



VERNIEUWING ASFALTGLOOIINGEN

Eindrapport

Versie	Status Document	Datum ontvangst	Geautoriseerd door:	
			Naam	Paraaf
1.3	Definitief		Ing. J.G.C. van Ree	
			Ir. A.B. Mendez Lorenzo	

T.M. Schaap | R. Zondervan
17.06.2014

Vernieuwing asfaltglooingen

Eindrapport

Auteurs:

Dhr. Thomas Schaap	0840239	0840239@hr.nl
Dhr. Robin Zondervan	0841930	0841930@hr.nl

Opdrachtgever:

Havenbedrijf Rotterdam

Procesbegeleider:

Dhr. ing. J.G.C. van Ree

Hogeschoolbegeleiders:

Mevr. ir. A.B. Mendez Lorenzo
Dhr. ir. W.J.J.M. Kuppen

Document:

Vernieuwing asfaltglooingen
Eindrapport

Versienummer: 1.3

Rotterdam,
17.06.2014

Voorwoord

Voor u ligt het eindrapport van de afstudeeropdracht van de studenten Thomas Schaap en Robin Zondervan met als onderwerp 'het vervangen van de asfaltglooiingen in het havengebied van Rotterdam'.

In dit onderzoek is gekeken naar hoe bepaalde asfaltglooiingen het beste kunnen worden vervangen. Hiervoor is o.a. een onderzoek gedaan naar verschillende varianten die de bestaande glooiingen het beste kunnen vervangen. Deze zijn afgewogen met behulp van meerdere afwegingsmodellen en een externe expert.

Dit document is in eerste instantie bedoeld voor de afdeling Asset Management Constructie. Deze afdeling binnen het Havenbedrijf Rotterdam is op zoek naar een geschikt alternatief om de bestaande bekleding van de glooiing op een aantal locaties te vervangen. Het document kan ook gebruikt worden voor instanties met een soortgelijk probleem. Het biedt een onderbouwde afweging tussen verschillende glooiingbekledingen en geeft een beeld van de eigenschappen van de verschillende alternatieven.

Verder willen wij de afdeling Asset Management Constructies bedanken, met Kees van Ree in het bijzonder, voor het beschikbaar stellen van deze afstudeeropdracht en de hulp gaandeweg. Daarnaast willen wij ook dhr. Yvo Provoost van het Projectbureau Zeeweringen bedanken voor zijn adviezen en de beschikbaar gestelde informatie.

Wij wensen u veel leesplezier toe,

Rotterdam,
17-06-2014,
Thomas Schaap,
Robin Zondervan.

Summary

In the Port of Rotterdam some slopes are covered and protected by asphalt. These asphalt slopes are mainly built to protect the slopes against hydraulic loads. This report describes how these asphalt slopes can best be replaced.

The authorities of the Port of Rotterdam have given the company KOAC-NPC the assignment to do some research on the remaining durability of these asphalt slopes. KOAC-NPC concludes that on specified locations the asphalt slopes are not effective anymore and have reached the end of their life cycle. This conclusion provides the principal question for this project: 'which alternative is technical, financial, functional and in order of maintainability the most optimal replacement of the current asphalt construction'. This is determined through a study of alternatives, multiple assessment models and the judgment of an expert. The asphalt slopes need to be replaced immediately on 4 different locations:

- Area 6: Hartelkanaal: at the Krabbeterrain;
- Area 9 & 10: 6th Petrolharbour: between Northside Hartelkanaal and 6th Petrolharbour;
- Area 11, 12 & 13: the entire Dintelharbour;
- Area 22: Calandchannel: at Rozenburg, west bank only.

Section:	Section 6	Section 9	Section 10	Section 11	Section 12	Section 13	Section 22
Length (m)	1585	604	900	3300	1000	525	1700
Area (m ²)	2853	1087,2	1620	21780	6600	3465	6120

Figuur 1: Overview to be replaced quantities

Two different types of slopes protect the slopes at these areas. The first type is open stone mastic asphalt (OSA) and the other type is dense stone asphalt (WAB) in combination with penetrated quarry stone.

- OSA: the slopes in the Dintelharbour (area 11-13) are made out of OSA between the ground level and the waterline. Below the waterline the slope is made out of quarry stone (10-60 kg). In total about 31800 m² of OSA need to be replaced, which translates in 5200 meters.
- WAB in combination with quarry stone: these slopes, which are found at the remaining areas, are only made out of WAB between +4 and +5 meters above waterlevel. Between +4 m and the waterlevel the slope is protected by penetrated quarry stone. Only the WAB needs to be replaced, all the slopes of WAB which need to be replaced have a combined area of almost 11700 m² and have a length of almost 4800 meters.

To determine the best option different alternatives have been researched. These alternatives are:

- Open stone mastic asphalt;
- Dense stone asphalt;
- Quarry stone;
- Completely penetrated quarry stone;

- Elastocoast;
- Stones which have been pitched¹.

To create a proper design there are also demands which need to be taken in consideration. There are three types of demands, functional demands, hydraulic demands and remaining demands. Functional demands, which are given by the Port of Rotterdam, describe the main function of the new slope. The Port of Rotterdam has as main demand that the new protection of the slope will have a life span of at least 50 years. The hydraulic demands describe the maximum loads which the new slope must to be able to resist.

The best alternative has been determined by using a Trade-Off Matrix in combination with a model used by Rijkswaterstaat and the opinion of an expert who works at the Projectbureau Zeeweringen. The decision to make three different assessments has been made to make sure the right alternative will be chosen. All of these methods conclude the exact same: the best alternative is completely penetrated quarry stone.

The new completely penetrated quarry stone protection is calculated to have a penetrated layer that is 0,30 meters thick and has stones with a sorting of 5-40 kg.

¹ No direct translation available for zetsteen, pitch is het zetten van zetsteen **Ongeldige bron opgegeven..**

Samenvatting

Dit rapport gaat over het vervangen van asfaltglooiingen. In de Rotterdamse haven is een gedeelte van de glooiingen bedekt met een asfaltbekleding. Deze bekleding heeft als voornaamste functie het beschermen van de glooiing tegen hydraulische belastingen.

Het Havenbedrijf Rotterdam, die deze glooiingen beheerd, heeft een onderzoek laten doen naar de restlevensduur van deze bekledingen. Uit dit onderzoek, uitgevoerd door KOAC-NPC, kwam naar voren dat de bekleding op enkele plaatsen direct vervangen dient te worden. De vraag die hieruit voortvloeide is: 'welk alternatief is technisch, financieel, functioneel en onderhoudstechnisch gezien de meest optimale vervanging van de asfaltbekleding'. Aan de hand van een variantenstudie, meerdere afwegingsmodellen en adviezen van experts is antwoord gegeven op dit vraagstuk.

Op 4 verschillende locaties moeten de asfaltglooiingen worden vervangen, deze locaties zijn:

1. Vak 6: Hartelkanaal: t.h.v. het Krabbeterrein;
2. Vak 9 & 10: 6^e Petroleumhaven: Hartelkanaal noordzijde tot en met de 6^e petroleumhaven;
3. Vak 11, 12 & 13: gehele Dintelhaven;
4. Vak 22: Calandkanaal: t.h.v. Rozenburg, alleen de westoever.

Vak:	Vak 6	Vak 9	Vak 10	Vak 11	Vak 12	Vak 13	Vak 22
Lengte (m):	1585	604	900	3300	1000	525	1700
Oppervlakte (m²):	2853	1087,2	1620	21780	6600	3465	6120

Figuur 2: Overzicht hoeveelheid te vervangen glooiing

De bekleding van de glooiingen zijn per locatie verschillend opgebouwd. Er is onderscheid te maken in twee verschillende typen:

- Open steenasfalt (OSA): de glooiingen in de Dintelhaven, vakken 11 t/m 13, bestaan van het maaiveld tot aan het NAP uit open steenasfalt. Daaronder bevindt zich een talud opgebouwd uit stortsteen (10-60 kg), in totaal moet er ruim 31800 m² OSA op korte termijn vervangen worden, wat overeen komt met 5200 strekkende meter;
- Waterbouwasfaltbeton (WAB) i.c.m. breuksteen: deze glooiingen, welke zich op de overige locaties bevinden, zijn slechts tussen +5,00 NAP en +4,00 NAP opgebouwd uit WAB. Van +4,00 NAP tot aan NAP zijn deze opgebouwd uit gepenetreerde breuksteen. Slechts het gedeelte van WAB dient te worden vervangen, in totaal moet er een kleine 11700 m² vervangen worden, wat overeen komt met bijna 4800 strekkende meter.

Om de meest optimale variant te bepalen is er een onderzoek gedaan naar mogelijke alternatieven. Er is gekeken naar de meest voorkomende varianten bij gelijkwaardige situaties, zowel binnen als buiten de Rotterdamse haven. Hierbij is er vooral gebruik gemaakt van literatuur. De alternatieven zijn:

- Opensteenasfalt (OSA);
- Waterbouwasfaltbeton (WAB);

- Breuksteen;
- Gepenetreerde Breuksteen;
- Elastocoast;
- Zetsteen.

Aan de hand van de eisen en wensen van de opdrachtgever, het Havenbedrijf Rotterdam, is er een keuze gemaakt tussen de geïnventariseerde alternatieven. Er is daarbij onderscheid gemaakt tussen functionele eisen, hydraulische eisen en overige eisen. De functionele eisen schrijven de voornaamste functie van de bekleding voor. De belangrijkste functionele eis is dat de constructie een levensduur moet hebben van minimaal 50 jaar. De hydraulische eisen schrijven voor welke belastingen de glooiing minimaal moet kunnen weerstaan.

Aan de hand van de gestelde eisen is een afweging gemaakt met een Trade-Off Matrix, een afwegingsmodel van Projectbureau Zeeweringen en is er advies gevraagd aan een externe expert op het gebied van dijkbekledingen. Er is gekozen voor het toepassen van 3 verschillende afwegingsmodellen door middel van triangulatie de uitkomst te onderbouwen.

Uit al deze afwegingen komt naar voren dat vol- en zat gepenetreerde breuksteen de meest geschikte variant is. Vervolgens is deze variant gedimensioneerd met behulp van de hydraulische eisen. Hieruit komt een bekleding naar voren met een laagdikte van 0,30 meter en een sortering van 5-40 kg. Het ontwerp is toe te passen voor alle locaties. Dit is te verklaren omdat bij de verschillende locaties er ongeveer dezelfde randvoorwaarden gelden. Deze randvoorwaarden zijn allemaal ongeveer hetzelfde omdat de glooiingen allemaal redelijk dicht bij elkaar liggen onder ongeveer dezelfde omstandigheden.

Inhoudsopgave

Voorwoord	II
Summary	III
Samenvatting	V
1 Inleiding.....	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Doelstelling	3
1.3 Werkwijze	4
1.4 Procesomschrijving	5
1.4.1 Procesmodel van het project	6
1.5 Leeswijzer.....	7
1.6 Externe Expert.....	7
2 Analyse huidige situatie	8
2.1 Functie glooiingen.....	8
2.2 Bestaande glooiingen.....	8
2.3 Schades huidige glooiingen.....	10
3 Analyse huidige situatie	20
3.1 Functionele eisen	20
3.2 Hydraulische randvoorwaarden.....	21
3.3 Overige eisen	23
4 Alternatieven	25
5 Afwegingsproces.....	27
5.2 Gebruikte modellen:	29
5.3 Conclusie	34
6 Ontwerpproces	35
6.1 Sortering breuksteen	36
6.2 Toelichting dimensioneringsaspecten	37
6.3 Dimensionering per locatie.....	40
6.4 Tekeningen.....	42
7 Conclusies en aanbevelingen.....	43

7.1	Conclusie	43
7.2	Aanbevelingen	44
8	Kritische beschouwing	46
8.1	Gevoeligheid Trade-Off Matrix	46
8.2	Project bemoeilijkende aspecten.....	47
	Verklarende woordenlijst	48
	Lijst met afkortingen	51
	Symbolenlijst.....	52
9	Bibliografie	53

1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal aandacht worden besteed aan de aanleiding van het project, de doestelling, de werkwijze waar tijdens het onderzoek gebruik van is gemaakt en als laatst zullen de hoofdstukken worden toegelicht in een leeswijzer.

1.1 Aanleiding

Rotterdam heeft één van de belangrijkste havens van Europa. De haven is de toegangspoort tot een Europese markt van meer dan 350 miljoen consumenten. Dit brengt veel transport door middel van scheepvaart met zich mee.

De havens worden beheerd door het Havenbedrijf Rotterdam die ervoor zorgt dat de havens in een goede conditie blijven. Het Havenbedrijf heeft talloze objecten in beheer in zowel de droge als natte infrastructuur. Asfaltglooiingen zijn hier een voorbeeld van.

De asfaltglooiingen in het havengebied zijn grotendeels aangelegd in de jaren '70. Er zijn meerdere typen glooiingen welke bestaan uit verschillende materialen. Om de staat en de mate van degradatie te bepalen heeft KOAC-NPC in 2010 op tientallen verschillende locaties een onderzoek gedaan naar de restlevensduur van de glooiingen. Uiteindelijk is geconcludeerd dat op 7 locaties de glooiingen het einde van hun levensduur hebben bereikt. De functie van deze asfaltglooiingen is het beschermen van het achterliggende land tegen erosie, veroorzaakt door golfslag en stroming. Door het behalen van het einde van de levensduur kan het voldoen aan de functie in theorie niet meer worden gegarandeerd. Het Havenbedrijf wil deze glooiingen vervangen door een alternatief, waarbij de huidige bekleding ook als alternatief wordt gezien.

1.2 Doelstelling

Het doel van deze rapportage is het geven van een advies aan het Havenbedrijf Rotterdam betreffende de te vervangen asfaltglooiingen. Met dit adviesrapport wordt antwoord worden gegeven op de onderstaande onderzoeksvraag:

'Wat is technisch, financieel, functioneel en onderhoudstechnisch gezien de meest optimale constructie ter vervanging van de asfaltglooiingen?'

Met technisch wordt de mogelijkheid bedoeld tot het toepassen van de bekleding op de glooiing. Er kunnen aspecten voorkomen die ervoor zorgen dat het technisch gezien niet mogelijk maken een bepaalde bekleding toe te passen.

Het financiële aspect richt zich vooral op de kosten. Er wordt gekeken naar welke variant financieel het meest aantrekkelijk is.

Bij het functionele gedeelte wordt er gekeken naar de effectiviteit van het beschermen van het achterland. Hierbij zal ook worden gekeken of de variant aan de vereiste levensduur zal voldoen.

Onderhoudstechnisch betekent dat er gekeken wordt naar de gevoeligheid van de variant voor tussentijds onderhoud. Een eis is dat dit zo minimaal mogelijk moet zijn.

Ook zijn er verschillende deelvragen opgesteld. Deze deelvragen dienen als ondersteuning voor het beantwoorden van de hoofdvraag.

- ‘Met welke stakeholders dient tijdens het project/onderzoek rekening te worden gehouden?’
- ‘Aan welke eisen moeten de ontwerpen/alternatieven voldoen?’
- ‘Welke invloeden van buitenaf beperken de levensduur van de glooiingsconstructie?’
- ‘Wat zijn de meest voor de hand liggende alternatieven om de huidige glooiing te vervangen?’
- ‘Zijn er geplande ontwikkelingen voor de vastgestelde locaties?’
- ‘Welke afwegingsmodellen worden in de praktijk gebruikt?’
- ‘Welke afwegingsmodellen zijn geschikt voor dit onderzoek?’
- ‘Op welke aspecten moet worden gedimensioneerd?’

De doelstelling is als volgt omschreven:

‘Het bepalen van de meest optimale constructie ter vervanging van de aangewezen asfaltglooiingen.’

In appendix I, het PvA is de structuur van het onderzoek en de manier hoe het onderzoek is aangepast uitgebreider uiteen gezet.

1.3 Werkwijze

De informatie welke benodigd is voor het onderzoek is verkregen door middel van meerdere werkwijzen. Zo is voor een groot deel van het onderzoek gebruikt gemaakt van literatuurstudies. Voor de literatuurstudies zijn onderzoeksrapporten, artikelen, boeken, werkplannen en dergelijke doorgenomen om met behulp van beschikbare informatie meer te leren over de mogelijke alternatieven. De oorzaak van het degraderen is onderzocht waardoor meer kennis is verkregen over de huidige bekledingen. Deze kennis kan in het vervolg worden gebruikt voor het realiseren van een duurzamere bekleding. Met duurzaam wordt hier bedoeld: de mate van degradatie die optreedt door de belasting op het materiaal in de tijd. De focus is echter gelegd op de variantenstudie waarna de varianten aan de hand van criteria, welke van belang zijn voor het Havenbedrijf Rotterdam, zijn getoetst. De uitkomst is kritisch bekeken waarna een advies is gegeven. Verder is veelvuldig gebruik gemaakt van de ervaring van experts van verschillende instanties die in meerdere werkgebieden actief zijn. Een aantal van deze instanties zijn:

- Havenbedrijf Rotterdam (HbR);
- Projectbureau Zeeweringen;
- Rijkswaterstaat (RWS);
- Gemeentewerken Rotterdam;
- Externe kostendeskundigen.

Over het algemeen zijn er persoonlijke gesprekken gevoerd waarna in het belang van het onderzoek vragen aan de experts zijn gesteld. Ook is telefonisch contact gezocht en over de email gecorrespondeerd. De informatie verkregen van een expert is op ervaring berust, aan deze

informatie wordt veel waarde gehecht. Andere methoden zijn het verrichten van een veldonderzoek en het gebruik van computermodellen.

1.4 Procesomschrijving

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag is gebruik gemaakt van deelvragen. Deze deelvragen fungeren als steunpunt en tijdens het onderzoek zorgen voor een gestructureerd proces. Het onderzoek is opgedeeld in deelstudies, deze zijn:

- Plan van Aanpak;
- Stakeholdersanalyse;
- Programma van Eisen;
- Voorstudie I, Inspectie bestaande glooiingen;
- Voorstudie II, Literatuuronderzoek bestaande asfaltglooiingen;
- Hoofdstudie I, Inventarisatie afwegingsmodellen;
- Hoofdstudie II, Literatuurstudie alternatieven;
- Hoofdstudie III, Bepaling alternatief;
- Hoofdstudie IV, Ontwerpen alternatieven.

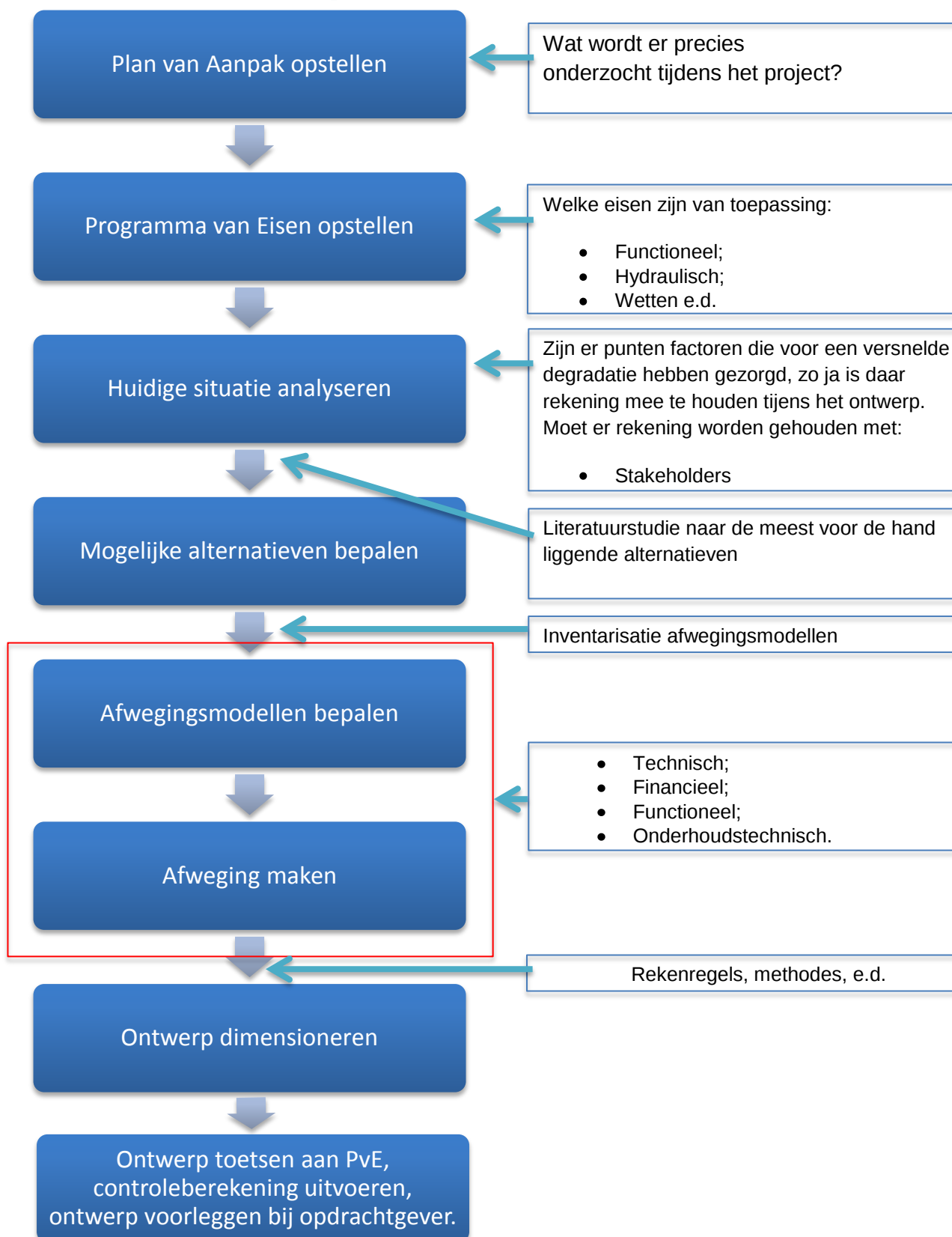
Door het opdelen van het onderzoek in deelstudies is er een duidelijke structuur gevormd waarin stukken tekst eenvoudig terug te vinden zijn. Verder kunnen de deelstudies in het eindrapport direct worden gebruikt als appendices.

Er is bewust gekozen voor de specifieke volgorde van de weergegeven deelstudies. Uiteraard is het onderzoek begonnen met het PvA waarin bijvoorbeeld standaard informatie, te leveren producten en een planning is opgenomen. Vervolgens is gestart met een onderzoek naar de stakeholders per locatie. Het kan namelijk zo zijn dat de stakeholders eisen hebben die in het PvE moeten worden opgenomen.

Met behulp van voorstudie I is er een beeld gevormd van de mate van degradatie van de bestaande asfaltglooiingen. Voor het verklaren van de aangetroffen degradatie is in voorstudie II een literatuurstudie verricht.

In hoofdstudie I zijn de afwegingsmodellen bepaald en toegelicht, er wordt in de afwegingsmodellen gebruik gemaakt van criteria die belangrijk zijn voor het HbR en die aansluiten op het PvE. In hoofdstudie II is een literatuurstudie gedaan naar mogelijke alternatieven voor de bestaande glooiingen. Er is informatie gezocht met behulp van de criteria die zijn opgenomen in de afwegingsmodellen. In hoofdstudie III zijn de alternatieven beoordeeld en is een optimaal alternatief bepaald. Hoofdstudie IV geeft de dimensionering van de 2 meest optimale alternatieven weer. Tijdens het proces zijn er vele contactpersonen geraadpleegd voor informatie vanuit diverse instanties. Een deel van deze informatie was van groot belang voor het onderzoek. Zo is er bijvoorbeeld gezocht naar afwegingsmodellen en naar investerings- en onderhoudskosten voor dijkbekledingen. Deze informatie was echter zeer moeilijk te verkrijgen waardoor simpele aspecten zoals kosten veel tijd vergden.

1.4.1 Procesmodel van het project



1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de huidige glooiingen geanalyseerd. De mate van degradatie en de schadebeelden worden voor de verschillende typen glooiingen in kaart gebracht. Ook wordt gekeken naar de oorzaken van de degradatie.

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de gestelde eisen en de hydraulische randvoorwaarden per locatie. Verder wordt de situatie betreffende de stakeholders en de overige eisen toegelicht.

In hoofdstuk 4 worden de mogelijke alternatieven kort beschreven. Er wordt inhoudelijk niet diep ingegaan op de alternatieven.

Hoofdstuk 5 geeft de gebruikte afwegingsmodellen weer. De werking, wegingen, beoordelingen en resultaten worden in het hoofdstuk uitvoerig behandeld en beargumenteerd waarna een conclusie is getrokken.

In hoofdstuk 6 wordt het optimale alternatief, welke in hoofdstuk 5 is geconcludeerd, toegelicht. Het dimensioneringsproces en de daarbij horende aspecten worden behandeld en met behulp van literatuur onderbouwd. Verder is het uiteindelijke ontwerp weergegeven.

Hoofdstuk 7 bevat de gemaakte conclusies en aanbevelingen en beantwoordt de gestelde onderzoeksvraag en de daarbij behorende deelvragen. Een advies wordt aan het HbR gegeven. Ook worden de nog nader te onderzoeken onderdelen toegelicht.

In hoofdstuk 8 is er een kritische beschouwing opgesteld. In deze beschouwing wordt er met een kritische blik teruggekeken naar bepaalde onderdelen van het project. De kritische beschouwing richt zich vooral op het afwegingsmodel en wat hieraan vooraf ging.

In de stukken na hoofdstuk 8 is er een verklarende woordenlijst, een lijst met afkortingen en wat die betekenen en een bibliografie opgenomen.

1.6 Externe Expert

Tijdens dit onderzoek is er voor het valideren van bepaalde aannames gebruik gemaakt van een externe expert. Deze expert is dhr. Yvo Provoost, adviseur van het Projectbureau Zeeweringen. Provoost is expert op het gebied van het bekleden van zeeweringen. Hij is bij diverse artikelen die gebruikt zijn als bron teruggekomen als adviseur of schrijver hiervan. Om deze reden is er contact opgenomen met hem, en zijn o.a. de bevindingen van dit onderzoek ter verificatie aan hem voorgelegd.

Een andere expert die is geraadpleegd is dhr. M. Minnaard van het HbR. Minnaard is Asset Manager van de afdeling AMC en tevens kennishouder op het gebied van glooiingen binnen het HbR. Ook zijn dhr. A. Roskam en dhr. J.C. Koene geraadpleegd. Deze heren hebben jarenlange ervaring op het gebied van kostenramingen binnen het HbR en zijn werkzaam op het Projectbureau.

2 Analyse huidige situatie

In dit hoofdstuk is er gekeken naar welke glooiingen er moeten worden vervangen, en waarom deze moeten worden vervangen. Er is voornamelijk gekeken naar de huidige glooiingen. Eerst wordt er gezegd wat voor bekleding er momenteel op de glooiing ligt. Daarna worden de waarnemingen uiteengezet die gedaan zijn tijdens een veldonderzoek. Om daarna de oorzaak van de aangetroffen schadebeelden te analyseren, dit is gedaan d.m.v. een literatuuronderzoek en door te kijken naar aspecten in de uitvoering die mogelijk voor een snellere degradatie hebben gezorgd.

Daarnaast worden de geplande ontwikkelingen meegenomen. Hiermee worden de plannen bedoelt die op korte termijn gepland staan voor de verschillende vakken.

2.1 Functie glooiingen

De functie van de bekleding van het talud is het beschermen van het achterland. Zowel tegen hydraulische belastingen als andere factoren die de glooiing kunnen beschadigen. Verder is het belangrijk dat er zo min mogelijk begroeiing op mag komen, dit om het onderhoud te beperken. De constructie moet dusdanig ontworpen zijn dat deze makkelijk beheerd kan worden. Dat betekent dus dat deze bijvoorbeeld zo min mogelijk onderhoud mag hebben, en goed repareerbaar moet zijn.

2.2 Bestaande glooiingen

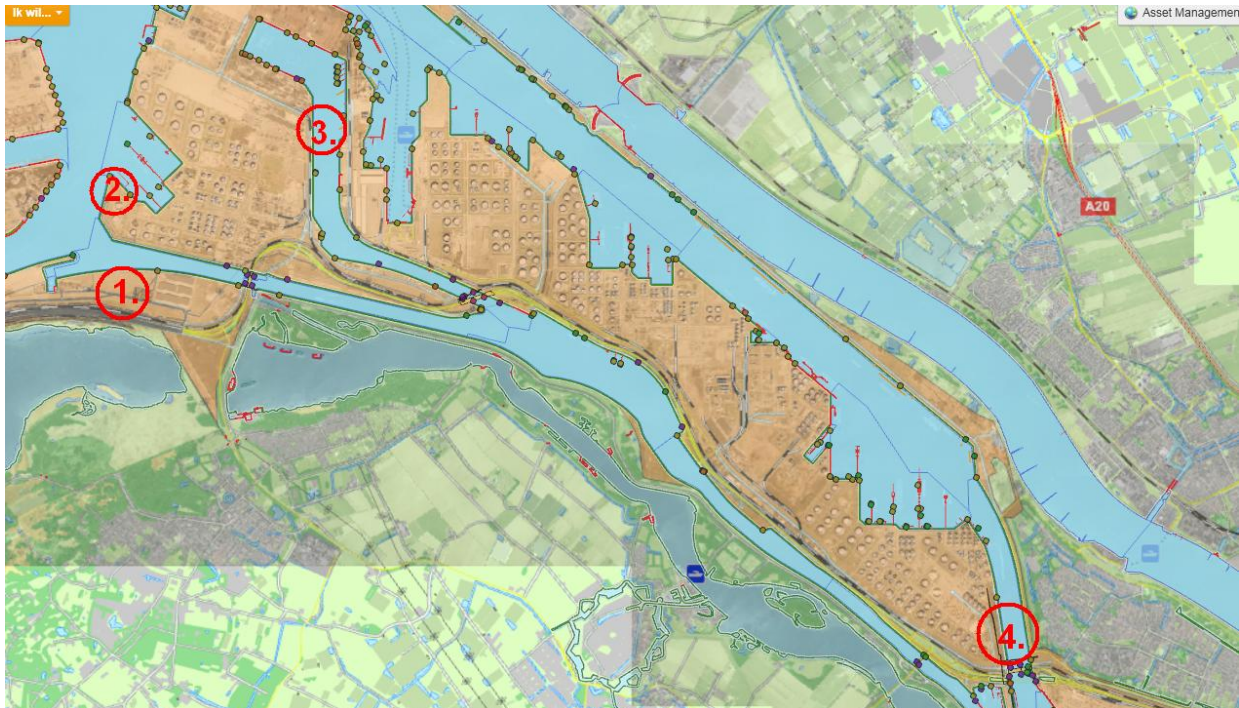
De bestaande te vervangen glooiingen liggen op verschillende locaties. Per locatie zijn er verschillende typen glooiingen. In deze paragraaf worden deze glooiingen omschreven.

2.2.1 Locatie glooiingen

Uit een onderzoek van (KOAC-NPC, 2010) komt voort dat er in 7 verschillende vakken de glooiingen niet meer voldoen en op korte termijn moeten worden vervangen. De betreffende vakken zijn:

1. Vak 6: Hartelkanaal VIII: t.h.v. het Krabbeterrein;
2. Vak 9 & 10: 6^e Petroleumhaven: Hartelkanaal noordzijde tot en met de 6^e petroleumhaven;
3. Vak 11, 12 & 13: gehele Dintelhaven;
4. Vak 22: Calandkanaal: t.h.v. Rozenburg, alleen de westoever.

In figuur 3 zijn de locaties in de haven weergegeven.



Figuur 3: Overzicht locaties glooiingen (Portmaps, 2014)

2.2.2 Zinkers en leidingstroken

Op verschillende locaties waar de glooiingen moeten worden vervangen bevinden zich ook zinkers en leidingstroken. Om er zeker van te zijn dat hier geen rekening mee hoeft te worden gehouden tijdens het ontwerp is er onderzocht waar deze exact liggen. Er is gekeken naar zowel locatie als naar diepte. Hieruit blijkt dat er geen rekening hoeft te worden gehouden met zinkers en leidingstroken tijdens het ontwerp. De leidingen liggen namelijk dermate ver onder het maaiveld, dat deze bij de bepaalde varianten, geen extra hindernis vormen.

Wel moet er tijdens de uitvoering rekening worden gehouden met de leidingstroken die achter de glooiingen liggen. Zoals het geval is bij het Calandkanaal.

2.2.3 Type glooiingen

De te vervangen glooiingen zijn te onderscheiden in 2 verschillende types. Het ene type glooiing bestaat uit WAB met daaronder gepenetreerd breuksteen, het andere type bestaat uit OSA met een filterlaag zandasfalt. De opbouw van de glooiingen zijn locatiespecifiek. In de archieven zijn bestekken beschikbaar waaruit is af te leiden dat de glooiingen zijn aangelegd in de jaren '70. Deze aanname is gebaseerd op de aanwezigheid van slechts enkele bestekken.

Het is niet bekend waarom er destijds gekozen is voor WAB i.c.m. gepenetreerde breuksteen en OSA. Ook in de archieven van het HbR is hierover niets terug te vinden.

2.2.3.1 WAB

De glooiing aan het Hartelkanaal VIII (vak 6), in de 6^e Petroleumhaven (vak 9 en 10) en langs het Calandkanaal (vak 22), bestaan voor een deel uit waterbouwasfaltbeton oftewel WAB (zie foto 1). Deze zijn vanaf het maaiveld tot circa +5,00 N.A.P. bekleed klei. Van +5,00 N.A.P. tot +4,00 N.A.P. zijn de glooiingen in WAB uitgevoerd, het WAB heeft een talud van 1:1,5. Van +4,00 N.A.P. tot ongeveer N.A.P. zijn de glooiingen bekleed met granietkeien (10-60 kg) gepenetreerd met gietasfalt, het talud is circa 1:2,4. Er is rond de waterlijn een teenconstructie aanwezig. Vanaf de waterlijn is het onderwatertalud van de glooiing vaak ten delen uitgevoerd in breuksteen (10-80 kg). Maar de betreffende glooiingen in de vakken 6,9,10 & 22 hebben een soortgelijke opbouw. Op foto 1 is een WAB glooiing.



Foto 1: WAB i.c.m. gepenetreerde breuksteen glooiing t.h.v. vak 6

Het totale oppervlakte van de te vervangen WAB glooiing bedraagt ruim 11700 m² en heeft een lengte van bijna 4800 meter.

2.2.3.2 OSA

De glooiingen in de Dintelhaven, vakken 11 t/m 13, bestaan uit open steenasfalt oftewel OSA (zie foto 2). De glooiingen zijn vanaf het maaiveld tot het N.A.P. niveau in open steenasfalt uitgevoerd. Vanaf N.A.P. tot de havenbodem zijn de glooiingen grotendeels uitgevoerd in stortsteen (10-60 kg). Hoe verder de glooiingen onder het N.A.P. niveau komen, des te lichter de glooiing is gedimensioneerd, op uitzonderingen na. Het talud in de Dintelhaven heeft een helling van 1:1,7. Op foto 2 is een WAB glooiing weergegeven in de Dintelhaven. Het totale oppervlakte van de te vervangen OSA glooiing bedraagt ruim 31800 m² en heeft een lengte van 5200 meter.



Foto 2: OSA glooiing t.h.v. vak 13

2.3 Schades huidige glooiingen

De beoogde levensduur van de bekleding is 50 jaar, wat zowel WAB als OSA volgens de literatuur zou moeten kunnen halen. Aangezien de bekledingen in de jaren '70 zijn aangelegd heeft het niet aan deze eis voldaan. Daarom is er na het bepalen van de locatie van de te vervangen glooiingen (welke zijn voortgekomen uit het onderzoek van (KOAC-NPC, 2010)), een onderzoek gedaan naar de schadebeelden van de bestaande glooiingen en zijn de invloeden die deze (verkorte) levensduur mogelijk veroorzaakt kunnen hebben bepaald. De reden achter de inspectie was dat, wanneer hier een duidelijke oorzaak naar voren kwam, er rekening mee kon worden gehouden bij het nieuwe ontwerp. Ook is er een inspectie uitgevoerd om een beter beeld te krijgen van de schadebeelden (zie appendix III, Voorstudie I).

2.3.1 Waarnemingen tijdens de inspectie

In deze paragraaf worden de waarnemingen die tijdens de inspectie zijn gedaan toegelicht. Er wordt per type glooiingen behandeld welke schadebeelden zijn waargenomen.

2.3.1.1 WAB

De meest voorkomende waargenomen schadebeelden bij WAB zijn:

Scheurvorming:

Op diverse plaatsen is scheurvorming waargenomen. Het betrof hier zowel verticale als horizontale scheuren. Scheurvorming is in de vakken 6,9,10 en 22 geconstateerd, oftewel alle vakken met WAB. In paragraaf XXX worden de oorzaken en gevolgen van scheurvorming uiteengezet.

Losliggend materiaal:

Verder zijn op de glooiing meerdere delen met losliggend materiaal waargenomen, deze delen zijn over de gehele glooiing op willekeurige plaatsen terug te vinden. Het asfalt is op deze plaatsen dusdanig aangetast dat het vooral bestaat uit kleine losse stukjes materiaal. De sterkte van de glooiing wordt door het losliggend materiaal gereduceerd. Op diverse locaties in zowel vak 6,9,10 en 22 was het asfalt los te 'peuren' met een stukje hout. Dit bevestigde dat het WAB niet meer de vereiste sterkte heeft. Het losliggende materiaal wordt soms verborgen door het mos op de glooiing. Ook het losliggende materiaal is in alle vakken waar de bekleding met WAB is bekleedt waargenomen. Dit is op foto 3 te zien.



Foto 3: Losliggend materiaal t.h.v. vak 6

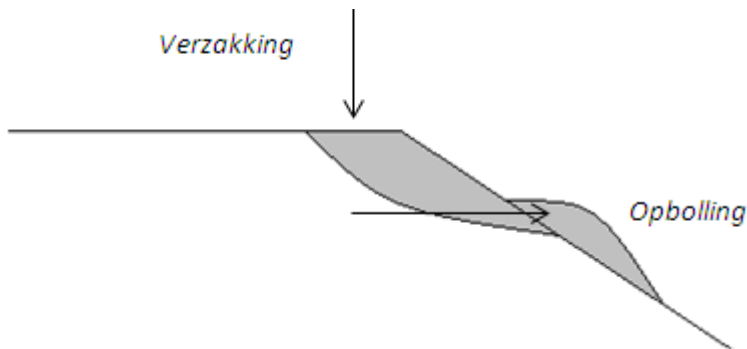
Begroeiing:

De mate van begroeiing van WAB verschilt sterk per vak. Opvallend was dat vooral bij vak 22 de glooiing vergeleken met andere locaties zeer begroeid is. De begroeiing varieert tussen mos, wat weinig tot geen schade veroorzaakt, en struikgewas, dat zich tussen het asfalt nestelt en vervolgens voor veel scheurvorming zorgt. Ook groeit er veel gras op de asfaltglooiingen. Het nadeel van de vele begroeiing is dat het inspecteren van de glooiingen wordt bemoeilijkt, omdat niet overal de glooiing goed zichtbaar is.

In de overige vakken met WAB (vak 6,9 en 10) is er in mindere mate begroeiing aangetroffen. De begroeiing bestond op deze locaties vooral uit gras en mos dat zich op de glooiing heeft genesteld.

Bolling:

Er is op circa diverse stukken van de glooiing in vak 9&10 zijn er lichte bollingen geconstateerd. Dit kan worden veroorzaakt door verzakkingen aan de bovenzijde van de asfaltglooiing. Door de glijcirkel ontstaan er dan verzakkingen aan de voet van de asfaltglooiing. Op de onderstaande figuur 4 is schematisch weergegeven hoe dit mechanisme werkt.



Figuur 4: Schetsmatige weergave mechanisme opbolling

2.3.1.2 OSA

Deze paragraaf beschrijft de waarnemingen gedaan tijdens de inspectie van de OSA glooiingen in de vakken 11,12 en 13.

Slijtage rond de waterlijn:

Bij de bekleding van de glooiing zijn er vooral beschadigingen rond de waterlijn waargenomen. Rond de waterlijn is duidelijk te zien dat het open steenasfalt (hierna te noemen OSA) beschadigd is door toedoen van het water. Het OSA is daar namelijk geërodeerd (zie foto 4) verder zijn er diverse (relatief grote) gaten rond deze plek aanwezig. Deze slijtage was bij de vakken 11,12 en 13 te vinden.



Foto 4: Schade rond de waterlijn t.h.v. vak 12

Begroeiing:

Door de open structuur van het OSA kunnen planten zich gemakkelijk nestelen. Zelfs in de wintermaand februari is er al rietbegroeiing geconstateerd (zie foto 5 en 6). Het aanwezige riet kan gedurende het voorjaar uitgroeien tot een rietkraag. Ook staan er aan de voet van de constructie veel rietplanten.



Foto 5: Plantgroei t.h.v. vak 11



Foto 6: Plantgroei t.h.v. vak 11

Gaten:

Wat opvalt in vak 12(zuidoever van de Dintelhaven) is dat er grote gaten in de glooiing zijn aangetroffen. Bij deze gaten is de bovenlaag van het OSA weggeslagen. Deze is lokaal gerepareerd met een asfaltmengsel (zie foto 11, blz. 16). Het opvallende van deze gaten is dat deze zich allemaal relatief dicht bij elkaar bevinden.

Op andere locaties in de Dintelhaven bevinden zich ook gaten. Deze gaten liggen dan voornamelijk ter hoogte van de waterlijn (zie foto 7)

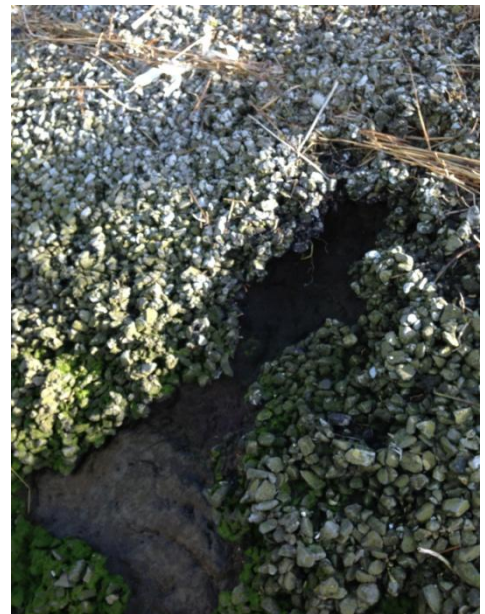


Foto 7: Gaten in de OSA bekleding t.h.v. vak 13

2.3.2 Omgevingsaspecten

Aspecten vanuit de omgeving die een grote invloed op de degradatie van het WAB hebben zijn:

2.3.2.1 WAB

Uv-Straling, volgens onderzoek van (KOAC-NPC, 2010) zorgt Uv-straling voor een chemische reactie waardoor er scheuren in het bindmiddel van het asfalt ontstaan. Met als gevolg dat de sterkte van de bekleding afneemt. Glooiingen die richting het zuiden liggen zullen meer en directer in contact staan met zonlicht en Uv-straling. De verwachting is dan ook dat deze glooiingen sneller zullen degraderen dan glooiingen die in andere windrichtingen liggen. Ook zijn er internationaal onderzoeken gedaan naar de invloed van Uv-straling een voorbeeld hiervan is (Tan Yi-Qiu, 2007).

Scheurvorming ontstaat in eerste instantie door kleine temperatuurwisselingen in het asfalt. Wanneer deze kleine beschadigingen zich vullen met water en tijdens de winterperiode uitzetten wordt de bekleding kapot gedrukt. Een andere mogelijke oorzaak is wortelgroei. Door wortelgroei van planten wordt de asfaltglooiing weggedrukt wat scheuren kan veroorzaken.

Omdat de scheuren veelal verticaal lopen, wordt gedacht aan krimpscheuren. Vanwege temperatuurwisselingen is de bekleding in beweging. Als de bitumen verouderen dan kan deze bros (hard) worden. Bij lagere temperaturen kunnen er scheuren ontstaan wanneer het materiaal wil krimpen. Deze scheuren zijn verticaal omdat het asfalt zich dan in horizontale richting beweegt.

Ook kunnen er lokaal scheuren ontstaan omdat de kleding niet in staat is zettingsverschillen te overbruggen. Op een aantal plaatsen zijn scheuren met een redelijke breedte geconstateerd, uiteraard variëren de breedtes.

Een ander gevolg van scheurvorming is dat er op de glooiingen **begroeiing** kan ontwikkelen. Planten kunnen zich nestelen in de scheuren, waarna deze, naarmate de planten groter worden, grotere schades aan de glooiing kunnen veroorzaken. Op foto 8 is struikgewas te zien dat zich op de WAB glooiing heeft genesteld.



Foto 8: Plantengroei in WAB veroorzaakt door scheurvorming t.h.v. vak 22

2.3.2.2 OSA

Een belangrijke factor die voor degradatie van de bekleding zorgt zijn de omgevingsfactoren als golfslag en stroming. Ook kunnen temperatuurwisselingen en begroeiing een rol spelen dankzij de open constructie.

Uit de literatuur, (TAW, 1985), komt naar voren dat OSA tot op een zekere hoogte bestand is tegen een aanzienlijke golfaanval. Dit geldt zeker voor de golfhoogtes in de Dintelhaven, waar de OSA glooiingen zich bevinden, aangezien de H_s daar laag is.

Wel moet worden vermeld is dat uit de veldinspectie blijkt dat het gedeelte van de glooiing rond de waterlijn duidelijk sporen vertoont van slijtage door golven en stroming. In (TAW, 1985) wordt vermeld dat **drijfval** en **losliggend granulaat** onder invloed van **golven** en **stroming erosie** kunnen veroorzaken. Dit lijkt dan ook de meest logische verklaring voor de waargenomen erosie rond de waterlijn.

Verder bevonden zich aan de voet van de helling ook enkele gaten (zie foto 9) in de bekleding. Het is aannemelijk dat deze ook door golven en stroming zijn veroorzaakt, aangezien de gaten allemaal op dezelfde hoogte rond de waterlijn liggen.



Foto 9: Gat in OSA waardoor de funderingslaag zichtbaar is, bevindt zich rond NAP in vak 11.

Een ander aspect die voor het degraderen van OSA gezorgd kan hebben is begroeiing. Dankzij de open ruimtes kunnen planten zich gemakkelijk vestigen in en op de bekleding. Wanneer deze vervolgens gaan groeien kunnen deze het granulaat losduwen en van het asfaltmestiek scheiden. Dit beeld werd bevestigd omdat tijdens de inspectie die in februari plaatsvond, er al beginnende plantengroei aangetroffen werd. Dit zal in de maanden daarna alleen nog maar groeien, en de glooiing kunnen beschadigen. Hetzelfde geldt voor temperatuurverschillen. Wanneer er zich water in de holle ruimtes bevindt en dit bevroert kan dit gaan uitzetten en de bekleding kapot drukken. Voor meer informatie over OSA zie *Voorstudie II, paragraaf 4.1.1* en *Hoofdstudie II, hoofdstuk 2.2.5*.



Foto 10: Beginnende plantgroei in OSA glooiing in vak 11.

2.3.3 Complicaties in de uitvoering

In deze paragraaf worden de aspecten besproken die voor een versnelde degradatie hebben gezorgd en hun oorsprong hebben in de uitvoering.

2.3.3.1 WAB

Het is waarschijnlijk dat omgevingsfactoren niet als enige invloed hebben op het degraderen van de glooiingen. Ook complicaties in de uitvoer kunnen hier de oorzaak van zijn. Daarbij is het vooral belangrijk dat het WAB goed wordt verdicht. Vanwege de helling van 1:1,5 wordt dit echter bemoeilijkt. Daar komt bij dat de WAB glooiingen zeer smal zijn. Dat het verdichten op een dergelijk smalle, steile helling relatief moeilijk is blijkt na gesprekken met experts van zowel het HbR als van het Projectbureau Zeeweringen (respectievelijk: Martin Minnaard en Yvo Provoost). Dit beeld wordt bevestigd in het onderzoek van (KOAC-NPC, 2010). Daarin komt naar voren dat de glooiingen destijds niet goed zijn verdicht. KOAC-NPC concludeert dat het percentage holle ruimtes van het WAB boven de 15% ligt. Terwijl dit volgens (RAW, 2010) niet groter mag zijn dan 5%, omdat het mengsel bij een hoger holle ruimtepercentage gevoelig is voor stripping, vorst, en andere vocht gerelateerde problemen. In de publicaties (Montauban, 1998) en (Ven, 2007) wordt de versnelde degradatie door een hoog percentage holle ruimtes bevestigd.

2.3.3.2 OSA

Ook bestaat er de mogelijkheid dat er tijdens de uitvoering iets mis is gegaan, waardoor de constructie sneller degradeert. In het verleden is er namelijk met een vaste steen-mortel verhouding gewerkt (VBW Asphalt, 2011). Dit kan leiden tot slechte kwaliteit. Veroorzaakt door de variatie in de kwaliteit van de steen. Mengsels met een relatief klein, specifiek korreloppervlak werden te dik omhuld. En voor mengsels met een groot oppervlakte geldt juist het omgekeerde, deze werden te dun omhuld. In beide gevallen resulteert dit in een minder duurzaam mengsel.

Tijdens de inspectie zijn er op de zuidoever relatief grote reparatievakken (variërend tussen de 1-2m²) geconstateerd (foto 11). Deze vakken bevinden zich slechts op één gedeelte van de Dintelhaven. Een mogelijkheid zou kunnen zijn dat hier een iets ander mengsel is gebruikt. Aangezien de reparatievakken zich enkele meters boven de hoogwaterlijn bevinden is het niet mogelijk dat deze door hydraulische belastingen zijn ontstaan. Een mengsel van slechtere kwaliteit is dan ook aannemelijk.



Foto 11: Groot reparatievak in vak 12

2.3.4 Conclusie schadebeelden

In deze paragraaf worden aan de hand van de bovenstaande waarnemingen en bevinden een conclusie getrokken over de oorzaken van het degraderen van de glooiingen.

2.3.4.1 Visie externe expert

Om een beter beeld te krijgen van de schadebeelden, is er hierover gesproken met een expert. Dit was dhr. Yvo Provoost van het projectbureau Zeeweringen. Uit zijn ervaring kwam naar voren dat asfaltglooiingen bij zeewering meestal maar rond de 30 jaar meegaan. Na deze periode voldoen de asfaltglooiing dankzij degradatie door belastingen en omgevingsfactoren veelal niet meer aan de gestelde eisen. Zijn mening was dan ook dat de behaalde 40 jaar voor een asfaltglooiing voldoende was. Er moet echter rekening mee worden gehouden dat de glooiingen van projectbureau Zeeweringen over het algemeen een grotere hydraulische belasting kennen dan de betreffende glooiingen in het havengebied. Het is daardoor aannemelijk dat deze glooiingen een kortere levensduur hebben. Om deze reden worden de levensduren voor OSA en WAB aangehouden zoals deze in de literatuur (TAW, 2002) worden weergegeven. Oftewel:

- WAB: 50-75 jaar;
- OSA 25-50 jaar.

2.3.4.2 WAB

Er kan worden geconcludeerd dat er niet één specifiek aspect is dat voor de degradatie van het WAB heeft gezorgd. Omdat er dermate veel aspecten zijn die de asfaltglooiingen kunnen beïnvloeden. Wel wordt aangenomen dat het hoge holle ruimtepercentage in de bestaande WAB bekleding de degradatie heeft versneld. Door het hoge percentage holle ruimtes van de bestaande bekleding kan vochtindringing plaats vinden en zal de samenhang worden verminderd waardoor stripping op kan treden. Verder wordt de kans op begroeiing vergroot. In de publicaties (Montauban, 1998) en (Ven, 2007) wordt de versnelde degradatie door een hoog percentage holle ruimtes bevestigd. Mochten er in de toekomst WAB glooiingen in het havengebied worden aangelegd, dan moet er goed op worden gelet of het WAB op de glooiingen goed verdicht is.

2.3.4.3 OSA

Bij OSA zijn er dergelijk veel mogelijke oorzaken van het versneld degraderen dat het niet goed te voorspellen is hoe het komt dat het OSA binnen 40 jaar is gedegradeerd. Ook uit het onderzoek van (KOAC-NPC, 2010) komen geen specifieke oorzaken naar voren. Aan sommige van deze aspecten, zoals bepaalde omgevingsaspecten als temperatuurverschillen kan geen rekening worden gehouden. Er zijn echter wel een aantal aspecten waargenomen die ervoor gezorgd zouden kunnen hebben dat de glooiingen versnelt zijn gedegradeerd. Dit zijn de factoren:

- Begroeiing: Schades door begroeiing zijn tegen te gaan door deze regelmatig te verwijderen, zodat de plantgroei op de glooiing geen al te grote gevolgen hebben;

- Fouten in de uitvoering: Dit is tegen te gaan door zoveel mogelijk toezicht op de uitvoering te houden. Er moet echter wel gezegd worden dat de oorzaak van een slechte uitvoering, een vaste steen-mortel verhouding, tegenwoordig niet meer wordt toegepast.

Daar staat echter tegenover dat men in (TAW, 2002) gaat men uit van een levensduur tussen de 25 en 50 jaar. Ook dhr. Provoost gaat uit van een levensduur van OSA van 30 tot 40 jaar. Wat ongeveer gelijk is aan het aantal jaren dat de huidige glooiing er ligt (deze stamt uit de jaren '70).

Dit in acht nemend is er, ons inziens, geen specifieke reden dat de OSA glooiing is verouderd, maar dat het op 'normale' wijze het einde van de levensduur heeft bereikt.

Het gedeelte met de vele reparatievakken uitgezonderd. Bij dit gedeelte is er duidelijk een andere oorzaak, omdat dit boven de waterlijn ligt kunnen, zoals eerder gezegd, de hydraulische belastingen niet de oorzaak hiervan zijn. Hiervoor wordt dus aangenomen dat deze vakken zijn veroorzaakt door een mengsel van slechtere kwaliteit. Hierbij is het dus mogelijk dat de oorzaak van deze reparatievakken in de uitvoering ligt. Op foto 12 en 13 is respectievelijk een reparatie vak te zien en waar deze gevonden kunnen worden in de Dintelhaven.

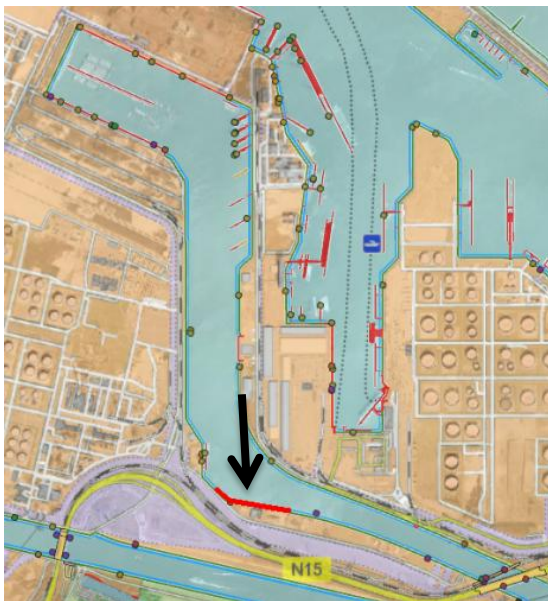


Foto 12: Locatie reparatievakken (Portmaps, 2014)



Foto 13: Reparatie vak op de zuidoever vak 13

Eindconclusie

Uit de bovenstaande paragrafen blijkt dat er geen factor naar voren springt waarbij met het nieuwe ontwerp rekening mee moet worden gehouden. De redenen waarom de huidige glooiingen versnelt zijn gedegradeerd (wanneer dit überhaupt het geval is) zijn veelal veroorzaakt door uitvoeringsfactoren, of door factoren die variant specifiek zijn. Deze aspecten zullen wel voor zover mogelijk worden meegenomen in de afweging van de nieuwe verschillende varianten. Meer informatie over de glooiingen is te vinden in *appendix IV, Voorstudie II*.

2.3.5 Geplande ontwikkelingen

Op de locaties waar de glooiing moeten worden vervangen is er gekeken naar geplande ontwikkelingen op de betreffende locaties. Waarbij het ontwerp rekening mee moet worden gehouden. Hieruit is naar voren gekomen dat alleen bij vak 6: Hartelkanaal (locatie 1) geplande ontwikkelingen zijn. Op deze locatie wordt een stuk grond opnieuw ontwikkeld. Hoewel er op het moment van schrijven nog niets concreets beschikbaar is, dient hier wel rekening mee te worden gehouden met het geven van advies voor de betreffende locatie. Voor meer informatie over geplande ontwikkelingen, zie *appendix IV Voorstudie II: Hoofdstuk 2*.

3 Analyse huidige situatie

Voor het ontwerpen van een nieuwe glooiing moeten eisen worden opgesteld. Er wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten eisen, dit zijn:

- Functionele eisen;
- Technische eisen;
- Overige eisen.

De functionele eisen zijn opgesteld in overleg met het HbR. Om de technische eisen komen vooral de hydraulische randvoorwaarden terug, deze hebben betrekking op de golfhoogtes, stroming, golfperiodes en extreme waterstanden.

Verder zijn de stakeholders geïnventariseerd, dit zijn veelal bedrijven die op de terreinen gevestigd zijn waarvan de glooiing moet worden vervangen bijvoorbeeld. Maar dit kunnen ook organisaties zijn die een rol spelen tijdens de uitvoering. De stakeholders zullen in de overige eisen verder worden behandeld.

3.1 Functionele eisen

De volgende functionele eisen worden gesteld vanuit het HbR:

- De constructie moet een levensduur hebben van minimaal 50 jaar;
- De totale kering moet voldoende hoogte hebben om te voorkomen dat het achterland bij extreme waterstanden overstroomt;
- De constructie moet stabiel zijn, hierbij moet worden gedacht aan bijvoorbeeld afschuiving en opdrijving van de bekleding;
- De constructie moet minimaal tot aan de maatgevende hydraulische omstandigheden in stand blijven, en tot aan die omstandigheden voorkomen dat er uitspoeling van het grondlichaam door de bekleding plaatsvindt (erosie).

Verder wordt er onderscheid gemaakt in sub-eisen. Sub-eisen zijn eisen die niet maatgevend zijn voor het vervangen van de glooiing, maar waar indien mogelijk wel rekening mee moet worden gehouden:

- De bekleding moet zo min mogelijk begroeibaar zijn om het onderhoud te beperken en de inspectie te bevorderen;
- Begaanbaarheid van de bekleding betreffende vluchtmogelijkheden, voor bijvoorbeeld drenkelingen;
- De constructie moet op een manier worden ontworpen zodat deze gemakkelijk kan worden beheerd. Belangrijke aspecten hierbij zijn: de begaanbaarheid van de constructie en de waarneembaarheid en repareerbaarheid van schades.

Op bepaalde locaties moeten er rekening worden gehouden met voorzieningen m.b.t. de infrastructuur:

- In- en uitstroomvoorzieningen;
- Markering/borden;
- Landhoofden (locatieafhankelijk);
- Transportleidingen (locatieafhankelijk).

3.2 Hydraulische randvoorwaarden

De glooiing heeft een waterkerende functie. Waarbij het belangrijkste aspect van de nieuwe bekleding is dat deze bestand moet zijn tegen de hydraulische belastingen uit de omgeving. Er is bij alle locaties en aspecten uitgegaan van een herhalingsstijd van 50 jaar. Dit omdat het aannemelijk is dat tijdens de gestelde ontwerplevensduur van 50 jaar de extreme waterstand ten minste één maal optreedt.

3.2.1 Windgolven

In tabel 1 zijn de windgolven per locatie weergegeven. Zowel de golfhoogte als de periode zijn hierin meegenomen.

Locatie	vak 6:	vak 9 &10:	vak 11,12&13:	vak 22:
Terugkeerperiode	1/50 jr.	1/50 jr.	1/50 jr.	1/50 jr.
Hoogte ($H_{1/3}$) [m]	0,82	1	0,62	1
Periode (T_m) [s]	2,71	3	2,22	2,95

Tabel 1: Windgolven voor de betreffende vakken. (Gemeentewerken Rotterdam, 2010)

3.2.2 Zeegolven

Gezien de locaties van de glooiingen zijn zeegolven alleen van toepassing in de vakken: 6, 9 & 10. In tabel 2 zijn de zeegolven voor deze vakken weergegeven.

Locatie	vak 6:	vak 9 &10:
Hoogte ($H_{1/3}$) [m]	0,82	1
Periode (T_m) [s]	2,71	3

Tabel 2: De zeegolven voor de betreffende vakken. (Gemeentewerken Rotterdam, 2010)

Uit de tabellen 1 en 2 is op te maken dat er geen verschil in hoogte tussen de wind- en zeegolven is. De golftypen worden in (Gemeentewerken Rotterdam, 2010) ook aan elkaar gelijk gesteld. Dit is te verklaren omdat de zeegolven die de haven binnenkomen ook door de wind worden veroorzaakt, en dusdanige afmetingen hebben dat deze gelijk kunnen worden gesteld aan de windgolven. Tijdens het dimensioneren van de bekleding is van dit principe uitgegaan.

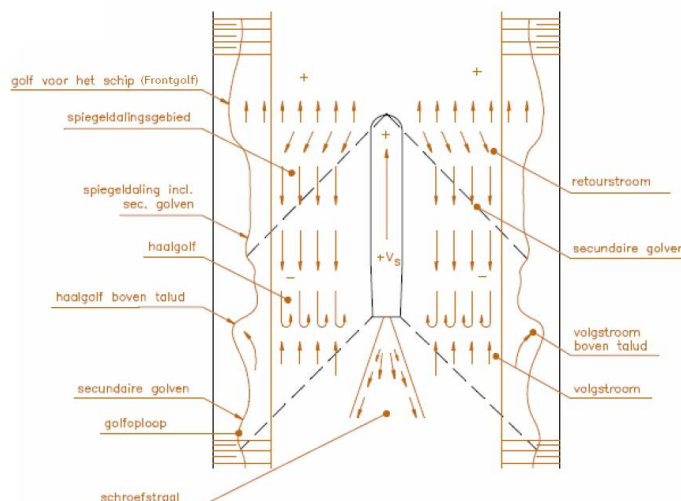
3.2.3 Scheepsgolven

De scheepsgolven zijn alleen van toepassing op de vakken 11,12 & 13. Dit komt omdat bij deze glooiingen, zoals eerder vermeld, de hele taludbekleding moet worden vervangen. In de overige vakken wordt de glooiingen niet beïnvloed door scheepsgolven omdat de bekledingen daar ver boven de stilwaterlijn zijn gevestigd. De scheepsgolven zijn ter plaatse van de vakken 11,12 & 13 niet hoger dan de significante golfhoogte. Scheepsgolven zijn hierdoor niet relevant en worden uiteindelijk niet meegenomen.

3.2.4 Invloed

Volgens (Gemeentewerken Rotterdam, 2010) heeft de golfbelasting alleen invloed op de glooiing wanneer:

- De hoogteligging van OSA (tussen NAP en NAP +3,50 m) dusdanig is dat de bekleding langdurig door golven wordt belast bij gemiddelde condities. De golfbelasting treedt alleen op als de waterstand hoger is dan NAP;
- De golfhoogte minimaal 50 cm bedraagt;
- De golven niet evenwijdig aan de oever lopen (golven worden als niet evenwijdig beschouwd indien de voortplantingsrichting van de golven een hoek van minimaal 30° maakt met de oeverlijn, zie figuur 5).



Figuur 5: Voortplantingsrichting golven en hoek t.o.v. oeverlijn

3.2.5 Extreme waterstanden

De maatgevende extreme hoogwaterstanden in het Rotterdamse havengebied zijn in figuur 6 voor de verschillende vakken weergegeven. In de tabel zijn meerdere terugkeerperioden of herhalingsstijden meegenomen. De gegeven waarden zijn vermeld in meters ten opzichte van het NAP niveau. De waarden uit figuur 6 zijn exclusief de zeespiegelstijging. De verwachte zeespiegelstijging voor de komende 50 jaar is 45 cm (KNMI, 2014).

heralingstijd	waterstand vak 4, 6, 9, 10 vak 28 West	Dintelhaven vak 22
1 jaar	+2,45m	+2,50m
2 jaar	+2,60m	+2,65m
5 jaar	+2,85m	+2,90m
10 jaar	+3,00m	+3,05m
20 jaar	+3,20m	+3,25m
50 jaar	+3,50m	+3,55m
100 jaar	+3,70m	+3,75m
250 jaar	+4,00m	+4,05m
500 jaar	+4,20m	+4,25m
1000 jaar	+4,40m	+4,45m

Figuur 6: Herhalingsstijden hoogwaterstanden voor de betreffende vakken. (Gemeentewerken Rotterdam, 2010)

3.2.6 Totstandkoming hydraulische eisen

De hydraulische eisen zijn opgesteld aan de hand van een onderzoek van Teus Blokland (Gemeentewerken Rotterdam). Dhr. Blokland heeft onder andere een onderzoek gedaan naar golven binnen het Rotterdamse havengebied. Uit dit onderzoeksrapport, (Gemeentewerken Rotterdam, 2010), kunnen voor alle locaties de benodigde waterstanden en golfhoogtes worden gehaald. Hetzelfde rapport is gebruikt voor het realiseren van (KOAC-NPC, 2011).

3.3 Overige eisen

De eisen die in deze paragraaf aan bod komen zullen slechts in de uitvoeringsfase relevant zijn. Eisen waar rekening mee moet worden gehouden zijn:

- Wet- en regelgeving;
- Stakeholders.

3.3.1 Wet en regelgeving

Wetten en regelgeving zijn opgezocht om te kijken of daar eisen uit komen die tijdens het ontwerp van de glooiing van toepassing zijn, en waar dus rekening mee moet worden gehouden. Hieronder zijn enkele wetten uiteengezet die niet worden meegenomen, maar belangrijk genoeg worden geacht om toch uiteen te worden gezet in dit document. Omdat het belangrijk is om te of er tijdens de ontwerpfase rekening met deze wetten moet worden gehouden en dus het ontwerp kunnen beïnvloeden. Een overzicht van de wetten die zijn onderzocht is te vinden in *appendix II, het Programma van Eisen*. In het *Programma van Eisen* zijn ook wetten opgezocht die alleen voor de uitvoering toepasbaar zijn.

3.3.1.1 Wet op de waterkering

Dit is een wet met betrekking op primaire waterkeringen. Er is uitgezocht of de betreffende glooiingen hiertoe behoren, maar dit blijkt niet het geval te zijn. Deze wet is hierdoor niet in het *Programma van Eisen* meegenomen.

3.3.1.2 Wet op verontreiniging oppervlaktewateren

De wet verontreiniging oppervlaktewateren betekent dat er bij de materiaalkeuze rekening moet worden gehouden met de mate van vervuiling van het milieu. Indien het alternatief vervuilende materialen bevat, dan zullen er maatregelen moeten worden getroffen om vervuiling te voorkomen. De geïnventariseerde alternatieven, zie hoofdstuk 4, worden door zowel het HbR, RWS als door Hoogheemraadschappen in de praktijk toegepast. Er wordt hierdoor vanuit gegaan dat de alternatieven niet voor verontreiniging van de oppervlaktewateren zorgen.

3.3.1.3 Kabels en leidingen

Ook met kabels en leidingen moet rekening worden gehouden. De alternatieven mogen de kabels en leidingen die in het Rotterdamse havengebied lopen niet bedreigen. Dit zijn kabels of leidingen die zeer belangrijk zijn in de Nederlandse infrastructuur (denk hierbij bijvoorbeeld aan gas en elektriciteit afkomstig van centrales in de haven). De locaties van kabels en leidingen, inclusief de diepte t.o.v. het maaiveld zijn opgenomen in *appendix IV, vooronderzoek II, hoofdstuk 3*. Uit deze deelstudie is naar voren gekomen dat de kabels en leidingen dermate ver onder het maaiveld liggen dat de verschillende alternatieven hier geen invloed op uitoefenen. Tijdens de ontwerpfase wordt er daarom geen rekening gehouden met de kabels en leidingen.

Tijdens de uitvoering moet er echter wel rekening worden gehouden met de leidingverordening Rotterdam. Deze verordening geeft aan dat dat indien er in de Gemeente Rotterdam

werkzaamheden rond kabels en leidingen plaatsvinden, dit ten alle tijden aan het leidingbureau van de Gemeente moet worden gemeld. Voor de ontwerpfase is dit echter niet van toepassing.

3.3.2 Stakeholders

Per locatie zijn de stakeholders met behulp van het programma PortMaps van het HbR bepaald. In dit programma kan worden opgezocht of aangrenzende terreinen zijn verhuurd en welk bedrijf er eventueel is gevestigd. De stakeholders zijn met oog op het te maken uitvoeringsplan en het PvE bepaald. In dit stadium waren de eisen van het HbR nog niet volledig geïnterpreteerd waardoor er vanuit is gegaan dat de stakeholders invloed op het ontwerp zouden hebben. Uiteindelijk is vanuit het HbR aangegeven dat de stakeholders geen inspraak op het ontwerp hebben zolang de functie van het terrein niet veranderd. Dit omdat de terreinen eigendom zijn van het HbR.

Omdat de terreinen over het algemeen voor een langere tijd worden verhuurd moet er wel rekening met deze partijen worden gehouden. Bij de afdeling Projectontwikkeling is daarom nagegaan of er bedrijven zijn die een voorkeur voor een andere constructie dan een glooiing hebben aangegeven. Deze voorkeur kan ervoor zorgen dat het vervangen van de glooiingen als overbodig wordt gezien. Wel wordt verwacht dat de stakeholders eisen met betrekking tot de uitvoering hebben. Dit in verband met aspecten zoals procesverstoring en dergelijke.

Het uitvoeringsplan is uiteindelijk komen te vervallen aangezien dit niet te realiseren was in combinatie met de variantenstudie in het tijdsbestek van 19 weken.

4 Alternatieven

Om een goed overzicht te krijgen van de beschikbare alternatieven is er een literatuurstudie gedaan naar de meest voorkomende varianten die zijn gebruikt in vergelijkbare situaties. In *appendix VI, hoofdstudie II* zijn de alternatieven uitgebreid behandeld en beschreven, tevens zijn in deze appendix de gebruikte bronnen weergegeven. Hieronder zullen de alternatieven kort worden toegelicht om de eigenschappen in beeld te brengen.

- **Opensteenafalt (OSA):** Dit is een stijf, open mengsel dat bestaat uit asfaltmestiek en 20/40 mm granulaat. Grote voordelen van deze bekleding zijn: de prijs, de eenvoudige herstelbaarheid en is het OSA gemakkelijk aan te leggen doordat het niet hoeft te worden verdicht. Nadelen zijn dat het goed begroeibaar is en dat het relatief snel degradeert.
- **Waterbouwasfaltbeton (WAB):** Dit is een dicht mengsel dat bestaat uit asfaltbitumen, zand, vulstof en granulaat. Voordelen zijn de geringe begroeibaarheid, het zelfherstel in de zomer en dat het zettingen tot op een zekere hoogte kan volgen. Nadelen zijn dat het indien het niet goed is verdicht zeer gevoelig is voor omgevingsfactoren die de degradatie versnellen en dat het op steile taluds zeer moeilijk aan te leggen/verdichten is.
- **Breuksteen:** Een glooiing bekleed met breuksteen bestaat uit allemaal losse stenen die op het talud gestort zijn. Een voordeel is dat dit een zeer robuuste bekleding is die goed bestand is tegen hydraulische belastingen, een nadeel is dat deze goed begroeibaar is en dat deze begroeiing, dankzij de oppervlaktestructuur lastig te verwijderen is. Nadelig is dat door hydraulische randvoorwaarden het breuksteen niet kan worden aangelegd op een talud met een helling van 1:1,5 (TAW, 2002). Daarom kan dit alternatief bij voorbaat worden afgeschreven, en wordt breuksteen verder niet meer in de afwegingen meegenomen.
- **Gepenetreerde Breuksteen:** Een dergelijke bekleding is hetzelfde opgebouwd als een normale breukstenen sortering, alleen zijn de holle ruimtes nu gevuld met gietasfalt (zie foto 14), dit kan op 2 manieren:
 - Vol en zat: hierbij worden de holle ruimtes in de bekleding volledig opgevuld met gietasfalt. Voordeel is dat dit een zeer sterke, onbegroeibare, onderhoudsarme bekleding is. Nadelig is echter de hoeveelheid gietasfalt die moet worden gebruikt, en het feit dat de bekleding zeer zwaar is.
 - Patroon: Hierbij zijn de holle ruimtes voor 60-80% gevuld met gietasfalt. Dit is echter beduidend minder effectief dan wanneer deze voor 100% gevuld worden. Er worden vaak zo goed als dezelfde tot licht verbeterde eigenschappen op het gebied van hydraulische belastingen t.o.v. losliggend breuksteen toegeschreven aan deze bekleding.

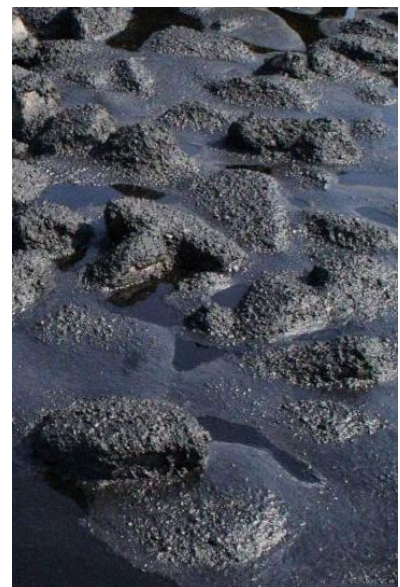


Foto 14: Voorbeeld van vol en zat gepenetreerde breuksteen te Westkapelle (Het Waterschapshuis)

- **Elastocoast:** Dit is een bekleding die granulaat met elkaar verbindt door middel van de lijm Polyurethaan. Het is een open bekleding die vaak wordt beschouwd als een verbeterde versie van OSA. In foto 15 is een elastocoast bekleding weergegeven. Voordelen zijn dat het sterker is dan OSA en het granulaat goed her te gebruiken is, ook wordt er een langere levensduur voorspeld. Nadelig is dat het een techniek is die nog niet veel is toegepast, er zijn wel tests gedaan maar het gedrag over bijvoorbeeld 50 jaar is onzeker. Verder is de bekleding zeer goed begroeibaar omdat het holler ruimtepercentage nog hoger is dan bij OSA. Op foto 15 is een close-up van een glooiing te zien die opgebouwd is uit elastocoast.
- **Zetsteen:** Bij een bekleding bestaande uit zetsteen zijn er stenen die allemaal dezelfde vorm hebben naast elkaar in het talud geplaatst. In foto 16 is een voorbeeld van deze bekleding weergegeven. Een voordeel hiervan is dat het een esthetisch mooie oplossing is. Nadelige aspecten zijn dat het duur is om aan te leggen en dat er slechts een aantal gespecialiseerde bedrijven in Nederland zijn die de bekleding op een talud van 1:1,5 kunnen voeren. Daar komt bij dat dit type glooiing volgens het HbR elke 40 jaar herzet moet worden. Iets dat bijna net zo duur is als de aanleg van een nieuwe bekleding. Hierdoor wordt het herzetten na 40 jaar als herinvestering gezien, en wordt de levensduur van 50 jaar niet behaald.



Foto 15: Resultaat van een Elastocoast constructie, het Polyurethaan is niet zichtbaar (Plastics The Mag)



Foto 16: Zetsteenglooiing van (Beeldbank Rijkswaterstaat, 2014)

5 Afwegingsproces

Een gewogen afweging maken tussen de verschillende alternatieven is een belangrijk onderdeel van het onderzoek. In eerste instantie was het de bedoeling dat deze afweging zou worden gemaakt met behulp van een RAMS/LCC analyse. Deze methode werd vanuit het HbR geopperd, er werd hierdoor vanuit gegaan dat bij het HbR een dergelijk model beschikbaar was. Dit bleek niet het geval, waarna het noodzaak werd om een dergelijk model elders te verkrijgen. De documenten (Prorail, n.d.) en (Rijkswaterstaat, 2010b) zijn geraadpleegd voor het toepassen van een RAMS/LCC analyse. Verder is er ook contact gelegd met meerdere instanties. Via Rijkswaterstaat en uiteindelijk Projectbureau Zeeweringen (onderdeel van RWS) is er, na 2,5 weken gecorrespondeerd te hebben, een model beschikbaar gesteld dat in de praktijk gebruikt wordt voor het bepalen van het beste alternatief voor dijkbescherminingen.

Omdat het relatief lang duurde voordat er een model beschikbaar gesteld werd, en dit een vrij moeizaam proces was, is er tijdens het corresponderen met externe instanties besloten om zelf een afwegingsmodel op te stellen. Er is een Trade- Off Matrix (hierna te noemen T.O.M) gemaakt waarin de criteria van het HbR is verwerkt, elders in dit hoofdstuk zal de T.O.M worden toegelicht.

Na een aantal weken bleek dat ook binnen het HbR een conceptmodel aanwezig was dat een afweging maakt met behulp van de Life Cycle Costs (LCC). Dit model is nog in een testfase en bleek niet geschikt om een afweging te kunnen maken. Ook dit zal verder in het hoofdstuk worden toegelicht.

Om ervoor te zorgen dat de gekozen oplossing zo betrouwbaar mogelijk is, is er triangulatie toegepast. Triangulatie betekent dat er vanuit 3 verschillende bronnen een afweging is gemaakt. Dit is gedaan door een afweging te maken met behulp van zowel een Trade-off matrix, het model van Rijkswaterstaat en door te praten met een externe expert op het gebied van glooiingen en dijkbekledingen. Als eerste wordt er ingegaan op de kostenaspecten.

5.1 Kosten

Voor het invullen van de modellen moet er een inschatting van de kosten worden gemaakt. Er wordt onderscheid gemaakt tussen 2 verschillende soorten kosten. Dit zijn:

- Investeringskosten, de kosten die gemaakt worden tijdens de aanleg;
- Onderhoudskosten, de kosten die gemaakt worden voor het onderhoud van de constructie;
- Verwijderingskosten, de kosten die gemaakt worden om de bestaande bekleding te verwijderen.

5.1.1 Investeringskosten

Om de afwegingsmodellen goed te kunnen invullen moeten ook de kosten worden bepaald. De kosten die tijdens de afweging gebruikt worden zijn gebaseerd op eerder gemaakte kosten voor soortgelijke projecten binnen het HbR. Dhr. J.C. Koene van de afdeling Projectbureau binnen het HbR is hiervoor geraadpleegd als kostenexpert.

In tabel 3 zijn de gebruikte kosten weergegeven.

Type	Prijs	
WAB	100	€/m ²
OSA	80	€/m ²
Gepenetreerde Breuksteen	85	€/m ²
Elastocoast	100	€/m ²
Zetsteen	120	€/m ²

Tabel 3: Prijs per m² voor elk alternatief (Kostenexperts HbR)

Een volledig overzicht inclusief de investeringskosten van alle alternatieven is terug te vinden in *appendix VII*.

Naast de gebruikte kosten van het HbR zijn er nog bij andere instanties zoals het Projectbureau Zeeweringen en Rijkswaterstaat kosten opgevraagd. Bij Projectbureau Zeewering viel het op dat de kosten van de bekledingen aanmerkelijk lager dan die van het HbR zijn. Tot maximaal een factor 2 lager. Er zijn verschillende mogelijkheden die hiervan de oorzaak zouden kunnen zijn. De steilheid van het talud zou dit verschil kunnen verklaren. De uitvoering op een talud van 1:1,5 is moeilijker dan op de flauwe taluds waar het Projectbureau mee werkt. Ook kunnen de oppervlaktes een rol spelen. Wanneer het Projectbureau de zeewering vervangt betreft dit meestal grote oppervlaktes. Hoe groter het oppervlakte, hoe lager de prijs per vierkante meter wordt. De genoemde verschillen dragen bij aan het grote prijsverschil, maar is volgens experts (van zowel het HbR als het Projectbureau Zeeweringen) niet voldoende om de factor 2 te verklaren. De reden hierachter is onzeker en zal nog verder moeten worden uitgezocht binnen het HbR. De prijzen die voor dit project worden aangehouden zullen die van het HbR zijn. Dit zijn prijzen die voortkomen uit projecten die onder vergelijkbare omstandigheden door de kostenexperts van het HbR zijn bepaald.

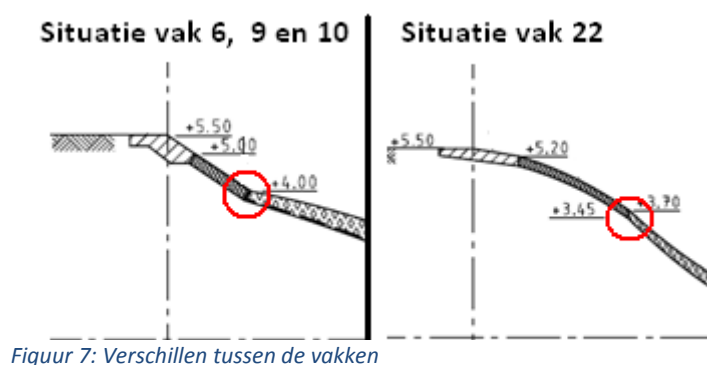
5.1.2 Onderhoudskosten

Om de afweging zo compleet mogelijk te maken is er in eerste instantie geprobeerd om de onderhoudskosten te bepalen. Vanuit verschillende instanties is geprobeerd de onderhoudskosten te bepalen. Zowel bij het HbR als bij Rijkswaterstaat en het Projectbureau Zeeweringen zijn er echter geen kengetallen beschikbaar die een goede inschatting van de onderhoudskosten geven. Dit komt omdat binnen al deze bedrijven het onderhoud tijdens de levensduur zeer beperkt is. De bekleding wordt slechts hersteld wanneer er duidelijke schadebeelden zichtbaar zijn. Hier konden geen van de experts van zowel het HbR, Rijkswaterstaat als het Projectbureau Zeeweringen een goede inschatting over geven.

De onderhoudskosten zijn in de T.O.M kwalitatief verwerkt. Dit betekent dat er een score aan is gegeven aan de hand van een inschatting van de verwachte onderhoudskosten over de levensduur van 50 jaar. Er kan namelijk wel een inschatting per variant worden gemaakt of deze veel of weinig groot onderhoud nodig zal hebben. Dit is verwerkt in het kostencriterium van de T.O.M, op deze wijze heeft de mate van onderhoud invloed op het bepalen van het alternatief.

5.1.3 Verwijderingskosten

Het is mogelijk de bestaande bekleding te overlagen met een nieuwe bekleding vol en zat gepenetreerde breuksteen bekleding. Bij dit alternatief hoeft de bestaande bekleding niet te worden verwijderd en zullen kosten worden bespaard. Om een realistischere inschatting van de investering te krijgen zijn de verwijderingskosten van de bestaande bekleding met behulp van een externe kostenexpert, dhr. A. Roskam, bepaald. In *appendix VII* is te zien hoe de verwijderingskosten van de bestaande glooiingen zijn opgezet. Deze verwijderingskosten hebben geen invloed op de investeringskosten van vol en zat gepenetreerde breuksteen, bij de andere alternatieven worden de kosten echter wel in de investering meegenomen. Bij het Calandkanaal (vak 22) kan de bestaande bekleding echter niet worden overlaagd. Bij het Calandkanaal hebben de twee verschillende bekledingen, waar de glooiing uit bestaat, ongeveer hetzelfde talud. Hierdoor wordt niet de steunberm gevormd die bij de overige vakken wel aanwezig is. Als de bestaande bekleding in die situatie zal worden overlaagd dan zal de nieuwe tegen de oude bekleding kunnen steunen, iets dat wel mogelijk is bij de vakken 6, 9 en 10. In figuur 7 worden de verschillende situaties, tussen de



verschillende vakken weergegeven. De rode cirkel in figuur 7 geeft het verschil aan. Om de Life Cycle Cost (LCC) in beeld te brengen zouden ook de verwijderingskosten aan het einde van de levensduur van de nieuwe bekleding moeten worden meegenomen. De inschatting van deze verwijderingskosten is zeer onzeker omdat de verwachting is dat de bekleding een levensduur van minimaal 50 jaar zal behalen. Omdat er geen goede inschatting over de kosten over 50 jaar kan worden gemaakt worden de verwijderingskosten aan het einde van de levensduur van de nieuwe bekleding niet meegenomen.

5.2 Gebruikte modellen:

Om het meest geschikte alternatief te bepalen is er gebruik gemaakt van meerdere methodes. De verschillende methodes worden in deze paragraaf uiteengezet.

5.2.1 Trade-Off Matrix

De T.O.M maakt gebruik van verschillende aspecten om een afweging tussen de alternatieven te maken. In de T.O.M zijn verschillende criteria opgenomen waar de opdrachtgever waarde aan hecht. De criteria zijn gesorteerd op onderwerp en in groepen verdeeld, deze groepen worden criteriumgroepen genoemd. In totaal zijn er 6 verschillende criteriumgroepen, dit zijn:

- Omgevingsaspecten;
- Onderhoudsaspecten;
- Ontwerpaspecten;
- Uitvoeringsaspecten;
- Risico's;
- Kosten.

5.2.1.1 Werking T.O.M.

In de T.O.M worden de criteria, waaruit de groepen bestaan, toegelicht. In xxx is de T.O.M opgenomen. Ook wordt toegelicht hoe de score is opgebouwd en waarom een bepaalde weging aan de criteria is toegekend. De T.O.M. is in meerdere stappen opgebouwd:

- Bepalen weging per criterium;
- Bepalen score per criterium;
- Bepalen score investeringskosten;
- Bepalen 'gewogen score';
- Wegingspercentage per criteriumgroep;
- Bepalen eindscore.

5.2.1.1.1 Weging per criterium

De weging is op schaal van 1-5 waarbij 5 als belangrijkste en 1 als minst belangrijk wordt gezien. Omdat het van belang is dat het HbR aangeeft welk criterium voor hen van belang is zijn de wegingen bepaald in overleg met het HbR. Dit is gedaan zodat er een afweging kan worden gemaakt waarbij het resultaat aansluit op de aspecten die voor het HbR belangrijk acht.

5.2.1.1.2 Score per criterium

De individuele criteria, waaruit de criteriumgroepen bestaan, kunnen een score krijgen tussen de 0 en 2, waarbij een hogere score positief is. Deze beoordeling is op basis van literatuur gegeven. In enkele gevallen was dit niet mogelijk. In deze gevallen is er via verschillende Asset Managers en inspecteurs van de afdeling AMC om input gevraagd.

5.2.1.1.3 Gewogen score

Een uitzondering hierop zijn de investeringskosten. Deze zijn gerangschikt van 1 (hoogste kosten) en 5 (laagste kosten). Wanneer de kosten gelijk zijn wordt er een gelijke score toegekend. Dit is gedaan omdat het anders niet mogelijk was om het verschil in investeringskosten op een goed wijze in kaart te brengen. Het gevolg hiervan is wel dat de kosten nu nog zwaarder meewegen. Om te voorkomen dat de kosten nu een te grote invloed krijgen zijn er 2 totaal scores opgesteld. In de ene zijn de kosten wel meegenomen, en in de ander niet. Uit deze resultaten is, na overleg met het HbR naar voren gekomen dat de kosten nu een acceptabele zwaarte in de afweging vormen.

5.2.1.1.4 Wegingspercentage per criteriumgroep

Vervolgens worden de scores van deze individuele criteria vermenigvuldigd met de weging die door het HbR is toegekend. Hieruit volgt de 'gewogen score' per individueel criterium. Deze 'gewogen

scores' worden vervolgens per criteriumgroep bij elkaar opgeteld. Deze worden vervolgens vermenigvuldigd met het zogenaamde wegingspercentage. Dit wegingspercentage geeft aan hoe zwaar elke criterium binnen de Matrix weegt.

Om het wegingspercentage te bepalen wordt er eerst wordt per criteriumgroep een gemiddelde bepaald van de weging van alle criteria die tot de groep behoren. Er is met gemiddelden gewerkt omdat in bepaalde criteriumgroepen meerdere aspecten zitten. Wanneer deze per criteriumgroep bij elkaar zouden worden opgeteld, in plaats van een gemiddelde waarde, heeft dit als gevolg dat groepen met veel criteria een zwaardere weging krijgen dan 'kleinere' groepen.

Deze gemiddelden worden vervolgens bij elkaar opgeteld. Vervolgens wordt er bepaald hoeveel procent elk van deze gemiddelden waard is door 100 te delen door het totaal van al deze gemiddelden. Als de uitkomst hiervan vervolgens wordt vermenigvuldigd met het gemiddelde per criteriumgroep ontstaat er een percentage dat bepaalt hoe zwaar elke criteriumgroep meeweegt.

5.2.1.1.5 Bepalen eindscore

Wanneer zowel het *wegingspercentage* als de *gewogen scores* zijn bepaald wordt de gewogen score per criteriumgroep vermenigvuldigd met het wegingspercentage. De uitkomst die hieruit volgt geeft een score. Vervolgens worden de scores van alle criteriumgroepen bij elkaar opgeteld waaruit dan een totaalscore per alternatief volgt.

Een overzicht van de ingevulde T.O.M. is te vinden in *appendix VII* evenals de spreadsheet waarmee is gewerkt.

Resultaat

In tabel 4 de uitkomst van de T.O.M weergegeven. Er zijn 2 verschillende scores omdat er bij vak 22 niet overlaagd kan worden. Om deze reden zijn hier de verwijderingskosten van de bestaande bekleding bij op geteld.

#	Variant	Vak 22	Overige vakken
1	Gepentreerde breuksteen	1707	1817
2	WAB	1237	1237
3	Elastocoast	1233	1233
4	Zetsteen	1174	1174
5	OSA	867	867

Tabel 4: Resultaat T.O.M.

5.2.2 Model Projectbureau Zeeweringen

Het model van Projectbureau Zeeweringen wordt gebruikt om afwegingen te maken voor het bepalen van de beste dijkbekledingen. Het model is opgedeeld in 2 delen. Een afweging voordat de kosten worden meegenomen, de technische afweging, en een afweging waarin de kosten zijn meegenomen, de totale afweging. Waarbij voor de totale afweging de kosten door de technische afweging worden gedeeld.

In het model kunnen er verschillende alternatieven voor zowel de boven- als de ondertafel worden ingevuld. De alternatieven hebben waardes gekregen op het gebied van constructie, moeilijkheidsgraad, hergebruik e.d. Deze waarden zijn in een studie door M. Elzinga bepaald met

behulp van het Keuzemodel Kust- en Oeverwerken van de DWW. Voor een verdere beschrijving van dit model, zie *appendix V, Hoofdstudie I*.

Dit model zal gebruikt worden ter controle van de Trade-Off Matrix.

Resultaat

In deze paragraaf zijn de resultaten van de afweging weergegeven. Net zoals bij de Trade-Off Matrix komt er als beste resultaat 'Vol en zat gepenetreerde breuksteen' uit. Een overzicht van de resultaten is terug te vinden in *appendix VII, Hoofdstudie III*. De uitkomsten zijn in tabel 5 weergegeven. Hier is geen verschil in uitslag tussen vak 22 en de overige vakken omdat bij dit model slechts de aanlegkosten per m² zijn meegenomen. De verwijderingskosten zijn voor elk alternatief gelijk en kunnen dus tegenover elkaar weggestreept worden.

#	Variant	Score
1.	Vol en zat gepenetreerde breuksteen	0,74
2.	OSA	0,71
3.	WAB	0,69
4.	Elastocoast	0,60
5.	Zetsteen	0,60

Tabel 5: Resultaat Projectbureau Zeeweringen

5.2.3 AM adviesmodel

Het HbR heeft een afwegingsmodel op basis van LCC ontwikkeld. Het model is opgedeeld in 3 delen:

- Prestaties;
- Risico's;
- Kosten over de gehele levensduur (LCC).

In eerste instantie was het de bedoeling om dit keuzemodel mee te nemen ter bevestiging van de eerdere 2 (triangulatie). Er is uiteindelijk voor gekozen om dit niet te doen. Dit heeft diverse redenen: de eerste reden is het bepalen de risico's. In het model moeten de risico's en de kans dat deze risico's kunnen voor komen worden meegenomen. Het HbR heeft voor glooiingen risico's geïnventariseerd en risicoanalyses uitgevoerd. Deze risico's zijn echter algemene risico's die voor elk alternatief gelijk zijn. Denk hierbij aan bijvoorbeeld de kans op het invaren van schepen. Doordat er geen onderlinge verschillen tussen de alternatieven zijn kunnen de risico's niet worden meegenomen. Verder is er geprobeerd zelf risico's te bepalen waarin de alternatieven wel verschillen. Omdat de kans van de zelf gestelde risico's niet kan worden bepaald, volgde hieruit geen bruikbare resultaten. Daar komt bij dat de kans op het risico wordt gemeten in jaren. De risico's zoals die bij de Trade-off matrix zijn opgesteld, zoals de moeilijkheidsgraad in de uitvoer, zijn hierdoor niet bruikbaar. Dit omdat deze risico's uit de T.O.M niet op een dergelijke wijze zijn in te calculeren.

Een ander probleem is het invoeren van de kosten. In het model zijn de prestaties, risico's en kosten aan elkaar gekoppeld. Dit is tevens de werking en de kracht van het model. Voor het kostenaspect zijn de LCC kosten benodigd. Deze kosten omvatten alle kosten die gedurende de levensduur van

een object zullen worden gemaakt zoals bijvoorbeeld de investeringskosten, onderhoudskosten en slooptkosten. De LCC zijn kunnen niet worden bepaald aangezien er in de database van het HbR geen onderhoudskosten zijn terug te vinden. Ook bij andere instanties zijn geen kengetallen voor de onderhoudskosten gedurende de levensduur.

Om het model goed te laten werken is door de maker van het model gesteld dat er een gedetailleerde kostenraming van de gehele levensduur nodig is. Zoals eerder vermeld kunnen deze kosten niet worden bepaald. Het onderhoud gebeurt veelal incidenteel (uitgezonderd onderhoud zoals bijvoorbeeld het verwijderen van groen). Dit is ook de reden dat bij het 'Model Projectbureau' slechts de investeringskosten worden meegenomen, en niet de onderhoudskosten.

5.2.3.1 Resultaat

Er is geconcludeerd dat door de afwezigheid van onderscheidende risico's en de levensduurkosten het AM adviesmodel slechts deels kan worden ingevuld en er geen betrouwbare afweging kan worden gemaakt. Aangezien het model erg afhankelijk is van de koppeling tussen deze aspecten is het tijdens het onderzoek niet als afwegingsmodel gebruikt.

5.2.4 Externe expert

Aangezien het Afwegingsmodel AM niet kon worden meegenomen, is er een andere manier worden gebruikt om aan de triangulatie te voldoen. Hiervoor is contact opgenomen met een externe expert, dhr. Y. Provoost. Dhr. Provoost is binnen Projectbureau Zeeweringen de expert op het gebied van dijkbekledingen.

Na het voorleggen van het onderzoek en de onderzoeksmethode kwam dhr. Provoost met de conclusie dat hij de glooiingen in het havengebied zou bekleden met vol en zat gepenetreerde breuksteen. Zijn reden hiervoor is dat vol en zat gepenetreerde breuksteen een zeer betrouwbare oplossing is, die weinig onderhoud vereist, niet gevoelig is voor plantgroei en zeer goed bestand is tegen zowel hydraulische belastingen (wanneer deze goed gedimensioneerd is) als omgevingsfactoren.

Dhr. Provoost heeft verder vanuit eigen ervaring aangegeven dat het praktisch niet haalbaar is om op een talud van 1:1,5 een open bekleding te realiseren waarbij door het penetreren met gietasfalt de stenen geheel vast liggen. Het steile talud kan de uitvoering sterk beïnvloeden en bemoeilijken, zo kan er teveel of te weinig gietasfalt worden gebruikt waardoor of niet genoeg stabiliteit wordt verkregen of een dichte bekleding kan worden gevormd. Beide situaties zullen voor problemen zorgen. Bij Projectbureau Zeeweringen wordt patroon gepenetreerd breuksteen dan ook alleen nog gebruikt als er geen andere mogelijkheid meer is. De expert op het gebied van glooiingen binnen het HbR, dhr. M. Minnaard, bevestigt de input van de externe expert en heeft aangegeven dat het HbR de risico's te groot acht.

Alhoewel uit de literatuur dit niet blijkt, wordt er in dit geval vertrouwd op de uitgebreide kennis van dhr. Provoost en dhr. M. Minnaard. Patroon gepenetreerde breuksteen wordt hierdoor niet meer als serieus alternatief gezien.

5.3 Conclusie

Nadat er uit 3 verschillende methodes dezelfde conclusie is gekomen, kan er worden gezegd dat er een goede, betrouwbare afweging is gemaakt. Na het analyseren van deze resultaten is dan ook besloten dat er kan worden gestart met het dimensioneren van de glooiing. Welke dus vol- en zat gepenetreerde breuksteen. Dit advies geldt voor alle locaties. Er zit relatief weinig verschil in de uitslagen, dit komt omdat er weinig verschil zit in de omstandigheden per glooiing. Dit komt omdat deze allemaal in hetzelfde gebied liggen en dus onder dezelfde invloeden staan (o.a. hydraulische belastingen).

Wel moet er rekening worden gehouden met het feit dat het in vak 22 niet mogelijk is om daar te overlagen omdat het gepenetreerde breuksteen hier geen goed steunpunt heeft. Het is daarom op deze locatie nodig om eerst het bestaande WAB te verwijderen en pas hierna het vol- en zat gepenetreerde breuksteen aan te leggen.

6 Ontwerpproces

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de totstandkoming van het ontwerp. Als eerst wordt het ontwerpproces toegelicht, vervolgens wordt ingegaan op de dimensioneringsaspecten en de uitkomsten waarna als laatste de bevindingen en conclusies worden opgesomd.

Door middel van triangulatie is de meest optimale variant bepaald. Dit is vol en zat gepenetreerde breuksteen. Deze variant is op alle locaties toepasbaar en dient als vervanging voor zowel het WAB als het OSA.

Gedurende het onderzoek zijn echter de twee meest optimale alternatieven gedimensioneerd, hierdoor is ook patroon gepenetreerde breuksteen meegenomen in het dimensioneringsproces (zie *appendix VIII*). Omdat op het moment van berekenen het nog niet bekend was dat patroon gepenetreerde breuksteen niet mogelijk is op de betreffende glooiingen, is deze wel berekend maar staat deze niet in het eindrapport. Deze berekening is te zien in *Hoofdstudie IV*.

Aangezien er slechts een deel van de glooiingen hoeft te worden vervangen, en er geen volledig nieuwe glooiing hoeft te worden ontworpen, kunnen een aantal dimensioneringsaspecten weg worden gelaten. Er hoeft bijvoorbeeld geen teenconstructie of plasberm te worden ontworpen, omdat deze in de huidige staat nog voldoen aan de eisen van het HbR. Verder zijn aspecten zoals de taludhelling en het glooiingsprofiel in het PvE vastgelegd (zie *appendix II*). De bekleding is gedimensioneerd op de volgende aspecten (Boer, 1971) en (TAW, 2002):

- Wateroverdrukken;
- Golfklappen;
- Stroming;
- Afschuiving.

Deze dimensioneringsaspecten hebben invloed op de laagdikte van een bekledingstype.

Met bepaalde aspecten is er geen rekening gehouden, omdat deze niet van toepassing zijn. Dit zijn de aspecten:

- Ontgrondingen;
- Kruiend ijs;
- Verkeersbelasting.

Omdat er waterstroming onder de bekleding voor kan komen is het mogelijk dat er zandtransport plaats vindt, dit principe is echter alleen van belang bij teenbeschermingen. Dit aspect is niet meegenomen aangezien er geen teenbeschermingen zijn ontworpen. Om de kosten te drukken is er gekozen om de bestaande bekleding te overlagen met gepenetreerde breuksteen. Een filterlaag is hierdoor overbodig omdat de bestaande bekleding grond dicht is. Er hoeft hierdoor geen rekening te worden gehouden met ontgroning.

Bij het Calandkanaal, vak 22, kan geen overlaging worden toegepast. Bij de overige locaties kan dit echter wel. In paragraaf 5.1.3 is hier dieper op ingegaan.

Verder is vanuit het HbR aangegeven dat kruierend ijs niet relevant is. In het PvE is dit opgenomen (zie *appendix II*). Verkeersbelasting wordt niet meegenomen aangezien er geen verkeer op de glooiingen mogelijk is.

Allereerst is tijdens het dimensioneren een breuksteensortering voor de vol en zat gepenetreerde bekleding gekozen. Deze keuze wordt in *paragraaf 6.2* beargumenteerd. Vervolgens worden de dimensioneringsaspecten toegelicht waarna de uitkomsten zullen worden behandeld.

6.1 Sortering breuksteen

Voor het kiezen van de breuksteen sortering, voor de vol en zat gepenetreerde breuksteen bekleding, is gebruikt gemaakt van zowel de ervaring van een externe expert als de literatuur. De expert dhr. Yvo Provoost heeft in een gesprek aangegeven dat een sortering van 5-40 kg in de uitvoering voor problemen kan zorgen. De steensortering zal namelijk hoogstwaarschijnlijk worden aangevoerd per binnenvaartschip. Wanneer het granulaat uit de beun wordt geladen, blijven er uiteindelijk als laatste gedeelte van de lading de kleinste stenen uit de sortering over. Wanneer deze op het talud worden geplaatst kan dit kleinere granulaat voor zwakke plekken in de bekleding zorgen. Indien in de uitvoering hierop wordt gelet kunnen deze problemen echter worden voorkomen. Bij een sortering van 10-60 kg komt dit kleine granulaat niet voor, het vormen van zwakke plekken is hierdoor dan ook niet aan de orde. Uit (TAW, 2002) komt naar voren dat een 10-60 kg sortering moeilijker te penetreren is dan een 5-40 kg sortering, de ervaring van Provoost leert echter dat ook de sortering 10-60 kg hedendaags zeer goed te penetreren is aangezien het meerdere keren is toegepast door Projectbureau Zeeweringen.

Er zal in het HbR een kostenafweging moeten worden gemaakt om een sortering te kiezen. De sortering 5-40 kg voldoet op papier en is zelfs al overgedimensioneerd als er naar de uitkomsten van de berekeningen wordt gekeken, echter vormt zich een risico door de mogelijkheid op zwakke plekken. Indien het HbR dit risico wil verkleinen of elimineren zal er of meer aandacht moeten worden besteed in de uitvoering of worden gekozen voor de sortering 10-60 kg.

Er moet rekening worden gehouden met het feit dat voor het vol en zat penetreren van de sortering 10-60 kg meer gietasfalt benodigd is waardoor meer kosten zullen moeten worden gemaakt. In tabel 6 zijn de eigenschappen van de beschikbare sorteringen opgenomen. In het ontwerp is in verband met de verminderde investeringskosten gebruik gemaakt van de sortering 5-40 kg. Deze sortering is met rood in tabel 6 aangegeven.

Steensorteringen					
Uitgaande van $p_s = 2.650 \text{ kg/m}^3$ (standaardwaarde)					
Sortering	M_{50} [kg]	D_{n50} [m]	D_{15} [m]	D_{50} [m]	D_{85} [m]
45/125 mm	0,8	0,067	0,059	0,08	0,114
63/180 mm	2,4	0,097	0,084	0,115	0,164
90/250 mm	6,5	0,135	0,118	0,16	0,227
5-40 kg	21	0,20	0,18	0,24	0,28
10-60 kg	37	0,24	0,22	0,29	0,33
40-200 kg	127	0,36	0,35	0,43	0,50
60-300 kg	193	0,42	0,40	0,49	0,57
300-1.000 kg	715	0,65	0,65	0,77	0,86
1-3 ton	2.088	0,92	0,94	1,10	1,21

Tabel 6: Eigenschappen van verschillende soorten steensorteringen (Projectbureau Zeeweringen, 2012)

6.2 Toelichting dimensioneringsaspecten

In deze paragraaf wordt ingegaan op de eerder genoemde dimensioneringsaspecten:

- Wateroverdrukken;
- Golfklappen;
- Stroming;
- Afschuiving.

De aspecten zullen kort worden toegelicht, in *appendix VIII* wordt dieper ingegaan op de uitwerking van de berekeningen en de invloed op de laagdikte.

6.2.1 Wateroverdrukken

Door wateroverdrukken kan de bekleding gaan 'opdrijven', hierdoor kan schade aan de bekleding ontstaan. Voor het bepalen van eventuele wateroverdruk onder een dichte, niet waterdoorlatende, bekleding zijn een aantal parameters benodigd:

- Maatgevende gemiddelde waterstand (GWS);
- Maatgevend hoogwater (MHW);
- Maatgevende grondwaterstand (MGWS);
- Onderzijde dichte bekleding (t.o.v. NAP).

6.2.1.1 Maatgevende gemiddelde waterstand (GWS)

De GWS is bepaald met behulp van de gemiddelde laagwater- en hoogwaterstand afkomstig uit bestaande tekeningen van het HbR. Deze parameter is plaats afhankelijk.

Door het KNMI is aangegeven dat de verwachte zeespiegelstijging voor de komende 50 jaar tussen de 30 en 60 cm zal zijn (KNMI, 2014). Deze stijging is in het onderzoek meegenomen en gesteld op 45 cm. Er is voor een gemiddelde van de minimale en maximale stijging gekozen omdat de voorspellingen zeer onzeker zijn en de berekening anders te positief of te negatief kan worden beïnvloed. De stijging van 45 cm wordt toegevoegd aan de, plaats afhankelijke, GWS.

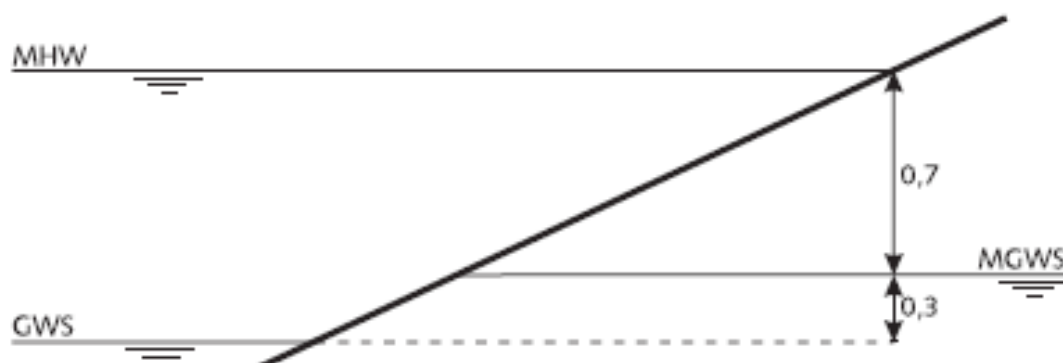
6.2.1.2 Maatgevend hoogwater (MHW)

De maatgevende hoogwaterstanden zijn voor alle locaties bepaald aan de hand van het rapport (Gemeentewerken Rotterdam, 2010). In het rapport zijn voor verschillende herhalingstijden de extreme waterstanden weergegeven. Er is voor het onderzoek uitgegaan van een herhalingstijd van eens in de 50 jaar. Omdat het aannemelijk is dat tijdens de ontwerplevensduur van de bekleding (50 jaar) deze waterstand zich ten minste één maal voordoet.

Aan het MHW is dezelfde stijging van het zeeniveau toegepast als voor de GWS.

6.2.1.3 Maatgevende grondwaterstand (MGWS)

De MGWS is te bepalen met behulp van de GWS en het MHW. Voor het bepalen van het MGWS wordt voor rivierdijken de verdeling zoals weergegeven in Figuur 8 gebruikt (TAW, 2002). Door het niveau van de MGWS kan er voor elke afzonderlijke plek van de bekleding worden bepaald of er wateroverdrukken optreden en welke minimale laagdikte benodigd is.



Figuur 8: Weergegeven verschillen in de waterstanden (TAW, 2002)

6.2.1.4 Onderzijde dichte bekleding (t.o.v. NAP).

Het niveau van de onderzijde van de dichte bekleding is met behulp van de bestaande glooiingstekeningen van het HbR bepaald. Voor de verschillende locaties komen de niveaus van de onderzijde van de bekleding bijna overeen (zie appendix III, Voorstudie I, hoofdstuk 1.1). In de bestaande glooiingstekeningen van het HbR is een rij van gecreosoteerde perkoenpalen opgenomen. De palen hebben een lengte van twee meter en de rij bestaat uit 5 palen per strekkende meter. Bij verschillende leveranciers zijn de standaard diameters voor de perkoenpalen geïnventariseerd. De grootste diameter voor een paal met een lengte van 2 meter is 10-12 cm (Treasure Building B.V.). Indien deze diameter in de bestaande situatie is toegepast zal er door de open ruimtes tussen de palen geen dichte constructie worden gevormd. Er is aangenomen dat de rij van perkoenpalen een open constructie vormen en geen effect hebben op de optredende wateroverdruk.

6.2.1.5 Formule wateroverdrukken

Voor het berekenen van de minimaal benodigde laagdikte in een zone waarin wateroverdrukken optreden is de volgende formule gebruikt (TAW, 2002):

$$d = 0,21 \cdot Q_n \cdot a + v \cdot \frac{\rho_w}{\rho_a - \rho_w} \cdot R_w$$

d = benodigde laagdikte m

Q_n = factor afhankelijk van taludhelling –

a = de verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot de maatgevende buitenwaterstand m

v = de verticaal gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand en de MGWS (m)

ρ_a = dichtheid bekleding $\frac{kg}{m^3}$

ρ_w = dichtheid water $\frac{kg}{m^3}$

R_w = reductiefactor in verband met de ligging van de buitenwaterstand (–)

De parameter Q_n kan worden berekend met de volgende formule (KOAC-NPC, 2005):

$$Q_n = \frac{0,96}{\cos \alpha^{1,4}}$$

α = hellingshoek (°)

De waarden voor de parameters Q_n , ρ_w en ρ_a zijn in *appendix VIII, Hoofdstudie IV, §2.3.1.1* toegelicht. De a , v , R_w en α verschillen per locatie en zijn terug te vinden in *appendix VIII, Hoofdstudie IV, §2.3.1.1*.

Voor de dichtheid van de bekleding (ρ_a) wordt een waarde van 260 kg/m² aangehouden. En voor het percentage holle ruimtes in de bekleding een waarde van 40%.

6.2.2 Golfklappen

Voor het dimensioneren op golfklappen is het computermodel GOLFKLAP gebruikt. Voor het model zijn de in *hoofdstuk 2* weergegeven hydraulische randvoorwaarden per locatie gebruikt. De H_s en de T_p (in GOLFKLAP T_g genoemd) nodig om het aantal lastherhalingen op een bekleding te berekenen.

6.2.2.1 Computermodel GOLFKLAP

Het model GOLFKLAP is een computerprogramma waarmee de laagdikte van een bekledingstype kan worden getoetst of worden berekend. Het model GOLFKLAP berekent of een laag van de bekleding bestand is tegen vermoeiingsschade als gevolg van de herhaalde golfklapbelasting. De schade wordt uitgedrukt in de zogenaamde minersom. Dit getal is de som van de relatieve vermoeiingsschade, die elke golfklap op het materiaal teweeg brengt. Als de minersom groter dan 1 is zal er schade

optreden en zullen er scheuren ontstaan. Hiermee kan bepaald worden welke laagdikte een bekleding nodig heeft. (KOAC-NPC, 2005)

De volgende bronnen zijn gebruikt om de waarden van de parameters, welke benodigd zijn voor het model GOLFKLAP, te bepalen:

- (TAW, 2002);
- (KOAC-NPC, 2010)
- (Rijkswaterstaat, 2009);
- (Rijkswaterstaat, 2010a)

In *appendix VIII, Hoofdstudie IV, §2.3* wordt verder ingegaan op de gebruikte parameters.

6.2.3 Stroming

Voor een vol en zat gepenetreerde bekleding wordt stroming niet als relevant gezien aangezien stroming de bekleding niet aantast. (TAW, 2002).

6.2.4 Afschuiving

Uit (Boer, 1971) blijkt dat het schuifcriterium bepalend is voor de materiaalkeuze van een gesloten bekleding. Bij viskeuze materialen, zoals bijvoorbeeld WAB, kunnen inwendige spanningen voor vermoeiing van de bekleding zorgen. Bij materialen met een hoge inwendige stabiliteit, zoals gepenetreerde breuksteen, is dit niet het geval. Voor dit bekledingstype hoeft geen rekening te worden gehouden met het afschuifcriterium.

6.3 Dimensionering per locatie

In deze paragraaf worden per locatie de uitkomsten van de berekeningen en het computermodel GOLFKLAP toegelicht.

6.3.1 Groep 1

Groep 1 bestaat uit vak 6, Hartelkanaal VIII (Krabbeterrein). De hydraulische randvoorwaarden en het bestaande ontwerp van deze glooiing wijkt af van de overige locaties. Hierdoor wordt vak 6 als afzonderlijke groep gezien. Van de glooiingen op deze locatie, bestaande uit WAB en gepenetreerde breuksteen, hoeft slechts het WAB gedeelte worden te vervangen.

6.3.1.1 Conclusie dimensioneren

De bestaande glooiing is slechts van +3,50 tot +4,50 meter met het te vervangen WAB bekleed. Op dit niveau kunnen geen wateroverdrukken ontstaan. Er hoeft dan ook niet op wateroverdruk te worden gedimensioneerd. Verder hoeft ook met stroming en afschuiving, voor vol en zat gepenetreerde breuksteen, geen rekening te worden gehouden.

Golven hebben wel invloed op de laagdikte van de bekleding, de significante golfhoogte is echter dermate laag dat in het GOLFKLAP model een minimaal gestelde laagdikte van 0,10 meter al voldoet aan de golfbelasting. In (Projectbureau Zeeweringen, 2012), (KOAC-NPC, 2012) en (TAW, 2002) wordt voor de minimaal benodigde laagdikte de vuistregel gehanteerd die voorschrijft dat 1,5 maal

de D_{n50} moet worden gebruikt. In §6.1 is aangegeven dat de sortering 5-40 kg als standaardsortering wordt aangehouden. De D_{n50} is te bepalen met tabel 7. De minimaal benodigde laagdikte voor vol en zat gepenetreerde breuksteen met een sortering van 5-40 kg is uiteindelijk 0,30 meter.

In het (TAW, 2002) wordt uitgegaan van 40% holle ruimte in een breuksteenbekleding. Bij een laagdikte van 0,30 m (bij 5-40 kg) en een dichtheid van 2150 kg/m^3 voor gietasfalt, zal voor het vol en zat penetreren circa 260 kg/m^2 gietasfalt benodigd zijn. Het percentage holle ruimte en de dichtheid voor het gietasfalt zal voor alle locaties worden aangehouden.

6.3.2 Groep 2

Groep 2 bestaat uit vak 9, Hartelkanaal Noordzijde/Beerkanaal, en vak 10, 6^e Petroleumhaven. De hydraulische randvoorwaarden en het bestaande ontwerp van deze glooiing komen op de twee locaties overeen. Daarom worden deze 2 vakken als 1 groep gezien. Op deze locaties hoeft de bekleding ook slechts deels te worden vervangen.

6.3.2.1 Conclusie dimensioneren

De bestaande glooiing is slechts van +4,00 tot +5,00 meter met het te vervangen WAB bekleed. Op dit niveau kunnen geen wateroverdrukken ontstaan. Verder gelden de zelfde conclusies voor groep 2 als bij groep 1, onder andere dat de golven wel invloed hebben maar dat de significante golfhoogte dermate laag is dat de 5-40 sortering als standaard wordt aangehouden en volgens GOLFKLAP is voldoet de minimaal gestelde laagdikte van 0,10 meter bij deze locatie. Maar omdat voor de laagdikte wordt dezelfde vuistregel wordt aangehouden, is dit niet voldoende. (§6.2.1).

De significante golfhoogte is voor groep 2 wel hoger dan bij groep 1, deze is echter nog steeds de lage kant. Dezelfde laagdikte van 0,30 meter, voor vol en zat gepenetreerde breuksteen met een 5-40 kg sortering, wordt aangehouden.

Dezelfde hoeveelheid gietasfalt als voor groep 2, 260 kg/m^2 , is benodigd voor het vol en zat penetreren van de breuksteenlaag.

6.3.3 Groep 3

Groep 3 bestaat uit de vakken 11 t/m 13, de Dintelhaven. De hydraulische randvoorwaarden en het bestaande ontwerp van deze glooiing zijn voor deze 3 vakken hetzelfde. De glooiing moet volledig worden vervangen.

6.3.3.1 Conclusie dimensioneren

De bestaande glooiing moet in zijn geheel worden vervangen. Er is gekozen voor het overlagen van de bestaande OSA bekleding met vol en zat gepenetreerde breuksteen. Hierdoor komt de onderkant van de gepenetreerde bekleding op circa NAP te liggen. De oever is momenteel bekleed tot +3,50 meter. Met de aspecten afschuiving en stroming wordt net als in §6.3.1.1 geen rekening gehouden. Uit het computermodel GOLFKLAP is gebleken dat de significante golfhoogte in de Dintelhaven dermate laag is dat er geen schade aan de bekleding optreedt. De golfbelasting heeft verder geen invloed op de benodigde laagdikte.

Omdat de bestaande open bekleding wordt vervangen door een dichte bekleding, zullen wateroverdrukken ontstaan (zie §6.2.1.). Door de formule uit §6.2.1.5 toe te passen is voor groep 3

een laagdikte van 0,34 meter bepaald. De dichtheid welke in de berekening is aangehouden (zie *appendix VIII, Hoofdstudie IV, §2.3.1.1*) is een veilig gemiddelde. In de praktijk zal de dichtheid, van onder andere het gietasfalt, hoger zijn. De hogere dichtheid zal zorgen voor een minder grote, door waterdruk benodigde, laagdikte. Verder is in de berekening uitgegaan van een extreme situatie waarvan wordt aangenomen dat hij slechts eens in de 50 jaar voorkomt.

Voor het vol en zat penetreren van de 5-40 kg sortering met een laagdikte van 0,34 meter is circa 290 kg/m² gietasfalt benodigd.

6.3.4 Groep 4

Groep 4 bestaat uit vak 22, het Calandkanaal. De hydraulische randvoorwaarden en het bestaande ontwerp van deze glooiing is verschillend ten opzichte van de andere locaties. De glooiing moet slechts deels worden vervangen. Net vakken 6,9 en 10 bestaat vak 22 voor een gedeelte uit vol en zat gepenetreerde breuksteen en WAB. Waarbij slechts het WAB hoeft te worden vervangen.

6.3.4.1 Conclusie dimensioneren

De bestaande glooiing is slechts van +3,70 tot +5,20 meter met het te vervangen WAB bekleed. Op dit niveau kunnen geen wateroverdrukken ontstaan. Er hoeft dan ook niet op wateroverdruk te worden gedimensioneerd. Verder hoeft ook met stroming en afschuiving, voor vol en zat gepenetreerde breuksteen, geen rekening te worden gehouden. Ook geldt voor groep 4 hetzelfde als bij groep 1 (§6.2.1). De significante golfhoogte is voor groep 4 hoger dan groep 1 en even hoog als bij groep 2. Echter is de significante golfhoogte dermate laag dat de belasting geen invloed heeft op de laagdikte. De minimaal gestelde laagdikte van 0,30 meter, voor een 5-40 kg sortering, wordt aangehouden voor groep 4. Voor het vol en zat penetreren is dezelfde hoeveelheid gietasfalt als voor groep 1 en 2 benodigd.

6.4 Tekeningen

Achterin *appendix VIII, Hoofdstudie IV* zijn de ontwerptekeningen te vinden. Deze zijn gebaseerd op de bovenstaande berekeningen en dimensionering.

7 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zullen de conclusies die tijdens het onderzoek zijn getrokken worden opgesomd en zal een aanbeveling worden gedaan voor het vervangen van de bestaande bekleding.

7.1 Conclusie

Door het inventariseren van de stakeholders en het onderzoeken van de geplande ontwikkelingen was het mogelijk het PvE samen te stellen. Er is geconcludeerd dat er pas in de uitvoering rekening met de stakeholders hoeft te worden gehouden. De stakeholders zullen tijdens de uitvoering voornamelijk proceseisen hebben. De geplande ontwikkelingen zijn alleen van belang voor vak 6. In de aanbeveling zal hier verder op worden ingegaan.

De huidige glooiingen zijn bekleed met WAB en OSA, tijdens de voorstudie zijn de levensduur beperkende factoren bepaald zodat er rekening met deze factoren kan worden gehouden bij het realiseren van de nieuwe bekleding. Uit de literatuur en het onderzoek van de asfaltglooiingen in het Rotterdamse havengebied (KOAC-NPC, 2010) is gebleken dat de grootste degradatieoorzaak voor WAB het hoge percentage van holle ruimtes is.

Voor OSA is de degradatieoorzaak moeilijker vast te stellen. De mate van erosie kan zijn veroorzaakt door de vaste steen-mortel verhoudingen die in het verleden zijn gebruikt (zie §2.2.5.2). Daarbij moet wel worden gezegd dat het OSA er nu ongeveer 40 jaar ligt. Zowel (TAW, 2002) als het projectbureau Zeeweringen gaan uit van een levensduur die tussen de 25 en 50 jaar ligt. Er kan dus worden gezegd het levensverloop van het OSA op de betreffende glooiingen op een relatief normale manier verlopen is. Oftewel, dat er geen externe factoren geweest zijn die het degradatieproces hebben versnelt.

In het onderzoek zijn meerdere bekledingstypen op verschillende vlakken toegelicht en behandeld. Deze vlakken zijn: technisch, financieel, functioneel en onderhoudstechnisch. Door middel van triangulatie zijn de twee meest optimale alternatieven bepaald. Hiervoor zijn twee afwegingsmodellen gebruikt en is er een externe expert geraadpleegd. De twee afwegingsmodellen zijn op te delen in een hoofd afwegingsmodel en een controle afwegingsmodel. Het hoofd afwegingsmodel is samengesteld met behulp van de gestelde criteria van het HbR in de vorm van een Trade- Off Matrix. Het controle afwegingsmodel is een model dat wordt gebruikt en is aangeleverd door Projectbureau Zeeweringen. De externe expert is vervolgens gebruikt als derde bevestiging, zodat er sprake is van triangulatie.

Uit zowel de afwegingsmodellen als het oordeel van de externe expert is dezelfde uitkomst verkregen: het meest optimale alternatief is vol- en zat gepenetreerde breuksteen.

Patroon gepenetreerde breuksteen is als één na beste alternatief uit het hoofd afwegingsmodel gekomen. Hierdoor is patroon gepenetreerde breuksteen wel gedimensioneerd in *hoofdstudie IV*. Het advies van de externe expert is pas na het realiseren van *hoofdstudie IV* verkregen. Door de externe expert is aangegeven dat het praktisch niet haalbaar is om op een talud van 1:1,5 een open bekleding te realiseren waarbij door het penetreren met gietasfalt de stenen geheel vast liggen. Het steile talud kan de uitvoering sterk beïnvloeden en bemoeilijken, zo kan er teveel of te weinig gietasfalt worden gebruikt waardoor of niet genoeg stabiliteit wordt verkregen of een dichte

bekleding kan worden gevormd. Beide situaties zullen voor problemen zorgen. Dit advies is bevestigd door de expert van het HbR, dhr. M. Minnaard. Waarna is geconcludeerd dat patroon gepenetreerde breuksteen een niet realiseerbare oplossing is.

De afweging is gebaseerd op verschillende aspecten waarbij vooral de duurzaamheid² en de kosten een grote rol hebben gespeeld. Op deze aspecten, met name op het gebied van duurzaamheid, scoort vol- en zat gepenetreerde breuksteen goed. Vol- en zat gepenetreerde breuksteen is een dermate solide constructie dat deze als onderhoudsvrij kan worden gezien, dit wordt bevestigd door het (TAW, 2002), dhr. Y. Provoost en de Asset Managers van de afdeling AMC. Aan dit aspect wordt door het HbR veel waarde gehecht.

Er is gekozen voor een 5-40 kg sortering aangezien deze sortering, door de kleinere laagdikte en de mindere hoeveelheid benodigde gietasfalt, minder investeringskosten met zich meebrengt. De vol en zat gepenetreerde bekleding heeft voor de vakken 6, 9, 10 en 22 een laagdikte van 0,30 meter. Deze laagdikte is, voor deze sortering, de minimale laagdikte die benodigd is voor het penetreren van breuksteen ($1,5 D_{n50}$). Voor de vakken 11 t/m 13 is deze laagdikte, door de aanwezige wateroverdruk, 0,34 meter.

Voor het vol en zat penetreren van de breuksteen met een sortering van 5-40 kg is voor de vakken 6, 9, 10 en 22 circa 260 kg/m^2 gietasfalt benodigd. Voor de vakken 11 t/m 13 is dat circa 290 kg/m^2 . De bestaande bekledingen worden overlaagd met vol en zat gepenetreerde breuksteen. Bij overlaging wordt er boven op de bestaande bekleding een nieuwe laag aangebracht. Het overlagen van een bestaande bekleding met gepenetreerde breuksteen is door Projectbureau Zeeweringen veelvuldig toegepast bij steenzettingen. Omdat de bestaande bekledingen grond dicht zijn hoeft er geen filterlaag, zoals zandasfalt of geotextiel, te worden toegepast.

7.2 Aanbevelingen

De aanbeveling is als volgt: voor het vervangen van de bestaande WAB en OSA bekledingen zal gebruik worden gemaakt van vol en zat gepenetreerde breuksteen met een 5-40 kg sortering. Deze bekleding kan onder een 1:1,5 worden gerealiseerd en is toepasbaar op alle locaties. De verwachte onderhoudskosten zullen bij de vol en zat gepenetreerde breuksteen bekleding minimaal zijn. Dit is gebaseerd op kennis van zowel het HbR Rotterdam als die van het Projectbureau Zeeweringen. Het afwegingsmodel kan worden gebruikt voor soortgelijke locaties, zoals bijvoorbeeld industriegebieden en openbare ruimtes welke zich niet in de binnenstad bevinden. In het afwegingsmodel is geen criterium toegevoegd waarin de esthetische waarde van de bekleding wordt beoordeeld. Op locaties waar waarde wordt gehecht aan het uiterlijk vertoon van de bekleding, in de binnenstad van Rotterdam bijvoorbeeld, zal daardoor niet voor een vol en zat gepenetreerde breuksteen bekleding worden gekozen. Voor dergelijke locaties zal het afwegingsmodel moeten worden aangepast. Hetzelfde geldt voor locaties welke deel uitmaken van een primaire waterkering.

² De mate van degradatie die optreedt door de belasting op het materiaal in de tijd.

Verder zal het HbR in de uitvoering bij een 5-40 kg sortering aandacht moeten besteden aan vlakken waar veel klein granulaat wordt gestort, de voorkeur is dat dit de breuksteenlaag bestaat uit zowel groot en klein granulaat. Indien grotendeels klein granulaat in een vak wordt gestort kunnen er zwakke plekken in de bekleding worden gevormd. In §6.2 wordt uitgelegd waarom dit kleine granulaat zwakke plekken kan veroorzaken.

Verder zal rekening moeten worden gehouden met de hoeveelheid gietasfalt die per vierkante meter wordt gebruikt. Bij het dimensioneren van vol en zat gepenetreerde breuksteen bekleding op wateroverdruk, vakken 11 t/m 13, is gerekend met een standaard dichtheid voor een vol en zat gepenetreerde breuksteenbekleding. Deze dichtheid is sterk afhankelijk van de hoeveelheid gietasfalt per vierkante meter bekleding. Deze hoeveelheid is circa 290 kg/m^2 . Als deze hoeveelheid niet wordt gehaald zal een te lichte bekleding kunnen worden gerealiseerd. Waarbij het risico bestaat dat deze kan gaan opdreven als gevolg van grote wateroverdrukken die in extreme situaties kunnen worden gevormd.

8 Kritische beschouwing

In dit hoofdstuk zullen de uitkomsten van het onderzoek kritisch worden bekeken. Om te bewijzen dat de conclusies die tijdens het onderzoek zijn getrokken niet berusten en afhangen van enkele aspecten. Een kleine mutatie in het afwegingsmodel mag er bijvoorbeeld niet voor zorgen dat het minst geschikte alternatief opeens het meest optimale wordt.

Verder zal worden ingegaan op de aspecten die het onderzoek hebben bemoeilijkt en mogelijk hebben vertraagd.

8.1 Gevoeligheid Trade-Off Matrix

De waarden die zijn ingevuld in de Trade-Off Matrix (T.O.M.) staan vast en komen uit de literatuur. Een aantal van deze aspecten zoals begaanbaarheid berusten op de ervaring van de inspecteurs en de Asset Managers. De kosten staan echter niet vast, dit zijn inschattingen gemaakt door kostenexperts van het HbR. De gebruikte kosten zijn dus indicaties van de investeringskosten. In de T.O.M. zijn hierdoor meerdere aspecten gewijzigd en waardoor de meest optimaal bepaalde variant negatiever in kaart wordt gebracht. De beoordelingen, van vol en zat gepenetreerde breuksteen, zijn voor de volgende aspecten aangepast:

- **Technische aspecten;**
 - Vandalisme;
 - Begaanbaarheid;
 - Moeilijkheidsgraad;
- **Kostenaspecten;**
 - Onderhoudsgevoeligheid;
 - Investeringskosten.

De beoordelingen van de hierboven weergegeven aspecten zijn niet uit de literatuur verkregen maar zijn bepaald aan de hand van de ervaring van Asset Managers, inspecteurs en kostenexperts van zowel het HbR als Projectbureau Zeeweringen.

8.1.1 Mutatie technische aspecten

Allereerst zijn de beoordelingen van de technische aspecten voor vol en zat gepenetreerde breuksteen dermate aangepast dat er voor zowel vandalisme, begaanbaarheid als moeilijkheidsgraad een score van nul is verkregen. Het aanpassen van deze aspecten zorgt echter niet voor andere uitkomst, ook voor de uitkomst exclusief de kosten. Dit is te verklaren aangezien vol en zat gepenetreerde breuksteen goed scoort op aspecten waar het HbR veel waarde aan hecht zoals bijvoorbeeld: weerstand tegen vermoeiing, erosiebestendigheid en gevoeligheid voor weersomstandigheden.

8.1.2 Mutatie kostenaspecten

Vervolgens is met de kostenaspecten hetzelfde gedaan. De onderhouds- (weergegeven als onderhoudsgevoeligheid) en investeringskosten zijn verhoogd waardoor er aan vol en zat gepenetreerde breuksteen een lagere score wordt toegekend. Ter verduidelijking, voor vol en zat gepenetreerde breuksteen zijn de verwachte investeringskosten 85 €/m². Voor zetsteen, het duurste alternatief, zijn de verwachte investeringskosten 120 €/m². Er wordt nu vanuit gegaan dat vol en zat gepenetreerde breuksteen dezelfde investeringskosten met zich meebrengt als zetsteen, hierdoor de score drastisch verlaagd. Om de impact van de kosten te bepalen zijn voor de technische aspecten de originele scores teruggezet. Er kan worden geconcludeerd dat indien vol en zat gepenetreerde breuksteen het duurste alternatief zal zijn, op basis van zowel de onderhouds- als investeringskosten, het nog steeds de meest optimale variant zal zijn. De verklaring hiervoor sluit volledig aan op de in §8.1.1 gestelde verklaring.

8.2 Project bemoeilijkende aspecten

Voor de start van het project is een Plan van Aanpak en een planning gemaakt. Het project is hierin opgedeeld in deelstudies welke zijn opgenomen volgens een vooraf bedachte structuur. Zo is het bijvoorbeeld de bedoeling geweest om eerst in hoofdstudie I de afwegingsmodellen te bepalen. In de afwegingsmodellen zullen de alternatieven aan bepaalde criteria worden getoetst. Als de verschillende criteria bekend zijn dan kan in hoofdstudie II, de literatuurstudie naar alternatieven, zorgvuldig en gericht informatie worden gezocht welke aansluit op de afwegingsmodellen. De verwachting voor de start van het project was dan ook dat er, om een afweging te maken, RAMS/LCC analyses bij het HbR beschikbaar zouden zijn. Dit was echter niet het geval. Ook bij andere instanties, zoals RWS, worden dergelijke modellen niet veelvuldig gebruikt. In verband met de beoogde benodigde tijd zijn de hoofdstudies I en II in een andere volgorde uitgevoerd. Als eerst is de literatuurstudie verricht en vervolgens de studie naar afwegingsmodellen. Door het veranderen van de werkvolgorde was er bij het maken van de literatuurstudie niet bekend op welke aspecten informatie benodigd was, hierdoor zijn meerdere malen aanpassingen nodig geweest en heeft de literatuurstudie meer tijd gekost dan vooraf was verwacht.

Hetzelfde geldt voor de indicatieve investerings- en onderhoudskosten. Aangezien er geen kengetallen bij het HbR beschikbaar zijn heeft het verkrijgen van deze kosten veel moeite en tijd gekost, een overzicht van de correspondentie is te vinden in de appendix van *Hoofdstudie I* (appendix V). Andere instanties zoals Heijmans, RWS en Projectbureau Zeeweringen zijn hierbij geraadpleegd. Er werden echter grote verschillen tussen de verkregen kosten geconstateerd. Dit is te verklaren aangezien door de instanties verschillende factoren en dergelijke zijn gebruikt. Hierdoor is het niet mogelijk geweest om onderlinge vergelijking te maken. Om dit probleem te elimineren zijn de onderhoudskosten op basis van de ervaring van Asset Managers, inspecteurs en experts, kwalitatief vastgesteld en zijn de investeringskosten uiteindelijk bepaald door de kostenexpert van het HbR, dhr. J.C. Koene. De investeringskosten zijn in dit geval betrouwbaarder omdat dezelfde factoren en dergelijke zijn gebruikt voor alle alternatieven.

Verklarende woordenlijst

Afwegingsmodel

Een model waarin verschillende varianten worden getoetst aan criteria. Met behulp van het model wordt uiteindelijk een variant verkregen welke het best op de betreffende criteria scoort. Met een dergelijk model kan uit meerdere varianten de meest optimale worden bepaald.

Asset Manager

Functie binnen het HbR waarbij men zich bezig houdt met het integraal waarborgen van de functionaliteit van de aan de afdelingen toebedeelde assets binnen de door de asset- owner gestelde kaders. Deze doelstelling vertaalt zich in het monitoren, het borgen en bewaken van (rest)capaciteit en het verrichten van voorstudies en het doen (laten) uitvoeren van aanpassingen aan deze assets. Dit alles vindt plaats in een spanningsveld van interne en externe belanghebbende.

Boventafel

Het gedeelte van een dijk of oever dat zich boven het gemiddelde hoogwater bevindt. Het tegenovergestelde van 'ondertafel'.

GOLFKLAP

Een rekenmodel ontwikkeld om de veiligheid van dijkbekledingen te toetsen. Laagdiktes van bekledingen kunnen door het invoeren van verschillende parameters worden gecontroleerd en berekend.

Landhoofd

Het gedeelte van een kunstwerk dat met land verbonden is. Vormt als het ware de overgang van het grondlichaam naar het kunstwerk.

Life Cycle Costs

De totale kosten die worden gemaakt tijdens de levensduur van een object. Dit omvat zowel de investerings-, onderhouds- en sloopkosten.

Ondertafel

Het gedeelte van een dijk of oever dat zich onder het gemiddeld hoogwater bevindt. Het tegenovergestelde van 'boventafel'.

Opdrijven

Fenomeen dat ontstaat als de opwaartse druk, welke wordt veroorzaakt door bijvoorbeeld grondwater, groter is dan het gewicht van de constructie. De constructie zal in een dergelijke situatie 'omhoog' worden gedrukt, hierdoor kan schade ontstaan.

Significante golfhoogte

De gemiddelde golfhoogte welke kan worden verkregen door van een golfspectrum het gemiddelde van een derde van de hoogst gemeten golven te bepalen.

Stripping

Indringen van water in een bekleding waardoor de verbinding tussen het granulaat (mineraal) en het bitumen wordt verbroken. Granulaat kan hierdoor uit de bekleding loskomen.

Talud

De helling van een dijk of oever. Kan in graden of verhoudingen worden weergegeven.

Trade-Off Matrix

Een afwegingsmodel bestaande uit een tabel waarin meerdere criteriumgroepen zijn verwerkt. Deze verschillende criteriumgroepen bestaan uit meerdere criteria. De varianten worden aan de hand van de ingevulde criteria getoetst.

Triangulatie

Een driepuntsmeting, hierbij wordt van meerdere afwegingsmodellen gebruik gemaakt en vanuit meerdere invalshoeken gekeken om tot een conclusie te komen. Indien meerdere bronnen de uitkomst van een model bevestigen kan er van worden uitgegaan dat de juiste conclusie is getrokken.

Wateroverdruk

Wateroverdruk kan worden gevormd onder een dichte, niet waterdoorlatende, bekleding. Het water kan door de dichte bekleding niet wegstromen, hierdoor zullen er krachten onder de bekleding ontstaan waarna het principe opdrijving zich kan voordoen.

Windgolven

Windgolven zijn golven die ontstaan door langdurige energieoverdracht van wind naar water.

Zeegolven

Zeegolven zijn windgolven, alleen door de grote strijklengte kan de wind voor een langere tijd energie overdragen waardoor de golven een grotere hoogte verkrijgen.

Lijst met afkortingen

<i>AM</i>	Asset Management
<i>AMC</i>	Asset Management Constructies
<i>DWW</i>	Dienst Weg- en Waterbouw
<i>GWS</i>	Gemiddelde waterstand
<i>HBR</i>	Havenbedrijf Rotterdam
<i>KNMI</i>	Koninklijk Nederlands Meetinstituut
<i>LCC</i>	Life Cycle Costs
<i>MGWS</i>	Maatgevende grondwaterstand
<i>MHW</i>	Maatgevend hoogwater
<i>OSA</i>	Open steenasfalt
<i>RAMS</i>	Reliability, Availability, Maintainability en Safety
<i>RWS</i>	Rijkswaterstaat
<i>WAB</i>	Waterbouwasfaltbeton

Symbolenlijst

d = benodigde laagdikte m

Q_n = factor afhankelijk van taludhelling $-$

a = de verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot de maatgevende buitenwaterstand m

v = de verticaal gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand en de MGWS (m)

ρ_a = dichtheid bekleding $\frac{kg}{m^3}$

ρ_w = dichtheid water $\frac{kg}{m^3}$

R_w = reductiefactor in verband met de ligging van de buitenwaterstand $(-)$

α = hellingshoek ($^\circ$)

9 Bibliografie

- Beeldbank Rijkswaterstaat. (2014, maart 26). *beeldbank rws*. Opgehaald van beeldbank.rws.nl
- Boer, i. P. (1971, januari 16). Taluds in de zeehaven Europoort. *De Ingenieur*, 83, 13-14.
- Gemeentewerken Rotterdam. (2010). *Asfaltglooingen: Hydraulische randvoorwaarden voor bepaling restlevensduur*.
- Gemeentewerken Rotterdam. (2010, April 09). *Asfaltglooingen: Hydraulische randvoorwaarden voor bepaling restlevensduur*, 1.0. Opgeroepen op Februari 2014, 17
- Het Waterschapshuis. (sd). Opgehaald van http://digigids.hetwaterschapshuis.nl/dg/steenbekledingen.php?g2_itemId=42559
- KNMI. (2014, februari 25). Opgehaald van <http://www.knmi.nl/klimaatdesk/cryosfeer.html>
- KOAC-NPC. (2005). *Veiligheidsbeoordeling van Asfaltdijkbekledingen*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Delft: Strapatz B.V.
- KOAC-NPC. (2010). *Ontwerp asfaltbekledingen havengebied Rotterdam*. Apeldoorn: KOAC-NPC.
- KOAC-NPC. (2011). *Ontwerp asfaltbekledingen havengebied Rotterdam*. Apeldoorn: KOAC-NPC.
- KOAC-NPC. (2012). *Toetsing van de penetratie van gietasfalt in breuksteen*. Definitief.
- Montauban, C. (1998). *Vermoeiing en veroudering van waterbouwasfaltbeton*. Delft.
- Plastics The Mag. (sd). Opgehaald van http://www.plastics-themag.com/uploads/paragraphe/1751_main.jpg
- Portmaps. (2014, Juni 12). *Portmaps 1.3*.
- Projectbureau Zeeweringen. (2012). *Handleiding toetsing en ontwerp* (2 ed.).
- Prorail. (n.d.). *Hand-out RAMS/LCC analyse*.
- RAW. (2010). *Standaard RAW bepalingen*. Ede: CROW.
- Rijkswaterstaat. (2009). *GOLFKLAP- Gebruikshandleiding bij versie 1.3*. Lelystad: Rijkswaterstat waterdienst.
- Rijkswaterstaat. (2010a). *State of the art asfaltdijkbekledingen*.
- Rijkswaterstaat. (2010b). *Leidraad RAMS, sturen op prestaties*.
- Tan Yi-Qiu. (2007). *Influence and mechanism of ultraviolet aging on bitumen performance*.

TAW. (1985). *Kennis van de eigenschappen verzameld uit onderzoek uitgevoerd in de periode tot 1984*. Samenvatting, Dienst Weg- en Waterbouw, Waterbouw, 's-Gravenhage.

TAW. (2002). *Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren*. Den Haag, Zuid-Holland, Nederland: TAW.

Treasure Building B.V. (sd). *Palen*. (DimaSupport) Opgeroepen op juni 12, 2014, van Kastanjewereld: <http://www.kastanjewereld.nl/?kastanjehout-palen-diameter-10-12-cm,42>

VBW Asfalt. (2011, November 11). Opgehaald van <http://www.vbwasfalt.nl/cms/Media/Blad%20Asfalt%202011-3/3-2011%20Open%20steenafalt.pdf>

Ven, I. M. (2007). *Levensduur Model Waterbouwasfaltbeton*. TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen. Delft: TU Delft.