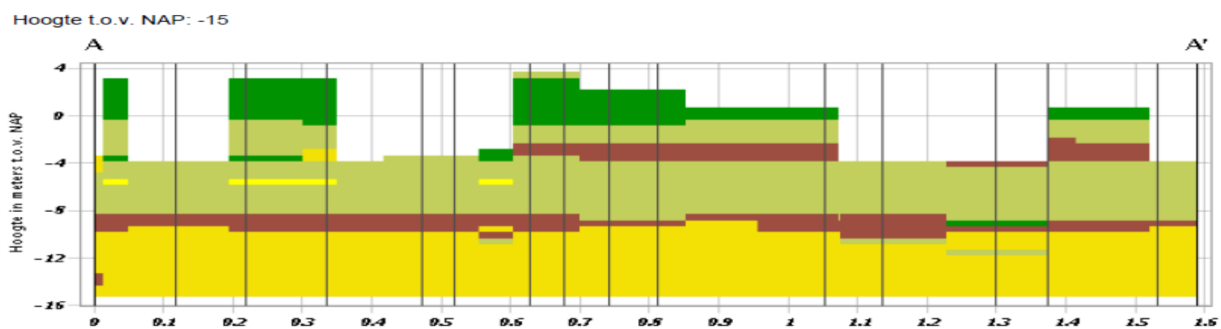
Figuur 2: Legger waterkeringen 2012

4.1.1.2. Bodemopbouw

Voor de bodemopbouw is er gekozen om een doorsnede van de ondergrond aan te vragen bij DINO loket, deze is terug te vinden in bijlage 2 (DINO loket is het uitgifteportaal voor alle ondergrondgegevens, welke zijn verzameld door de Geologische Dienst Nederland). De grondopbouw is als volgt:

- MV tot -0,5 m NAP = klei
- -0,5 m tot -3 m NAP = zanderige klei
- -3 m NAP tot -4 m NAP = veen of combinatie van klei en zand
- -4 m NAP tot -8,5 m NAP = zanderige klei
- -8,5 m NAP tot -9,5 m NAP = veen
- -9,5 m NAP tot -15 m NAP = zand

Zoals hierboven en in figuur 3 is weergegeven, is de opbouw van de grondlagen vrijwel gelijk over de gehele haven, uitzondering hierop is de laag vanaf -3 tot -4 m NAP. Naast de bodemopbouw zijn er ook een aantal sonderingen opgevraagd bij het dinoloket, hiervan is er één opgenomen in bijlage 3, hierop is duidelijk te zien dat de conusweerstand oploopt rond de 9 meter onder NAP, wat wijst op een zandlaag. Dit bevestigt tevens de bodemopbouw zoals hierboven weergegeven. (Dinoloket)

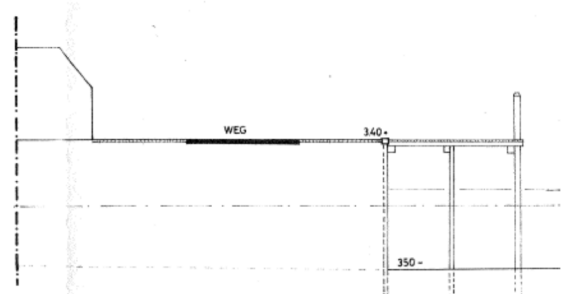


Figuur 3: Bodemopbouw Haven Yerseke

4.1.1.3. Hoogteligging

Bij het beschouwen van kadeconstructies zijn er drie hoogtes van cruciaal belang: de hoogte van de kademuur, de hoogte waterkolom en de LLWS (Laagste LaagWater Spring) welke de laagst voorkomende waterstand tijdens springtij aangeeft. Deze hoogtes zullen hieronder per haven worden beschreven.

De hoogte van de kade en de diepte van het water zijn belangrijk om de te keren hoogte te kunnen bepalen, welke een cruciale rol speelt in het berekenen van een kadeconstructie. Deze hoogtes zijn gevonden op de tekeningen welke uit het archief van de gemeente Reimerswaal komen (figuur 4 en 5). Voor de vissershaven (Koningin Julianahaven) welke is weergegeven op figuur 4 geldt een kadehoogte van 3,4 m boven NAP. Voor de jachthaven (Prins Willem-Alexanderhaven) welke is weergegeven op figuur 4 geldt een kadehoogte van 3 m boven



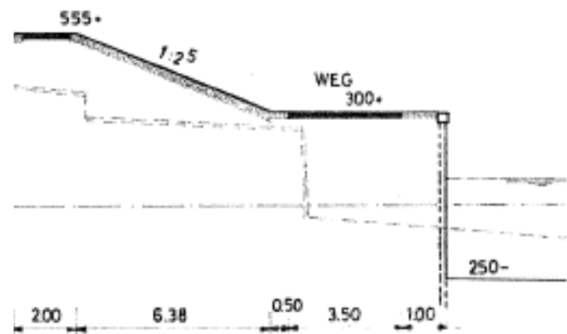
Figuur 4: Kadehoogte Koningin Julianahaven

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

NAP. Ten slotte ligt de kade van de gecombineerde haven (Prinses Beatrixhaven) op gelijke hoogte als de Koningin Julianahaven namelijk 3,4 m boven NAP.

In december 2014 is zijn er peilingen gedaan om de bodemdiepte voor de volledige haven van Yerseke te meten. Uit deze metingen is een peilplan ontstaan welke is opgenomen in bijlage 4. Naast de gewenste diepte wordt er ook rekening gehouden met eventuele baggerwerkzaamheden. Met betrekking tot deze werkzaamheden wordt een halve meter extra gerekend bij de havendiepte. In de Koningin Julianahaven wordt er gerekend met een bodem op 5 meter onder NAP. Voor de Prinses Beatrixhaven wordt er uitgegaan van een bodemdiepte op 4,5 meter onder NAP. Ten slotte wordt er in de Prins Willem-Alexanderhaven gerekend met een diepte van 4 meter onder NAP. Uit het bijgevoegde peilplan en de gevonden kadehoogtes blijken de te keren hoogtes als volgt te zijn.



Figuur 5: Kadehoogte Prins Willem-Alexanderhaven

- Koningin Julianahaven: 8,4 meter
- Prinses Beatrixhaven: 7,9 meter
- Prins Willem-Alexanderhaven: 7 meter.

Voor berekening van een kadeconstructie is het belangrijk om te weten hoeveel meter water er aan de passieve kant tegen de kadeconstructie drukt. Aangezien er meer kracht aan de actieve kant wordt gegenereerd is het ongunstiger als weinig water tegen de kade drukt. Om deze reden is er gerekend met de LLWS. De LLWS is de laagste waterstand die voorkomt tijdens springtij. Deze zeer lage waterstand kan twee keer per maand voorkomen en is dus een factor om rekening mee te houden bij het berekenen van een kadeconstructie. Bij Bergsche Diepsluis in de Oosterschelde is het dichtstbijzijnde meetpunt en hiervoor geldt een LLWS van 1,94 m onder NAP welke is gemeten in 1992. (Rijkswaterstaat)

4.1.2. Kabels en leidingen

In dit hoofdstuk worden de aanwezige kabels en leiding beschreven. Het nagaan van de ligging m.b.t. de aanwezige kabels en leidingen is belangrijk om voor de werkzaamheden uit te voeren, zodat er rekening mee gehouden kan worden bij de (voorbereidende) werkzaamheden. In rabatstrook langs de westelijke kade van de Koningin Julianahaven en een gedeelte van de Prinses Beatrixhaven, liggen twee vers water persleidingen met een diameter van 800 millimeter. Onder de kade van de Beatrixhaven hebben beide leidingen een b.o.b. van 9,2 meter onder NAP. Vanaf de Prinses Beatrixhaven gaan deze leidingen met een gestuurde boring onder de Prinses Beatrixhaven en de Prins Willem-Alexanderhaven door richting de oesterputten. Rond de zout waterleiding ligt een vrije zone van 2,4 meter. Een overzicht waarop de ligging van de zout waterleiding te zien is, is bijgevoegd in bijlage 5.

Naast de zout waterleiding is er ook een Klic aangevraagd voor de haven. Deze is te vinden in bijlage 6. Op de Klic zijn verschillende soorten kabels en leidingen te vinden, waaronder: Gas, water, elektriciteit, data, rioleringen en persleidingen. Uit de bijgevoegde kaarten blijkt dat alle bovenstaande kabel en leiding soorten aanwezig zijn in op het haventerrein. Naast de datakabels

welke zijn weergegeven op de Klic, ligt er ook een datakabel onder de Juliana- en Beatrixhaven, welke bij de eerder benoemde zout waterleiding hoort. Deze datakabel is door middel van een gestuurde boring aangebracht en ligt op zijn diepste punt 18 meter onder NAP. De ligging van de datakabel is weergegeven in bijlage 5.

4.1.3. Opbouw kadeconstructies

De haven van Yerseke bestaat uit een groot aantal verschillende kadeconstructie welke allemaal apart en in verschillende tijden zijn aangelegd. Om meer duidelijkheid te verschaffen in de locatie en opbouw van deze kadeconstructies, is er een overzichtstekening gemaakt van de verschillende kadeconstructies. Deze is weergegeven in bijlage 12.

4.1.3.1. Prins Willem-Alexanderhaven

De eerste categorie welke beschreven wordt, is de Prins Willem-Alexanderhaven (jachthaven). De kadeconstructie in de jachthaven bestaat uit damwandplanken van 15 meter lang, de soort planken die hier volgens tekening moeten staan zijn BZ 17. Maar bij de uitgevoerde metingen kwam naar voren dat dit type niet gebruikt is. Met een gemeten hoogte van 34 cm en een breedte van 50 cm wordt de damwand als een BZ 26 beschouwd (hoogte van 35 cm). Deze planken moeten zoals eerder beschreven een hoogte van 7 meter keren.

Voor de verankering van de damwand is er een gording aangebracht bestaand uit twee UNP 30 profielen welke om de meter ondersteund worden door een steunplaat welke op de damwand is gelast. Het anker zelf bestaat uit een ankerstang van 14 m lang. De anker stangen zijn op de kop van de haven door een bestaande keermuur heen gestoken zijn door welke op 10 meter achter de damwandplanken staat, in de rest van de haven is er geen oude keermuur aanwezig.

Het ankerscherm bestaat per anker uit vier damwandplanken van BZ 17 (volgens tekening) met een totale hoogte van 3 meter en een breedte van 2 meter. Achter de damwandplanken is ook een gording aangebracht welke wederom bestaat uit twee UNP 30 profielen. Door middel van twee steunplaten wordt de gording ondersteund. Op de kop van de haven is de oude verankering hergebruikt waarbij het gebruikte damwandprofiel een Hoesch 95 is, verder is deze verankering onder een hoek van 2 graden ingebracht. De bijbehorende tekening is bijgevoegd in bijlage 11 (tekeningnummer ZB_80_108 en tekeningnummer 050-69-23 voor de voorgaande verankering)

4.1.3.2. Prinses Beatrixhaven

De kadeconstructie in de Prinses Beatrixhaven (gemende haven) is gerealiseerd door middel van damwandplanken PU 20 met een lengte van 14 meter. De te keren hoogte voor dit stuk is 7,9 meter. Aan de westelijke zijde is er een uitsparing gemaakt voor de zout waterleidingen op dit gedeelte is de lengte van de damwand 9,5 meter. Aan de waterzijde zijn er ankerstoelen geplaatst t.b.v. de leeuwankers (groutankers).

Achter de damwandplanken zijn gordingen aangebracht. De eerste gording bevindt zich op 1,9 meter onder de kade. Deze gording bestaat uit twee UNP 280 profielen en wordt ondersteund door een console welke om de drie meter aan de damwand wordt gelast. Ter plaatse van de uitsparing is er een tweede gording aangebracht. Deze gording bevindt zich 4,15 meter onder de kade, deze gording wordt gevormd door een HE-B 300 en wordt ondersteund door een console welke om de drie meter aan de damwand wordt gelast.

De damwand wordt verankerd door middel van een groutanker. Deze groutankers hebben verschillende hoeken maar zijn allen 25 meter lang, waarvan de laatste 11 meter omringd wordt door grout. Naast de groutankers worden de damwandplanken onderling bevestigd door middel van drie hoekankers. Deze hoekankers zijn bevestigd op de bovenste gording. De tekening van deze kadeconstructie is te vinden in bijlage 11 (document nummer 166-002).

4.1.3.3. Koningin Julianahaven BZ 20

De kadeconstructie in een gedeelte van de Julianahaven (vissershaven) wordt gevormd door middel van damwandplanken van het type BZ 20. Deze planken zijn allemaal 13 meter lang en moeten een hoogte van 8,4 meter keren.

Tegen de damwand is een gording geplaatst, deze gording wordt gerealiseerd door middel van twee UNP 280 profielen en zijn op 1,9 meter onder de kade geplaatst. Onderling worden de verschillende lengtes gording met elkaar verbonden door middel van een koppelgording (HE-450 A).

De damwand is geankerd door middel van een ankerwand welke (locatie afhankelijk) 12 of 15,5 meter achter de kadeconstructie staat. Wederom locatieafhankelijk wordt deze gevormd door damplanken van het typ BZ 12 of 17. De planken van het type BZ 12 zijn 4 meter lang en de BZ 17 planken zijn 6 meter lang. De verbinding tussen de twee damwanden is door middel van twee ankerstangen en een wartel gerealiseerd. Achter het damwand scherm is een gording geplaatst welke op dezelfde manier als is gerealiseerd als de gording van de eerste damwand. Tekeningen van dit stuk kadeconstructie zijn te vinden in bijlage 11 (code H-1-AM).

4.1.3.4. Koningin Julianahaven Larssen 3N

Het nieuwste gedeelte van de haven welke is aangelegd in 1996 bestaat uit Larssen 3N planken welke een lengte hebben van 13 meter. Deze kadeconstructie moet een hoogte van 8,4 meter keren. Aan de waterzijde zijn er ankerstoelen geplaatst t.b.v. de leeuwankers (groutankers).

Achter de damwand is een gording gemaakt welke bestaat uit een HE-B 300 welke door middel van bouten is verbonden aan de damwand. Het hart van deze gording zit op 1,7 meter boven NAP. De gording wordt onderling verbonden door middel van koppelplaten welke op de HE-B 300 zijn gebout.

De damwand is verankerd door middel van groutankers. Deze groutankers zijn 25 meter lang en worden onder een hoek van 45 graden de grond in gebracht. Van deze 25 meter wordt er 11 meter omringd met grout. Tekeningen van dit gedeelte kadeconstructie zijn weergegeven in bijlage 11 (Documentnummer 116-020)

4.1.4. Huidige staat van de kadeconstructies

Hieronder zijn de verschillende inspecties en de resultaten hiervan weergegeven. De resultaten zijn per kadeconstructie weergegeven. De gegevens die hieronder zijn weergegeven zijn ook gebruikt gedurende de rest van het onderzoek.

4.1.4.1. Gebruikte metingen

In 2012 is er door Acotec een inspectie uitgevoerd in de Koningin Julianahaven waarbij de volgende metingen zijn uitgevoerd (zie bijlage 7):

- BART-test
- Potentiaalmeting

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

- Monsters nemen
- Staaldiktemeting

Voor deze inspecties is gebruik van een droogzet installatie welke tegen de damwand is bevestigd en hier te allen tijde in gewerkt kan worden. Als onderdeel van de inspectie is het oppervlak volledig schoon gemaakt. Waardoor eventuele beschadigingen goed zichtbaar zijn tijdens de inspectie.

BART-test

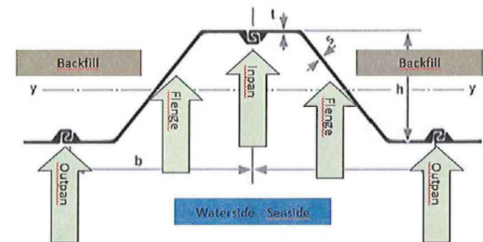
De BART-test wordt gebruikt om aan te tonen of er verschillende soorten bacteriën aanwezig zijn op de damwand. Deze bacteriën veroorzaken schade in de vorm van roest aan de damwand, dit wordt ook wel MIC (Microbially Induced Corrosion) genoemd. Alhoewel deze metingen wel zijn uitgevoerd kwamen hier geen resultaten uit aangezien er op de monsters te weinig materiaal aanwezig was.

Potentiaalmeting

Een potentiaalmeter wordt gebruikt om te bepalen of een stalen of ijzeren object aan het corroderen is, aangezien corrosie wordt veroorzaakt door spanningsverschil ook wel potentiaalverschil genoemd. Bij deze meting wordt er gebruik gemaakt van een referentie-elektrode en een voltmeter. Als alles is verbonden met de meter wordt de elektrode op 10 cm afstand van de damwand in het water gelaten, de metingen welke worden weergegeven op de meter worden vervolgens genoteerd.

Monsters nemen

Tijdens de inspectie zijn er voor elke locatie een aantal monsters genomen. Het monster worden door middel van een magnetische boor genomen. Met deze monsters wordt de staat van de damwand bepaald, hierdoor kan de staat van zowel de voor als achterkant van de damwand bepaald worden. Naast de staat van de damwand kunnen deze monsters ook gebruikt worden om de (resterende) dikte te bepalen. Op de plekken waar de monsters zijn genomen worden stalen platen op de damwand gelast om zo de damwand te beschermen.



Figuur 6: Verdeling van de zones

Staaldiktemeting

Bij een staaldiktemeting worden de damwandplanken onderverdeeld in drie zones, namelijk de outpan, inpan en flinge (flank) zoals te zien op figuur 6, dit wordt gedaan om de verschillen in het corrosiepatroon en corrosiesnelheid weer te geven. Naast de verdeling in zones is er ook een verdeling in hoogte toegepast. Om de halve meter wordt er een meting gedaan om zo de verschillen tussen de verschillende dieptes weer te geven. Verder worden er metingen gedaan door middel van het puls-echo principe. Dit betekent dat er een puls door het staal wordt gestuurd en de tijd die deze puls erover doet om terug te keren geeft de dikte van het staal aan.



Figuur 7: Staaldikte meten

Naast de staaldikte meting welke door Acotec is uitgevoerd is er ook een staaldiktemeting uitgevoerd door Van De Straten. Deze meting begon op 1 meter onder de deksloof en is vervolgens om de meter uitgevoerd, tot 4 meter onder de deksloof. Tijdens deze inspectie is er geen gebruik gemaakt van een droogzet installatie maar is er gewerkt vanaf een sloep welke tegen de damwand is aangelegd. Vervolgens worden de meetpunten schoongemaakt en wordt de staaldikte gemeten door middel van een staaldiktemeter (zie figuur 7). De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in bijlage 8.

4.1.4.2. Prins Willem-Alexanderhaven

Voor de Prins Willem-Alexanderhaven is in 2012 naast een visuele inspectie alleen een potentiaalmeting uitgevoerd. Uit de potentiaalmeting blijkt ook de damwand in de Alexanderhaven in een actief corroderend milieu te staan. Uit de visuele inspectie blijkt er qua begroeiing dezelfde soorten en hoeveelheden voor te komen op de damwand als in de Julianahaven. Verder is er ook sprake van grote hoeveelheden scaling op de bovenzijde van de damwand.

Volgens de aanwezige tekeningen zou de damwand een BZ 17 moeten zijn. Dit profiel heeft een flensdikte van 10 mm en een lijfdikte van 9,5 mm. Maar uit de uitgevoerde staaldiktemetingen en uit de maten van de damwandplanken, blijkt dat er naar alle waarschijnlijkheid een BZ26 is toegepast. Dit profiel heeft een lijfdikte van 10 mm en een flensdikte van 13,2 mm. Uit de metingen blijkt dat er op de zwakste punten nog een dikte van 6,2 mm (lijf) aanwezig is en op de flens een 7,4 mm.

4.1.4.3. Prinses Beatrixhaven

De Beatrixhaven is lichtelijk begroeid met verschillende organismen, deze organismen zijn van dezelfde soort als bij de andere havens maar in veel lichtere mate. Verder is er in tegenstelling tot de andere damwanden weinig tot geen scaling aangetroffen op de damwand,

Het gebruikte profiel is hier een PU20 (U-profiel) welke een flensdikte heeft van 12,4 mm en een lijfdikte van 10 mm. De laagste staalmeting geeft hier een dikte van 7,28 mm op het lijf en een dikte van 8,81 op de flens.

4.1.4.4. Koningin Julianahaven BZ 20

In dit gedeelte van de haven is veel begroeiing aangetroffen op de damwandplanken, welke bijdraagt aan de corrosiesnelheid van het staal. Uit de potentiaal metingen blijkt dat over de gehele diepte de damwand actief aan het corroderen is. Dat de damwand actief aan het corroderen is blijkt ook uit de verdere inspecties. Zo is er bijvoorbeeld veel scaling aangetroffen boven de waterlijn en zijn er verschillende groeven en putcorrosie aangetroffen onder de waterlijn. Uit het genomen monster blijkt de er veel aantasting is aan de voorkant van de damwand. Ondanks het zoute grondwater is er weinig tot geen aantasting van de achterkant.

Van het originele profiel welke een dikte heeft van 14 mm en op de flanken 10 mm is er in de slechtste gevallen een vermindering in profiel gemeten van 61% wat resulteert in een resterende dikte van 5,46 mm. Verder is komt er uit de gegevens ook naar voren dat de out- en inpan zwaarder zijn aangetast dan de flanken, aangezien er op de flanken maar 15% is weg gecorrodeerd.

Een ander schadebeeld aangetroffen op damwand is putcorrosie welke 4 tot 6 mm dieper is dan het gemiddelde damwandoppervlak. Door de putcorrosie zijn er ook gaten aangetroffen in de damwand waardoor het achterliggende zand naar buiten stroomt. Veel van deze gaten bevinden zich ook rond aanwezige ankers. Het wegspoelende zand heeft tot gevolg dat de kade verzakt aangezien de

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

fundering voor de verharding wegspoelt, tevens betekend dit dat de kadeconstructie zijn grond en water kerende functie niet meer vervult.

Uit de inspectie van Van de Straten blijkt dat de het damwandprofiel het meeste is weg gecorrodeerd rond de 1 en 2 meter onder de deksloof. Uit de metingen zijn er waardes gekomen waaruit blijkt dat de dikte van de damwand op sommige plekken onder de 5 mm zit. Hierbij zit de laagste meting op een gemeten dikte van 4,8 mm.

4.1.4.5. Koningin Julianahaven Larssen 3N

Bij inspectie van de Larssen damwand is ook veel begroeiing aangetroffen en is er geconstateerd door middel van de potentiaal metingen dat er hier ook actieve corrosie plaats vindt over het volledige oppervlakte van de damwandplanken. Verder zijn is hier scaling aangetroffen boven de waterlijn en putcorrosie onder de waterlijn. Uit de genomen monsters blijkt de er veel aantasting is aan de voorkant van de damwand. Ondanks het zoute grondwater is er weinig tot geen aantasting van de achterkant.

Het originele profiel heeft een dikte van 13 mm en een dikte van 8,5 mm op de flanken van het profiel. Uit de uitgevoerde staaldiktemetingen komt een overgebleven dikte van 6,32 mm, hieruit blijkt dat er in de loop van 17 jaar 51% van de damwand is gecorrodeerd.

De putcorrosie op deze soort damwand bedraagt een gemiddelde van 4,5 mm en zorgt voor een aantal gaten in de damwand. Het dunst gemeten punt heeft een dikte van 4,1 mm. Aangezien er gaten zijn aangetroffen waar het achterliggende zand door naar buiten komt is hier ook sprake van het niet vervullen van de grond- en waterkerende functie. Door het verlies van de grond kerende functie treedt er ook verzakking op van de kade, maar de verzakking gaat langzamer in vergelijking met de rest van de koningin Julianahaven.

4.2. Plan van Eisen

Voor het onderzoek is een plan van eisen opgesteld in samenwerking met de betrokken partijen, welke hieronder is weergegeven. Deze eisen zijn mee genomen in de uitwerking van het onderzoek en dienden als begrenzing.

4.2.1. Eisen opdrachtgever

Vanuit de opdrachtgever (gemeente Reimerswaal) zijn er een aantal eisen opgegeven. Deze eisen hebben met name betrekking op de kadeconstructie en de indeling van de havens. De havens zijn belangrijk voor de opdrachtgever aangezien deze eigenaar, beheerder en exploitant is.

- Bij vervanging van de damwandconstructie moet de levensduur van de nieuwe constructie 40 jaar bedragen.
- Bij onderhoud van de damwandconstructie moet de nieuwe levensduur 20 jaar bedragen.
- Bij kadeconstructies waarbij damwanden worden gebruikt mogen deze maximaal 0,5 % van de lengte doorbuigen.
- Als belasting moet rekening gehouden worden met het grootste schip welke in de haven aanlegt.
- De kadeconstructies moeten op dezelfde manier worden aangekleed als in de huidige situatie.
- De vorm en het oppervlakte van de haven moeten behouden blijven.

- De eventueel nieuwe primaire waterkering moet voltooid zijn voor de oude doorbroken mag worden.
- Er wordt geen rekening gehouden met een eventuele toekomstige uitbreiding van de haven.
- Voor de bodemdiepte moet er van het toetspeil 0,5 meter worden afgetrokken in verband met eventuele baggerwerkzaamheden.
- Als laagste waterstand moet er rekening met de LLWS gemeten bij Bergsche Diepsluis Oosterschelde.
- Voor de hoogste waterstand moet er gerekend worden met de waarden uit de hydraulische randvoorwaarden 2006, uitgegeven door het ministerie van Verkeer en Waterstaat.

4.2.2. Eisen exploitatiemaatschappij Kijkuit

Exploitatiemaatschappij Kijkuit heeft een vers water leiding (persleiding) in de haven liggen om de mossel- en oesterbedrijven te kunnen voorzien van het benodigde water. Aangezien deze zeer dicht bij de kadeconstructie ligt en eventuele werkzaamheden aan de kade hierop van invloed zijn, heeft de beheerder van deze leiding de volgend eisen doorgegeven:

- De zoutwaterleiding mag niet worden afgesloten tijdens werkzaamheden.
- Rond de zoutwaterleiding mogen geen zettingen optreden.
- De zoutwaterleiding moet op exact dezelfde locatie blijven liggen.
- De zoutwaterleiding mag niet beschadigt worden tijdens werkzaamheden.

4.2.3. Eisen Scheepswerf van Os

De scheepswerf in Yerseke is direct aan de kade gevestigd en maakt ook veel gebruik van dit gebied. Aangezien eventuele werkzaamheden direct invloed hebben op de productie binnen de scheepswerf zijn hiervoor de volgende eisen opgesteld:

- De kadeconstructie mag niet lichter worden uitgevoerd in verhouding met de huidige constructie.
- Moet zware lasten kunnen weerstaan. (180 ton Rupskraan)
- Hellingbaan is niet verbonden met de damwand en wordt als los aangenomen.
- Vloer is apart gefundeerd, los van de damwand.
- Boten worden alleen op de helling getrokken bij hoog water.

4.2.4. Eisen Waterschap Scheldestromen

Het havengebied ligt over het algemeen buitendijks, maar de kadeconstructie zorgen voor stabiliteit aan de voet van de dijk. Naast deze stabiliserende functie moeten er tevens een watervergunning worden aangevraagd als er werkzaamheden worden uitgevoerd. Voor de kadeconstructies worden de volgende eisen gesteld:

- Eventuele werkzaamheden moeten buiten het stormseizoen (1 oktober – 1 april) worden uitgevoerd, tenzij hier de benodigde maatregelen voor worden getroffen.
- De stabiliteit van de totale kering moet voldoen, dit moet weergegeven worden door middel van de benodigde berekeningen.

4.2.5. Eisen machinefabriek Bakker

De machinefabriek heeft een droogvaldok in de Julianahaven en verricht werkzaamheden aan schepen op en rond de kadeconstructie. Betreffende de werkzaamheden van de machinefabriek zijn de volgende eisen opgesteld.

- Tijdens de uitvoering moet een goede afsluiting van het terrein gehandhaafd blijven.
- Rupskraan van de scheepswerf komt ook op het terrein van de machinefabriek.
- De aanwezige kraan van de machinefabriek veroorzaakt een belasting van 30 ton, deze stempelt op 4 punten.
- Er mogen in de verhardingen geen holtes / zwakke plekken ontstaan in verband met de stempels van de kraan.
- Een gefaseerde uitvoering waarbij er stukken van 50 meter vrijgelaten moeten worden om de werkzaamheden van de machinefabriek zo min mogelijk te storen.
- De uitgang van de loods moet vrij worden gehouden i.v.m. werkzaamheden.
- Het droogvaldok moet zijn oorspronkelijk afmetingen behouden.
- Het droogvaldok moet na de werkzaamheden in de oorspronkelijke staat terug gebracht worden.

4.3. Resterende Levensduur

Hieronder wordt er een samenvatting gemaakt van de gevonden resultaten met betrekking tot het berekeningsrapport. Er zullen hier dus alleen de gevonden resultaten worden weergegeven. Het volledige rapport is terug te vinden in bijlage 9.

4.3.1. D-sheet modellen

Voor elk van de vier kadeconstructies is een model gemaakt om deze in D-sheet te berekenen. Het resultaat van deze berekeningen zijn de maximale momenten welke op de damwand kunnen komen te staan als deze belast worden door een verkeersbelasting welke zich van 1 tot 5 meter van de deksloof bevindt en uit een belasting van 20 kN/m^2 bestaat. Verder is de weerstand vanuit de plank vergeleken met de maximale weerstand. Naast het maximale moment en de weerstand die wordt opgewekt door de plank is er ook gekeken naar de krachten op de ankers en of deze ankers voldoende weerstand hebben om deze te weerstaan. Bij het berekenen is er gewerkt met nieuwe planken die hierdoor hun originele staaldikte nog hebben. Naast de nieuwe planken is gerekend zonder veiligheid over het maximale moment.

Hieronder zal er per constructie de belangrijkste resultaten worden weergegeven.

Prins Willem-Alexanderhaven

Voor de Alexanderhaven zijn de volgende resultaten gevonden:

- Maximale moment = 363,3 kNm
- Weerstand (BZ 26) = 624,0 kNm
- Kracht op de ankers = 162,7 kN/m
- Toelaatbare ankerkracht = 393,0 kN/m
- Maximale doorbuiging = 47 mm

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

- Toelaatbare doorbuiging = 75 mm

Uit de bovenstaande gegevens blijkt dat de kadeconstructie met de nieuwe planken op alle punten voldoet.

Prinses Beatrixhaven

Voor de Beatrixhaven zijn de volgende resultaten gevonden:

- Maximale moment = 415,5 kNm
- Weerstand (PU 20) = 480,0 kNm
- Kracht op de ankers = 266,1 kN/m
- Toelaatbare ankerkracht = 635,8 kN/m
- Maximale doorbuiging = 62 mm
- Toelaatbare doorbuiging = 71 mm

Uit de bovenstaande gegevens blijkt dat de kadeconstructie met de nieuwe planken op alle punten voldoet.

Koningin Julianahaven (Belval)

Voor de Julianahaven (Belval) zijn de volgende resultaten gevonden:

- Maximale moment = 473,0 kNm
- Weerstand (BZ 20) = 492,0 kNm
- Kracht op de ankers = 275,4 kN/m
- Toelaatbare ankerkracht = 393,0 kN/m
- Maximale doorbuiging = 93 mm
- Toelaatbare doorbuiging = 67 mm

Uit de bovenstaande gegevens blijkt dat de kadeconstructie met de nieuwe planken voldoet qua weerstand en toelaatbare ankerkracht. Maar dankzij de opgestelde doorbuigingseis voldoet de constructie niet.

Koningin Julianahaven (Larssen)

De constructie die op dit moment aanwezig is in de haven (zoals beschreven in de huidige situatie), bleek op geen enkel punt te voldoen, waardoor D-sheet het model niet kon uitrekenen. Om toch een maximaal moment weer te kunnen geven is er een nieuwe constructie uitgerekend. Deze constructie maakt gebruik van sterkere en langere planken.

- Maximale moment = 679,5 kNm
- Weerstand oude planken (Larssen 3N) = 384,0 kNm
- Weerstand (Larssen 25) = 730,0 kNm

Datum: 28-05-2015

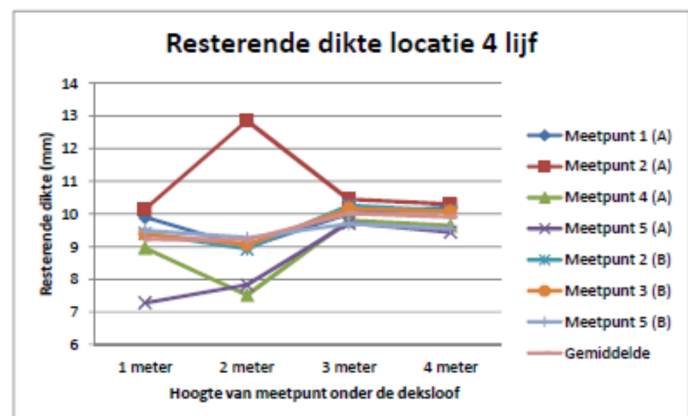
Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

- Kracht op de ankers = 360,2 kN/m
- Toelaatbare ankerkracht = 510,0 kN/m
- Maximale doorbuiging (huidig)= 130 mm
- Toelaatbare doorbuiging (huidig)= 67 mm
- Maximale doorbuiging (nieuw)= 85 mm
- Toelaatbare doorbuiging (nieuw)= 77 mm

Uit de bovenstaande gegevens blijkt de huidige situatie alleen te voldoen op de ankers. Aangezien de weerstand ruim overschreden wordt, de nieuwe constructie heeft wel voldoende weerstand. Bij de opgestelde doorbuigingseis voldoet geen van beide constructies.

4.3.2. Corrosie op de damwand

De resultaten van de uitgevoerde inspectie geven weer hoeveel staal er per locatie (6 locaties) is weg gecorrodeerd. De metingen zijn over een breedte van 4 planken en tot een diepte van 4 meter onder de bovenkant van de deksloof uitgevoerd. Als eerste zijn deze gegevens verwerkt, waardoor er per meetlocatie en diepte is weergegeven welke hoeveelheid staal er gemiddeld is gecorrodeerd. De verschillende meetpunten zijn per locatie tegenover elkaar gezet in een grafiek, waardoor de verschillen visueel zijn weergegeven. Zie figuur 8.



Figuur 8: Grafiek m.b.t. de resterende dikte

Vervolgens is er per locatie uitgerekend wat de corrosiesnelheid per jaar is. Hier is gelijk de corrosiesnelheid bepaald die gebruikt is in de rest van de berekening. Voor deze snelheden is er gekeken naar de diepste meetpunten aangezien een afname op een dieper punt meer invloed heeft op de resterende levensduur. Voor de verschillende constructies zijn de volgende snelheden gebruikt:

- Alexanderhaven: 0,042 mm per jaar
- Beatrixhaven: 0,002 mm per jaar
- Julianahaven (Belval): 0,044 mm per jaar
- Julianahaven (Larssen): 0,012 mm per jaar

Deze snelheden gaan er van uit dat de corrosiesnelheid lineair verloopt.

4.3.3. Berekening resterende levensduur

Ten slotte is er een berekening uitgevoerd waarmee de levensduur van de verschillende constructie is bepaald. De berekening gaat uit van een percentage flensdikte vermindering welke 1 op 1 gelijk

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

staat een afname in weerstand. Voor elk van de constructies is de technische levensduur van de constructie berekend met de nieuwe levensduur. Hier is vervolgens de leeftijd vanaf getrokken, waardoor de resterende levensduur bekend wordt. De resterende levensduur is als volgt:

- Alexanderhaven: 98 jaar
- Beatrixhaven: 791 jaar
- Julianahaven: 116 jaar

Voor de Julianahaven is de levensduur van de nieuwe constructie bepaald, waarbij gebruik is gemaakt van Larssen 25 planken.

4.4. Variantenstudie

Voor de variantenstudie zijn als eerste de meest gangbare methodes beschreven, voor zowel de conserveringsmethodes als de vervangende methodes (het volledige rapport is weergegeven in bijlage 10). Naast de beschrijving is er ook een onderbouwde keuze gemaakt, waarin een afweging is gemaakt voor de methodes die zijn meegenomen in de variantenstudie. De volgende methodes zijn meegenomen in de variantenstudie:

- Coaten van de damwand
- Kathodische bescherming (opofferanodes)
- Versterken van de damwand
- Vervangen door enkelvoudige damwand

Voor elke van deze varianten zijn vervolgens de voor- en nadelen weergegeven per methode. Naast de voor- en nadelen zijn ook de kosten voor het uitvoeren van de verschillende methodes berekend. Hieronder zijn de kosten voor de verschillende methodes per kadeconstructie weergegeven (kosten per jaar):

Kosten voor het coaten van de damwand

Voor de kosten wordt er uitgegaan van een economische levensduur van 20 jaar, zoals beschreven in het plan van eisen. Op de site (Acotec) van Acotec wordt er een gezegd dat de coating 30 jaar mee gaat. Ondanks deze stelling, wordt er maar een garantie van 10 jaar gegeven. Aangezien deze getallen uitgaan van uitersten, is er gekozen om de kosten over 20 jaar te spreiden.

In bijlage 1 van de variantenstudie is er een aantal pagina's uit het volledige rapport van Acotec opgenomen. Hierin staat dat het aanbrengen van de coating op een oppervlakte van 20.000 m² staal in totaal € 1,6 miljoen kost. Terug gerekend kost dit € 80,- per vierkante meter. Hieronder is er per constructie weergegeven, wat de kosten zijn voor het aanbrengen van de coating.

In de Alexanderhaven staan Belval z 26 planken (te coaten lengte is 7 meter), met een totaal oppervlak per plank van 10,92 m². In de Alexanderhaven staan in totaal 400 planken. Dit brengt het totale oppervlak van de haven op 4368 m². Met een prijs van € 80,- per vierkante meter komt dit uit op een afgeronde prijs van € 349.500,-. Met een economische levensduur van 20 jaar zal het € 17.475,- per jaar kosten om de damwandplanken van de Alexanderhaven te coaten.

Voor de Beatrixhaven zijn er PU20 planken (te coaten lengte is 7,9 meter) gebruikt. De PU20 planken hebben een oppervlakte van 11,46 m² en de kade is opgebouwd door middel van 127 planken. Het

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

totale oppervlak van de Beatrixhaven is in 1455 m^2 . De afgeronde prijs voor het coaten van de Beatrixhaven bedraagt € 116.400,-. Met een economische levensduur van 20 jaar zal het € 5.820,- per jaar kosten om de damwandplanken van de Beatrixhaven te coaten.

Het gedeelte van de Julianahaven welke bestaat uit Belval z 20 planken, telt in totaal 2174 planken (te coaten lengte van 8,4 meter). Elke plank heeft een oppervlakte van $12,18 \text{ m}^2$, waardoor de gehele constructie een oppervlakte van 26480 m^2 heeft. Het coaten van dit oppervlak kost € 2.118.400,-. Met een economische levensduur van 20 jaar zal het € 105.920,- per jaar kosten om de damwandplanken van de Julianahaven (Belval) te coaten.

Het gedeelte van de Julianahaven welke bestaat uit Larssen 3N planken, telt in totaal 333 planken (te coaten lengte van 8,4 meter). Elke plank heeft een oppervlakte van $12,94 \text{ m}^2$, waardoor de gehele constructie een oppervlakte van 4309 m^2 heeft. Het coaten van dit oppervlak kost € 344.720,-. Met een economische levensduur van 20 jaar zal het € 17.236,- per jaar kosten om de damwandplanken van de Julianahaven (Larssen) te coaten.

Kathodische bescherming

De anodes worden door middel van een metalen strip aan de damwand bevestigd op een diepte van 2 meter onder NAP. Eerst wordt er aan de damwand een montagestrip gelast en vervolgens wordt de strip met de daadwerkelijke anode aan de montagestrip vast gebout. In bijlage 2 is een offerte opgenomen voor het plaatsen van de anodes. Voor de havens in Yerseke wordt er gewerkt met de zinkanodes. Deze anodes worden om de 1,6, 2 of 2,4 meter geplaatst (afhankelijk van het damwandprofiel).

De damwand in de Alexanderhaven heeft een totale lengte van 200 meter en de planken hebben een breedte van 0,5 m. In dit gedeelte van de haven zullen de anodes om de 2 meter geplaatst worden. Dit komt uit op 100 anodes voor de complete Alexanderhaven. Aangezien de anodes om de drie jaar vervangen moeten worden zijn er in totaal 700 anodes nodig. De totale kosten zijn € 195,- x 700 = € 136.500,- over een periode van 20 jaar oftewel € 6825,- per jaar voor de Alexanderhaven.

De damwand in de Beatrixhaven heeft een totale lengte van 75 meter en de planken hebben een breedte van 0,6 m. In dit gedeelte van de haven zullen de anodes om de 2,4 meter geplaatst worden. Dit komt uit op 32 anodes voor de complete Beatrixhaven. Aangezien de anodes om de drie jaar vervangen moeten worden zijn er in totaal 224 anodes nodig. De totale kosten zijn € 195,- x 224 = € 43.680,- over een periode van 20 jaar oftewel € 2184,- per jaar voor de Beatrixhavenhaven.

De damwand in de Julianahaven (Belval) heeft een totale lengte van 1087 meter en de planken hebben een breedte van 0,5 m. In dit gedeelte van de haven zullen de anodes om de 2 meter geplaatst worden. Dit komt uit op 544 anodes voor de complete Julianahaven (Belval). Aangezien de anodes om de drie jaar vervangen moeten worden zijn er in totaal 3808 anodes nodig. De totale kosten zijn € 195,- x 3808 = € 742.560,- over een periode van 20 jaar oftewel € 37.128,- per jaar voor de Julianahaven (Belval).

De damwand in de Julianahaven (Larssen) heeft een totale lengte van 134 meter en de planken hebben een breedte van 0,4 m. In dit gedeelte van de haven zullen de anodes om de 1,6 meter geplaatst worden. Dit komt uit op 84 anodes voor de complete Julianahaven (Larssen). Aangezien de

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

anodes om de drie jaar vervangen moeten worden zijn er in totaal 588 anodes nodig. De totale kosten zijn € 195,- x 588 = € 114.660,- over een periode van 20 jaar oftewel € 5733,- per jaar voor de Julianahaven (Larssen).

Versterken van de damwand

Voor het versterken van de damwand wordt er gewerkt met staal platen van ongeveer 20 kg per stuk. Platen van 1 x 50 x 50 cm wegen 19,5 kg aangezien staal een soortelijk gewicht heeft van 7800 kg/m³. Het versterken wordt uitgevoerd in de bovenste 2 meter van de damwand, ook wel de splash-zone genoemd. Hier is de corrosie over het algemeen het ergste en heeft het versterken meer nut. Aangezien het van te voren niet mogelijk is om te zeggen hoeveel platen er gebruikt moeten worden om de damwand te versterken, wordt er vanuit gegaan dat van de bovenste 2 meter circa 10 % van het oppervlakte versterkt moet worden.

In de Alexanderhaven staan 400 planken van het type BZ 26. Bij deze planken hebben de eerste twee meter een oppervlakte van 3,12 m². In totaal heeft de bovenste twee meter een oppervlakte van 1248 m². Het oppervlakte wat vervangen wordt bestaat uit 124,8 vierkante meter. Een plaat van 50 bij 50 centimeter heeft een oppervlakte van 0,25 vierkante meter. Er zijn dus per vierkante meter 4 platen nodig. Dit brengt het volledige aantal platen voor de Alexanderhaven op 500. De kosten hiervoor zijn € 150.000,- met een levensduur van 20 jaar. Per jaar zijn de kosten € 7.500,- voor de Alexanderhaven.

In de Beatrixhaven staan 127 planken van het type PU 20. Bij deze planken hebben de eerste twee meter een oppervlakte van 2,9 m². In totaal heeft de bovenste twee meter een oppervlakte van 368,3 m². Het oppervlakte wat vervangen wordt bestaat uit 36,8 vierkante meter. Een plaat van 50 bij 50 centimeter heeft een oppervlakte van 0,25 vierkante meter. Er zijn dus per vierkante meter 4 platen nodig. Dit brengt het volledige aantal platen voor de Beatrixhaven op 148. De kosten hiervoor zijn € 44.400,- met een levensduur van 20 jaar. Per jaar zijn de kosten € 2.220,- voor de Beatrixhaven.

In de Julianahaven (Belval) staan 2174 planken van het type BZ 20. Bij deze planken hebben de eerste twee meter een oppervlakte van 2,9 m². In totaal heeft de bovenste twee meter een oppervlakte van 6304,6 m². Het oppervlakte wat vervangen wordt bestaat uit 630,5 vierkante meter. Een plaat van 50 bij 50 centimeter heeft een oppervlakte van 0,25 vierkante meter. Er zijn dus per vierkante meter 4 platen nodig. Dit brengt het volledige aantal platen voor de Julianahaven (Belval) op 2522. De kosten hiervoor zijn € 756.600,- met een levensduur van 20 jaar. Per jaar zijn de kosten € 37.830,- voor de Julianahaven (Belval).

In de Julianahaven (Larssen) staan 333 planken van het type Larssen 3N. Bij deze planken hebben de eerste twee meter een oppervlakte van 3,08 m². In totaal heeft de bovenste twee meter een oppervlakte van 1025,6 m². Het oppervlakte wat vervangen wordt bestaat uit 102,6 vierkante meter. Een plaat van 50 bij 50 centimeter heeft een oppervlakte van 0,25 vierkante meter. Er zijn dus per vierkante meter 4 platen nodig. Dit brengt het volledige aantal platen voor de Julianahaven (Larssen) op 411. De kosten hiervoor zijn € 123.300,- met een levensduur van 20 jaar. Per jaar zijn de kosten € 6.165,- voor de Julianahaven (Larssen).

Vervangen door enkelvoudige damwand

Om de kosten van een nieuwe enkelvoudige damwand met groutankers te bepalen, is er eerst een schets (zie bijlage 4) van een mogelijke constructie getekend. Deze schets is verstuurd naar Van Der Straaten voor een offerte. Van Der Straaten was net klaar met het maken van een prijs voor een soortgelijke constructie. In bijlage 5 is de mail met het antwoord en de benodigde tekeningen bijgevoegd. Het plaatsen van een enkelvoudige damwand constructie kost € 5.500,- per meter.

De Alexanderhaven heeft een lengte van 200 meter. De kosten van een nieuwe damwand zijn hier € 1.100.000,- met een economische levensduur van 40 jaar. Per jaar kost dit € 27.500,- voor de complete Alexanderhaven.

De Beatrixhaven heeft een lengte van 75 meter. De kosten van een nieuwe damwand zijn hier € 412.500,- met een economische levensduur van 40 jaar. Per jaar kost dit € 10.313,- voor de complete Beatrixhaven.

De Julianahaven (Belval) heeft een lengte van 1087 meter. De kosten van een nieuwe damwand zijn hier € 5.978.500,- met een economische levensduur van 40 jaar. Per jaar kost dit € 149.463,- voor de complete Julianahaven (Belval).

De Julianahaven (Larssen) heeft een lengte van 134 meter. De kosten van een nieuwe damwand zijn hier € 737.000,- met een economische levensduur van 40 jaar. Per jaar kost dit € 18.425,- voor de complete Julianahaven (Larssen).

Tenslotte zijn er voor al de constructies afwegingen gemaakt, waarbij rekening is gehouden met de eerder beschreven kosten en de voor- en nadelen. De resultaten uit de variantenstudie bestaan zodoende uit een onderbouwde afweging waar de best geschikte methode constructie uit is gekomen. Voor de constructies zijn de volgende methodes gekozen:

- Prins Willem-Alexanderhaven: versterken van de damwand
- Prinses Beatrixhaven: versterken van de damwand
- Koningin Julianahaven (Belval): vervangen door enkelvoudige damwand
- Koningin Julianahaven (Larssen): vervangen door enkelvoudige damwand

5. Discussie

In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar punten die zijn aangenomen of welke zijn vereenvoudigt. Er wordt vervolgens ook gekeken hoe deze punten beter uitgevoerd konden worden.

- Bij de berekening van het weerstandsverlies door toedoen van de corrosie is de afname van de weerstand gelijk genomen met de percentuele afname van de flensdikte. In werkelijkheid zitten hier een verschil in van ongeveer 2 %.
- Bij het berekenen van de resterende levensduur is er niet gekeken naar de staat van de ankers. Om een volledig beeld te krijgen van de constructie moet deze als nog mee genomen worden.
- De gebruikte sonderingen zijn verouderd en zijn niet op dezelfde positie genomen als de uitgevoerde inspecties. Het uitvoeren van nieuwe sonderingen / grondonderzoek op dezelfde locatie zorgt voor een beter beeld van de bodemopbouw.
- Door tijdens de inspectie ook boormonsters te verzamelen had van elke constructie de staalkwaliteit bepaald kunnen worden. Met deze staalkwaliteit zou het mogelijk zijn geweest om de resterende levensduur preciezer uit te rekenen.
- Voor de Alexanderhaven is een ander damwandprofiel aangenomen dan er op tekening was aangegeven. Voor dit profiel is niet gekeken naar andere soorten damwanden. Door ook naar andere profielsoorten te kijken had het gekozen profiel dichter bij de werkelijkheid kunnen liggen (mocht de aanname niet kloppen).
- Bij de variantenstudie is alleen gekeken naar de meest gangbare methodes. Door ook minder conventionele methodes mee te nemen in de variantenstudie waren er mogelijk ander methodes gekozen.
- Bij het berekenen van de prijzen is er niet gekeken naar de objecten die per methode verwijderd moeten worden. Door verschillen in het aantal objecten welke verwijderd zouden moeten worden, kunnen de prijzen veranderen.
- Bij de inspecties is niet meer gekeken naar putcorrosie. Mocht er op een locatie veel putcorrosie aanwezig zijn, wijst dit op veel bacteriële aantasting wat de gekozen methode in de variantenstudie per constructie kan beïnvloeden.

6. Conclusie

In dit hoofdstuk wordt antwoordt gegeven op de hoofdvraag. Om een goed onderbouwd antwoordt te kunnen geven op de hoofdvraag zijn er een aantal deelvragen gemaakt. Het beantwoorden van deze deel vragen geeft voldoende informatie om een goed onderbouwde conclusie te maken, welke antwoordt geeft op de hoofdvraag.

Hoofdvraag: Wat is de huidige staat van de kadeconstructies en wat is er per constructie de meest geschikte werkzaamheid, om zodoende de grond- en waterkerende functie van de kadeconstructie te garanderen met in achthouding van de eisen opgesteld door de verschillende actoren?

De hoofdvraag wordt opgesplitst in twee vragen, namelijk:

- Wat is de huidige staat van de kadeconstructies?
- Wat is er per constructie de meeste geschikt werkzaamheid?

Om de huidige staat oftewel de technische levensduur van de kademuren te berekenen is er een onderverdeling gemaakt tussen de verschillende constructies. Er is één constructie in de Alexanderhaven, één in de Beatrixhaven en twee verschillende constructies in de Julianahaven, genaamd Julianahaven (Belval) en Julianahaven (Larssen).

Uit de berekeningen welke met behulp van D-sheet zijn gemaakt en waarbij de constructie als nieuw zijn beschouwd, blijkt dat de Alexander- en de Beatrixhaven allebei nog voldoende weerstand bieden aan de omringende krachten. Voor de Julianahaven (Belval) geldt dat de ankers en damwanden sterk genoeg zijn maar de damwandplanken buigen te ver door en voldoen niet aan de door de opdrachtgever gestelde eisen. De Julianahaven is alleen sterk genoeg op zijn ankers. De damwandplanken kunnen niet voldoende weerstand opwekken om het maximale moment te weerstaan. Naast de weerstand blijken de planken ook te ver door te buiging waardoor niet voldaan kan worden aan de doorbuigingseis.

De inspectie welke nodig was om de huidige staat te bepalen is uitgevoerd door Van Der Straaten. Tijdens deze inspectie is de resterende staaldikte van de verschillende damwandplanken opgemeten. De resterende staaldikte is vervolgens gecombineerd met de berekende maximale momenten, waardoor er voor elke constructie de technische levensduur is bepaald. De berekende resterende levensduur voor de havens is als volgt:

- Alexanderhaven: 98 jaar
- Beatrixhaven: 791 jaar
- Julianahaven: Technische levensduur overschreden

De technische levensduur voor de Julianahaven (Belval) bedraagt (gebruik makend van nieuwe planken) 12,7 jaar. Aangezien de constructie ondertussen 32 jaar oud is, heeft deze constructie zijn technische levensduur al bereikt. Beide constructies in de Julianahaven zijn niet in staat om hun economische levensduur te behalen. Dit komt door de verdieping van de haven waardoor het maximale moment groter is geworden, hier zijn de constructies niet op berekend. Voor de Julianahaven is een nieuwe constructie berekend welke een levensduur van 116 jaar heeft.

De meest geschikte werkzaamheid is per constructie bepaald door middel van een variantenstudie. In deze variantenstudie is eerst een inventarisatie gemaakt van de meest gebruikte methodes. Voor elk van deze methodes is vervolgens een afweging gemaakt over het nut voor de kadeconstructies. De methodes die daadwerkelijk gebruikt zijn in de variantenstudie zijn voorzien van voor- en nadelen en er is een prijs voor gemaakt per constructie. Door gebruik te maken van de voor- en nadelen en door de prijzen voor de werkzaamheden naast elkaar te leggen is er voor elke constructie een onderbouwde beschrijving gegeven waar de meest geschikte methode naar voren komt. De gekozen methodes zijn als volgt:

- Prins Willem-Alexanderhaven: versterken van de damwand
- Prinses Beatrixhaven: versterken van de damwand
- Koningin Julianahaven (Belval): vervangen door enkelvoudige damwand
- Koningin Julianahaven (Larssen): vervangen door enkelvoudige damwand

Door middel van de gemaakte berekeningen en variantenstudie is er een conclusie getrokken welke de hoofdvraag beantwoordt. De Alexanderhaven heeft een resterende levensduur van 98 jaar het is het beste om de damwand aan de bovenkant te versterken. De Beatrixhaven heeft een resterende levensduur van 791 jaar. Ondanks de lange levensduur wordt het toch aangeraden om de damwand te versterken aan de bovenste meters. Dit wordt gedaan aangezien de bovenkant sneller weggeroest in verhouding met de onderkant (onderkant is bepalend voor de levensduur van de damwand), de bovenkant moet onderhouden worden zodat de corrosie niet zorgt voor gaten waar de achterliggende grond uitstroomt en de kade verzakt. Voor de gehele Julianahaven geldt dat de kadeconstructie niet meer voldoet en dat deze vervangen moeten worden.

De oorzaak van de slechte uitkomsten betreffende de Koningin Julianahaven komen voortuit uit handelingen welke door de Gemeente Reimerswaal zijn uitgevoerd. De verdieping van de havens met 1 of 1,5 meter (afhankelijk van de locatie) heeft voor een groter maximaal moment gezorgd, hier waren de constructies niet op berekend. Het is belangrijk om in de toekomst rekening te houden met de effecten van een verdieping op de kadeconstructies. Om zodoende vroegtijdige vervangingen te voorkomen.

7. Aanbevelingen

Naast dit rapport zijn er nog een aantal verbeterpunten die meegenomen moeten worden in het vervolg onderzoek. Hieronder zal er ook een aanbeveling gedaan worden over de vervolgstappen.

- Breidt het onderzoek uit met een vervolg onderzoek, waarbij rekening gehouden moeten worden met de aanbevelingen onder de kopjes Resterende levensduur en variantenstudie;
- Als uit de vervolg studie dezelfde conclusie getrokken kan worden, voer dan volgende twee werkzaamheden uit;
 - Voer de versterkingen aan de bovenste twee meter van de Alexander- en Beatrixhaven uit, als blijkt dat er door de corrosie gaten zijn ontstaan in de damwand waardoor de kade kan verzakken;
 - Realiseer de vervanging van de Julianahaven zo snel mogelijk. Tussen de vervanging en nu moet de belasting van de kadeconstructie in de gaten gehouden worden;

Resterende levensduur

- Voer grondonderzoeken uit om zo een duidelijk en actueel beeld te krijgen van de bodemopbouw;
- Onderzoek voor de Alexanderhaven en bevestigd welke damwandplanken er gebruikt zijn tijdens de aanleg;
- Onderzoek voor alle constructies van welke staalsoort de damwandplanken gemaakt zijn, hierdoor kan er per constructie gekeken worden wat de weerstand van de planken is;
- Inspecteer de staat van de ankers om zo een beter beeld te vormen van de resterende levensduur;
- Voer meerdere inspecties uit om een beter beeld van de resterende staaldiktes te vormen;

Variantenstudie

- Vul de variantenstudie aan met minder conventionele methodes om zo tot een breder beeld qua mogelijkheden te komen;
- Spreek meerdere bedrijven aan om zo tot een betere prijsbepaling te komen;
- Houd rekening met het verwijderen van de verschillende objecten welke in de weg staan voor de benodigde werkzaamheden, voor een betere prijsbepaling;

Verdere aanbevelingen

- Houd rekening bij een eventuele verdieping van de havens, met de effecten van deze verdieping op de kadeconstructie;

Bibliografie

Acelor. (2007). *Koudgewalste stalen profielen*. Opgehaald van Acelor:

http://www.arcelorprojects.nl/ADNL/PDF/cold_NL.pdf

Acelor mittal. (sd). *Combiwanden*. Opgehaald van Acelor mittal:

http://ds.arcelormittal.com/projects/europe/foundationsolutions/NL/sheet_piling/combi_walls.htm

Acotec. (sd). *Acotec*. Opgehaald van Acotec.be: <http://www.acotec.be/>

Azzouzi, S. (2003, Mei 08). *Intrillen van stalen damwanden in niet cohesieve gronden*. Opgehaald van COB Kenniscentrum voor ondergronds bouwen en ondergronds ruimtegebruik :

<http://www.cob.nl/kennisbank/webshop/artikel/intrillen-van-stalen-damwanden-in-niet-cohesieve-gronden.html>

Briswarenhuis. (2008). *CUR 166 deel 1*. Gouda: CURNET.

Briswarenhuis. (2008). *CUR 166 deel 2*. Gouda: CURNET.

De digitale richtlijn. (sd). *Isolatie, verticale afdichting, toepassingsgebied specifiek voor stalen damwanden, levensduur*. Opgehaald van Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit:

<http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/f-isolatie/f4-methode-verticale-afdichting/isolatie-verticale-afdichting-toepassingsgebied-specifiek-voor-s9216>

Dinoloket. (sd). *Ondergrondmodellen*. Opgehaald van Dinoloket.nl:

<https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>

EMIS energie- en milieu-informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest. (2012). *Techniek : Stalen damwand*. Opgehaald van EMIS: Google.nl coating stalen damwand

<http://emis.vito.be/techniekfiche/techniek-stalen-damwand> Goed 10-2-2015

Gampet Products. (sd). *Kunststof damwand*. Opgehaald van Gampet Products:

<http://www.gampet.nl/kunststof-damwand/>

Gemeente reimerswaal. (sd). *Tekeningen Haven Yerseke*. Kruiningen: Gemeente reimerswaal.

Geotechnics. (sd). *Kunststof damwand – Geoflex*. Opgehaald van Geotechnics:

<http://geotechnicsworld.com/producten/kunststof-damwand/#tab-4>

Gier, L. v. (2009, Januari). *Kademuur Brammenterminal*. Gouda, Zuid-Holland, Nederland.

Gooimeer. (2014). *verduurzamen*. Opgehaald van Gooimeer:

<http://www.gooimeer.nl/verduurzamen.html>

Hommema. (sd). *Bescherming van waterbouwkundige en off-shore objecten*. Opgehaald van

hommema.com: <http://www.hommema.com/index.php/kathodische-bescherming/bescherming-van-waterbouwkundige-en-off-shore-objecten>

ir.J.G.Rosink. (2005). *Grondmechanica Deel A*. Vlissingen: Hogeschool Zeeland.

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

ir.J.G.Rosink. (2005). *Grondmechanica Deel C*. Vlissingen: Hogeschool Zeeland.

Jotun. (sd). *JOTUN Protective en Marine Coatings*. Opgehaald van Jotun:
<http://www.vangeertruij.nl/coatings/jotun-protective-marine/>

Kleinhout, J. (2013, Juli 19). Definitief Ontwerp Kadeconstructie en Kraanbaan. Nijmegen, Gelderland, Nederland.

Kotterspotter. (sd). *Kotterspotter Yerseke*. Opgehaald van <http://kotterspotter.jouwweb.nl/yerseke>

Lievense, L. (2010, Mei). *TU Delft*. Opgehaald van http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:a29ff453-f9b8-4d09-bac4-20f3b0b0b8f0/Definitief_rapport.pdf

Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2011). *Overstromingsrisico Dijkkring 31 Zuid-Beveland*. Rijkswaterstaat Waterdienst.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2007). *VTV2006*. Den Haag.

Port of Rotterdam. (sd). *Eerste kademuur voor Rotterdam world gateway*. Opgehaald van Maasvlakte 2: <https://www.maasvlakte2.com/nl/index/show/id/489/kadebouw>

Prolock. (sd). *Eigenschappen kunststof damwanden*. Opgehaald van Prolock:
<http://www.prolock.nl/eigenschappen/>

Rijkswaterstaat. (sd). *Waterstanden*. Nederland.

Scheldestromen, W. (2006). *HR2006*.

Smedt, p. d. (2013, Mei). *Grondmechanica*. Brussel, België.

T. Taams, C. Z. (2001, Maart 28). *troskrachten berekenen*. Opgehaald van
<http://publicaties.minienm.nl/download-bijlage/23016/lekkanaal-verbreding-kanaalzijde-vergroting-toegestaande-diepgang-golven-en-troskrachten.pdf>

Van der Heide. (sd). *Bescherming van damwanden*. Opgehaald van Van der heide:
<http://www.vanderheide.nl/kathodischebescherming/bescherming-op-damwanden>

Verruijt, A. (2001, November). *Grondmechanica*. Delft, Zuid-Holland, Nederland.

Verstrynge, B. V. (2007, Mei). *Ontwerpmethodes voor damwandconstructies*. Oostende, België.

Vliet, R. v. (2002, December). *Grondmechanica & Milieu*.

Voorbij Funderingstechniek. (sd). *Stalen damwand en combiwand*. Opgehaald van Voorbij funderingstechniek: <http://www.voorbijfunderingstechniek.nl/producten/grond-en-waterkerende-schermen/stalen-damwand-en-combiwand.html>

Waterschap Scheldestromen. (sd). *Digitale kaarten waterschap scheldestromen*. Opgehaald van geoinfo scheldestromen: <http://geoinfo.scheldestromen.nl/>

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

Welleman, H. (sd). Les 6 Module 1 belastingen. Delft, Zuid-Holland, Nederland.

wijk, M. v. (2008). *Aslast berekenen*. Opgehaald van Marco van Wijk Autotechniek:
<http://www.marcovw.nl/Motor/Carrosserie/aslast.htm>

Wikipedia. (2014, Mei 09). *Gronddruk*. Opgehaald van Wikipedia:
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Gronddruk>

Wit, T. C. (2014, April 15). Dijkverbetering Waterfront Dalfsen. Steenwijk, Overijssel, Nederland.

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke



Bijlage 1: Deskresearch

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

Bijlage 2: Doorsnede t.b.v. grondopbouw

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

Bijlage 3: Multibeam

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

Bijlage 4: Sondering

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

Bijlage 5: Overzicht zoutwaterleiding

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke



Bijlage 6: Klic

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

Bijlage 7: Inspectie Acotec

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke



Bijlage 8: Meetgegevens inspectie VDS

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

Bijlage 9: Berekeningsrapport

Bijlage is buitenom het adviesrapport opgenomen

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

Bijlage 10: Variantenstudie

Bijlage is buitenom het adviesrapport opgenomen

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

Bijlage 11: Originele tekeningen

Bijlage is buitenom het adviesrapport opgenomen

Datum: 28-05-2015

Afstudeeropdracht: Onderhoud van de kadeconstructies in de havens te Yerseke

Bijlage 12: Nieuwe tekeningen

Bijlage is buitenom het adviesrapport opgenomen