



Een onderzoek naar innovatie in cultuurtechnische kunstwerken

Innovatie in kleinschalige overlaten en vispassages

Afstudeerscriptie Hogeschool Van Hall Larenstein

Jelle Dijkhof en Mike Lamers

Innovatie in kleinschalige overlaten en vispassages

Een onderzoek naar innovatie in cultuurtechnische kunstwerken

Colofon

Auteurs:

Jelle Dijkhof
Mike Lamers

Studentnummer:

911003101
920518001

Contact:

jelle.dijkhof@wur.nl
mike.lamers@wur.nl

06-20027325
06-14901127

Datum:

05 juni 2014

Status:

Definitief

Opleiding:

Land en Watermanagement

Onderwijsinstelling:

Hogeschool Van Hall Larenstein
Larensteinselaan 26a
6882 CT Velp

Begeleider:

Harrie van Rosmalen



Afstudeerbedrijf:

Negam BV
Elsmorsweg 7
7575 PD Oldenzaal

Begeleiders:

Jos Brand
Rob Rouhof



Voorwoord

Wij zijn Jelle Dijkhof en Mike Lamers, twee Land- en Watermanagement studenten van Hogeschool Van Hall Larenstein te Velp. In de periode van 27 januari tot 5 juni hebben wij een onderzoek naar mogelijkheden van innovatie in kleinschalige overlaten en vispassages gedaan. Dit rapport is ons afstudeeronderzoek dat wij in opdracht van Negam BV uitgevoerd hebben.

Het laatste half jaar van de opleiding staat voor het afstuderen. Wij waren op zoek naar een praktijk gerichte opdracht waarin we de theorie die op school is opgedaan kunnen combineren met het werkveld.

Onze dank gaat uit naar alle collega's van Negam en in het bijzonder naar onze begeleiders Jos Brand en Rob Rouhof. De directeur, Herman Reinten van Negam willen we ook graag bedanken voor de mogelijkheid om binnen zijn bedrijf het onderzoek uit te voeren. Ook willen we Harrie van Rosmalen, de begeleider vanuit Hogeschool Van Hall Larenstein bedanken voor zijn inzet.

Tot slot wensen we u veel plezier met het lezen van dit onderzoek naar de innovatie in kleinschalige overlaten en vispassages. Voor het lezen van het rapport wordt uitgegaan van enige voorkennis in de cultuurtechniek.

Datum: 05-06-2014

Jelle Dijkhof

Mike Lamers

Samenvatting

Kleinschalige overlaten en vispassages bestaande uit houten damplanken, worden op de traditionele methode (intrillen) aangebracht. Op basis van de ervaring van projectleiding, uitvoering en werkvoorbereiding is er de overtuiging dat het mogelijk is om deze overlaten en vispassages ook uit prefab elementen te realiseren. Daarbij te besparen in uren, geld en CO₂-uitstoot en meer oog te hebben voor duurzaamheid en het milieu. In dit rapport wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag:

Kunnen kleine overlaten en vispassages, die bestaan uit prefab elementen en door middel van ingraven aangebracht worden, aan dezelfde gestelde eisen voldoen, maar ook verbeteringen of besparingen teweeg brengen ten opzichte van de traditionele methode?

Om hierop antwoord te kunnen geven, is allereerst onderzoek gedaan naar het materiaalgebruik en de wijze van aanleg. Daarvoor zijn twee bestekken, door Negam gerealiseerde projecten, doorgenomen en daaruit blijkt dat de houten damplanken door middel van intrillen aangebracht zijn. De oeverbescherming bestaat uit vezelbeton en/of lijm mortel met breukstenen. De sterkte (dimensionering) verschilt tussen deze twee projecten, maar wat is daar de oorzaak van? Om hier antwoord op te krijgen, zijn interviews bij waterschappen en adviesbureaus afgenomen. Uit deze interviews blijkt dat de waterschappen verschillende materialen en een andere dimensionering (sterkte) toepassen bij eenzelfde soort constructie. Ook tussen de adviesbureaus zijn verschillen. De waterschappen staan open voor andere technieken of materialen als bewezen kan worden dat de kwaliteit net zo goed of beter is en dat dit geld bespaart.

Om te kunnen bewijzen dat de constructie bij het ingraven van een prefab damwand voldoet aan de eisen zijn berekeningen uitgevoerd met een vispassage uit het project “Herinrichting Markgraven, deeltraject Hunzerhoek”, die Negam ook heeft aangelegd. Met behulp van D-Sheet Piling blijkt dat de damwand in geroerde grond (gegraven) net zoveel verplaatst als bij intrillen, wat nog geen millimeter is. Om het verschil in zetting van de ondergrond te bepalen is het programma D-Settlement gebruikt. Hieruit blijkt dat wanneer de grond geroerd is een extra zetting van zes millimeter optreedt. Naast deze berekeningen is ook de onderloopsheid van de constructie berekend om te kijken of de damwanden noodzakelijk zijn om onderloopsheid tegen te gaan. Door middel van de formule van Lane is bewezen dat de kwelschermen (damplanken) niet noodzakelijk zijn in die situatie. De kwaliteit van de damplanken, die als prefab wand ingegraven worden, is hetzelfde als de ingetilde damplanken. Er is ook gekeken welke producten gebruikt kunnen worden als prefab oeverbescherming en wat de bijkomende kosten hiervan zijn. Hieruit zijn zes alternatieven voortgekomen, waaruit blijkt dat deze duurder en niet echt vergelijkbaar zijn met de huidige oeverbescherming doordat de kwaliteiten en/of de uitstraling van de producten net iets anders zijn. De prefab oeverbescherming zorgt wel voor een besparing in arbeidsintensiteit. Dit is noodzakelijk omdat volgens de berekeningen het aanbrengen van de breukstenen met de hand niet mag.

Vervolgens is bekeken welke besparingen het prefab aanbrengen opbrengt. Hieruit blijkt dat deze methode geld, uren en CO₂-uitstoot bespaart. Dit staat allemaal in verband met elkaar. Als er sneller gewerkt wordt, bespaart dit in uren, geld en CO₂-uitstoot.

Tenslotte zijn er drie alternatieven bedacht, waarvan elk alternatief twee varianten heeft. Deze ontwerpen zijn gemaakt op basis van de opmerkingen uit de interviews en resultaten van de berekeningen. Deze alternatieven maken het mogelijk om aan te passen bij een nieuw waterpeil, zijn sneller te plaatsen, goedkoper en/of hebben een langere levensduur dan de traditionele overlaat.

Inhoud

Voorwoord	4
Samenvatting.....	5
1. Inleiding	8
1.1. Aanleiding.....	8
1.2. Probleemstelling.....	8
1.3. Onderzoeksvraag en deelvragen.....	8
1.4. Doelstelling.....	9
1.5. Afbakening.....	9
1.6. Methode.....	9
1.7. Leeswijzer	9
1.8. Doelgroep	9
2. Inventarisatie.....	10
2.1. Traditionele bestekken.....	10
2.2. Innovatieve werken	12
2.3. Literatuurstudie.....	12
2.4. Interviews	13
3. Toetsen van kwaliteit	17
3.1. Inleiding	17
3.2. Testen van de damwand	18
3.3. Zetting van de bodem	21
3.4. Onderloopsheid van de constructie	23
4. Oeverbescherming prefab maken.....	25
4.1. Mogelijke alternatieven	25
4.2. Kostenraming	26
4.3. Conclusie	26
5. Besparingen.....	27
5.1. Uren.....	27
5.2. Kosten.....	27
5.3. CO ₂ -reductie	29
5.4. Arbeidsintensiteit	30
6. Gebruik van andere materialen en constructies.....	32
6.1. Aanleiding.....	32
6.2. Constructie	32

6.3.	Andere materialen.....	32
6.4.	Verskillende alternatieven	33
6.5.	Besparingen van de alternatieven.....	35
6.6.	Conclusie	37
7.	Conclusies en aanbeveling	38
7.1.	Conclusies.....	38
7.2.	Aanbevelingen.....	39
	Bronvermelding.....	40
	Bijlagen	42
	Bijlage 1 Specificatie materiaalgebruik	42
	Bijlage 2 CUR 166 Damwandconstructies	45
	Bijlage 3 Standaard RAW bepalingen 2005/2010	47
	Bijlage 4 NEN-EN 12063	49
	Bijlage 5 Interviews adviesbureaus in tabel	53
	Bijlage 6 Interviews opdrachtgevers in tabel	55
	Bijlage 7 Tekeningen vispassage	57
	Bijlage 8 Berekeningen falen damwand, zetting en onderloopsheid	59
	Bijlage 9 Uitwerking alternatieven voor oeverbescherming.....	61
	Bijlage 10 CO ₂ -uitstoot parameters.....	63
	Bijlage 11 Andere materialen.....	64
	Bijlage 12 Impressieschetsen van alternatieven voor overlaat of treden.....	65

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

De kleinschalige cultuurtechnische kunstwerken, zoals een vaste overlaat en vispassage, worden heden ten dage aangebracht op de traditionele methode. Onder de traditionele methode wordt vooral verstaan dat de kunstwerken ter plaatse worden gerealiseerd, door middel van intrillen van damplanken of beton storten op het werk zelf. Op basis van jarenlange ervaring van werkvoorbereiding, uitvoering en projectleiding van Negam is er bedacht dat deze cultuurtechnische kunstwerken (overlaat en vispassage) ook op een andere (innovatieve) methode kunnen worden aangebracht. Onder deze methode wordt het gebruik van prefab onderdelen verstaan.

1.2. Probleemstelling

Tijdens het ontwerp van kunstwerken zoals kleine overlaten en vispassages wordt door de ontwerpers meestal niet geïnnoveerd, omdat ze vaak aan geld en tijd gebonden zijn. Er is een traditioneel denkpatroon waardoor er niet 'out of the box' gedacht wordt. Bij het opstellen van een bestek wordt vaak gebruik gemaakt van zogenaamde moederbestekken, waaruit van toepassing zijnde besteksposten (volgens PvE) geselecteerd en ingevuld worden. Daaruit volgt een bepaalde werkwijze die vervolgens vaak wordt voorgeschreven, waardoor bijvoorbeeld niet gedacht wordt om een vaste overlaat of vispassage uit prefab elementen te realiseren die aan dezelfde randvoorwaarden en eisen voldoet. Hierdoor worden kansen gemist om kosten te besparen, minder CO₂ uit te stoten, duurzame producten te gebruiken, de arbeidsintensiteit te verminderen en meer oog voor het milieu te hebben.

1.3. Onderzoeksvraag en deelvragen

De hoofdvraag van het onderzoek is als volgt:

Kunnen kleine overlaten en vispassages, die bestaan uit prefab elementen en door middel van ingraven aangebracht worden, aan dezelfde gestelde eisen voldoen, maar ook verbeteringen of besparingen teweeg brengen ten opzichte van de traditionele methode?

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden, zijn de volgende deelvragen opgesteld:

- Hoe wordt een overlaat en vispassage op de traditionele en prefab methode geplaatst en welke materialen worden hierbij gebruikt?
- Wat zijn de meningen, visies en geëiste randvoorwaarden van waterschappen en adviesbureaus omtrent de kwaliteit van overlaten en vispassages?
- Welke faalmechanismen kunnen bij een overlaat en vispassage plaatsvinden, en hoe verschillen deze tussen de traditionele (ongeroerde grond) en de prefab (geroerde grond) overlaat of vispassage?
- Welke mogelijkheden zijn er om de oeverbescherming prefab aan te brengen, en wat zijn hier de kosten, voor- en nadelen hiervan?
- Welke besparingen in kosten, CO₂-uitstoot, arbeidsintensiteit, tijd en LCC levert gebruik van prefab onderdelen op?
- Zijn er alternatieven voor de onderzochte trede van de vispassage mogelijk (met mogelijk duurzamere materialen) die ook toegepast kunnen worden?

1.4. Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om te kijken of de prefab methode aan de gestelde eisen voor de kunstwerken kan voldoen en wat de mogelijke verbeteringen en besparingen zijn. Op basis van de resultaten van het onderzoek wordt gekeken of het mogelijk is een ommekeer in het traditionele denkpatroon tot stand te brengen, waardoor het toegestaan wordt om de innovatieve methode toe te passen. Uit het onderzoek blijkt welke besparingen de prefab werkwijze oplevert, waardoor het aanbrengen van een kunstwerk eventueel minder kan kosten, milieubelastend en arbeidsintensief is. Naast dit onderzoek worden alternatieven bedacht, rekening houdend met opmerkingen uit de interviews en resultaten.

1.5. Afbakening

Onder kleine vaste overlaten en vispassages worden damwanden met een vaste drempelhoogte verstaan. Deze hoogte is na het plaatsen in de meeste gevallen niet meer aan te passen. De overlaten die in de inventarisatie onderzocht worden bestaan uit houten damplanken. De overige onderdelen zoals de oeverbescherming (beton en breuksteen) en de oeveropsluiting worden ook in het onderzoek opgenomen. Stuwen met een verstelbare hoogte worden niet meegenomen. Onder klein vallen constructies met een lengte tot 5 meter (als geheel), die met doorsnee materieel te transporteren en te plaatsen zijn. Voor de vispassages gaat het enkel om bekkenpassage waarbij in de huidige situatie de treden uit houten damplanken bestaan en de bekkens oeverbescherming bevatten.

1.6. Methode

De inventarisatie bestaat uit bestekken doornemen, literatuurstudie en interviews afnemen. Voor de interviews zijn waterschappen en adviesbureaus benaderd. De berekeningen voor het testen van de constructie worden gedaan met computerprogramma's en formules van school. Ook voor de oeverbescherming zijn prefab toepassingen bedacht, rekening houdend met de informatie uit de interviews. De besparingen en verbeteringen zijn de verschillen tussen het prefab aanbrengen en het traditioneel aanbrengen onder dezelfde omstandigheden en afmetingen. De alternatieven zijn ideeën, ontworpen op basis van de input uit de interviews en de resultaten uit de berekeningen van het toetsen van de kwaliteit.

1.7. Leeswijzer

In dit rapport komt het volgende aan bod. In hoofdstuk 2 wordt de inventarisatie beschreven. De toetsing van de constructie is in hoofdstuk 3 opgenomen. Het vierde hoofdstuk beschrijft de mogelijkheden van alternatieven voor de oeverbescherming. De mogelijke besparingen komen in hoofdstuk 5 aan bod. In hoofdstuk 6 zijn de bedachte alternatieven uitgewerkt. Tenslotte staan de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 7 opgenomen.

1.8. Doelgroep

Dit rapport is geschreven voor Negam BV, docenten en medestudenten van Hogeschool Van Hall Larenstein. Daarnaast kan dit rapport gebruikt worden om waterschappen, ingenieursbureaus en bestekschrijvers te overtuigen.

2. Inventarisatie

In dit hoofdstuk is de inventarisatie van de bestekken van verschillende opdrachtgevers beschreven. De van toepassing zijnde literatuur en de resultaten uit de interviews met waterschappen en adviesbureaus zijn ook opgenomen.

2.1. Traditionele bestekken

2.1.1. Herinrichting Saasvelder-, Lemseler- en Gammelkerbeek (fase 2), bestek 5906

Het project bestaat uit de herinrichting van de Saasvelder-, Lemseler- en Gammelkerbeek. Onder herinrichting wordt natuurontwikkeling en beekherstel verstaan. Het houdt in dat er nieuwe beeklopen zijn gegraven en oude beeklopen verondiept zijn. Er zijn boomstamstuwen, schotbalkstuwen, bodemvallen en vispassages aangelegd. Ook is er nieuwe natuur gecreëerd. Het project is uitgevoerd in opdracht van Dienst Landelijk Gebied, regio Oost. Het ontwerp is gemaakt door Royal HaskoningDHV en het bestek is geschreven door Arcadis. Het ontwerp en bestek zijn door twee verschillende partijen uitgevoerd, dit kan in de praktijk resulteren tot verlies van informatie.

2.1.1.1. Werkzaamheden

In dit project komen vier constructies voor die bij dit onderzoek van toepassing zijn, zie Tabel 1 voor de type constructies, bijhorende tekeningen en besteksposten. De meeste van deze constructies bestaan uit dezelfde werkzaamheden, het plaatsen van een overlaat of vispassage en het aanbrengen van de bodem- en taludbekleding bij deze constructies. Deze twee werkzaamheden kunnen weer opgedeeld worden in afzonderlijke onderdelen, namelijk:

Tekening	Titel
8	Details Saasvelder-en Lemselerbeek
16	DO Gammelkerbeek
Bestekspost	Constructie
43	Boomstamstuwen
44	Schotbalkstuw
46	Bodemvallen
47	Vispassage

Tabel 1 Constructie

- Het plaatsen van overlaat of vispassage
 - Aanbrengen van houten damplanken;
 - Aanbrengen van houten gordingen.
- Het aanbrengen van een bodem- en taludbekleding
 - Aanbrengen van houten damplanken (t.b.v. opsluitdamwanden);
 - Aanbrengen van gordingen;
 - Aanbrengen van weefsel of vlies van kunststof;
 - Aanbrengen van beton t.b.v. vloervorming onderdeel;
 - Aanbrengen van lijm mortel t.b.v. taludbekleding;
 - Aanbrengen en invoegen van breuksteen in taludbekleding.

Deze werkzaamheden staan hier kort samengevat, maar in het bestek staan deze in verschillende besteksposten beschreven. Deze posten zijn terug te vinden in het bestek.

De werkwijze voor het plaatsen staat niet specifiek beschreven in het bestek zelf, daarvoor moet bij dit project het standaard RAW bepalingen 2005 aangehouden worden. Wanneer een uitzondering voor deze bepalingen geldt, staat dit vermeld in hoofdstuk 3 'bepalingen' van het bestek.

2.1.1.2. Materiaalkeuze

De constructies bestaan uit verschillende materialen, deze staan hieronder in Tabel 2 beschreven. In Bijlage 1 (pagina 42) staat de specificatie van onderstaande materialen, die in de constructies gebruikt worden, uitgewerkt.

Materiaal	Toepassing	Kwaliteit / Keurmerk
Hout	Damwand	Duurzaamheidsklasse 2, FSC-keurmerk
Bevestigingsmiddelen	Damwand	Slotbouten en draadeinden, thermisch verzinkt
Onderlegmateriaal	Oeverbescherming	Geotextiel Geolon PE 180 of vergelijkbaar
Lijmmortel	Oeverbescherming	Mengsel van vliegias, zand, portlandcement en water
Bestorting	Oeverbescherming	Ibbenburen breuksteen, sortering 150-250 mm, Klasse III

Tabel 2 Materiaaleigenschappen

2.1.2. Herinrichting Markgraven, deeltraject Hunzerhoek, bestek 1-2013

De beek Markgraven heeft een herinrichting gekregen. De watergang is verruimd en er zijn natuurvriendelijke oevers aangelegd. Er zijn andere stuwten met daarbij vispassages geplaatst. Door de herinrichting is er 18.000 m³ waterberging gecreëerd. Het project is uitgevoerd in opdracht van Waterschap Regge en Dinkel. Dit waterschap is op 1 januari 2014 gefuseerd met waterschap Velt en Vecht en heet nu waterschap Vechtstromen. Arcadis heeft het ontwerp gemaakt en het bestek geschreven.

2.1.2.1. Werkwijze

In dit project komen twee constructies voor die bij dit onderzoek van toepassing zijn, zie Tabel 3 voor de typen constructies, bijhorende tekeningen en besteksposten. De meeste van deze constructies bestaan uit dezelfde werkzaamheden, het plaatsen van een overlaat of vispassage en het aanbrengen van de bodem- en taludbekleding bij deze overlaat of vispassage. Deze twee werkzaamheden kunnen weer opgedeeld worden in afzonderlijke onderdelen, dit zijn dezelfde als in paragraaf 2.1.1.1.

Deze posten zijn in het bestek terug te lezen. De werkwijze voor het plaatsen staat niet specifiek beschreven in het bestek zelf, daarvoor moet het standaard RAW bepalingen 2010 aangehouden worden. Wanneer er een uitzondering voor deze bepalingen geldt, staat dit vermeld in hoofdstuk 3 'bepalingen' van het bestek.

Tekening	Titel
8a	Situatie en profielen vispassage
8b	Details vispassage
9	Situatie en profielen
Bestekspost	Constructie
41	Landbouwstuw
42	Vispasseerbare stuw

Tabel 3 Verschillende constructies

2.1.2.2. Materiaalkeuze

De constructies bestaan uit verschillende materialen, deze staan hieronder in Tabel 4 beschreven. In Bijlage 1 is een specificatie van de gebruikte materialen van de constructies terug te vinden.

Materiaal	Toepassing	Kwaliteit / Keurmerk
Hout	Damwand	Duurzaamheidsklasse 1, FSC-keurmerk
Bevestigingsmiddelen	Damwand	Slotbouten en draadeinden, thermisch verzinkt
Onderlegmateriaal	Oeverbescherming	Geotextiel Pelt en Hooykaas S21 of vergelijkbaar
Beton	Oeverbescherming	910 gr/m ³ kunststofwapening
Lijmmortel	Oeverbescherming	Mengsel van vliegias, zand, portlandcement en water
Bestorting	Oeverbescherming	Ibbenburen breuksteen, sortering 150-250 mm, Klasse II

Tabel 4 Materiaaleigenschappen

2.2. Innovatieve werken

Tot op heden is er door Negam nog geen werk uitgevoerd waarbij het bestek voorschrijft om een kleinschalige vaste overlaat of de treden van een vispassage op een andere methode aan te brengen dan de traditionele methode (trillen) of het gebruik van andere materialen.

Er zijn reeds wel damwanden ten behoeven van de opsluiting van bodem- en taludbescherming op een innovatieve methode aangebracht, zie Afbeelding 1.

2.2.1. Werkwijze

Deze damwanden als opsluiting voor de oeverbescherming zijn in de werkplaats gerealiseerd. De damplanken zijn aan elkaar gelijmd, waarna de gordingen aan de bovenkant bevestigd zijn en aan de onderkant een lat de damplanken bij elkaar houdt. De prefab opsluiting dient enkel nog geplaatst te worden. De grondwaterstand is door een bemaling verlaagd waardoor de opsluiting met behulp van een hydraulische graafmachine in een droge sleuf geplaatst kon worden. Vervolgens is naast de damplanken de sleuf met grond aangevuld en verdicht door middel van trillen en aanwateren. De damwand staat met behulp van draadeinden verankert aan het beton van de oeverbescherming, zodat deze niet kan bewegen of bezwijken.



Afbeelding 1 Prefab opsluiting uitstroomscherm

2.2.2. Materiaalkeuze

Deze constructie (de opsluiting) was onderdeel van een vispassage in een herinrichtingsproject. In dit project zijn alle constructies die bestaan uit houten damwanden als klasse II beschreven.

2.2.3. Kwaliteit

Doordat er gegraven is, is de grond geroerd waardoor de dichtheid van de grond niet hetzelfde als ongeroerde grond is. Adviesbureaus en waterschappen zijn huiverig voor het verstoren van de ondergrond waardoor de vispassage, overlaat of opsluiting van talud- of bodembescherming eerder kan bezwijken. De opsluiting van de bodem- en taludbescherming die in z'n geheel (prefab) geplaatst is, is nog niet beschadigd of bezwiken. Tot op heden, zes maanden na plaatsen, heeft er geen uitspoeling van de geroerde grond voor en achter de opsluiting plaats gevonden. Wanneer de kwaliteit visueel beoordeeld wordt op spoelgaten (zie Afbeelding 2), is deze opsluiting te vergelijken met een opsluiting die binnen een afstand van 100 meter in dezelfde beek op de traditionele methode (trillen) is aangebracht.



Afbeelding 2 Prefab opsluiting instroomscherm

2.3. Literatuurstudie

In de bestekken wordt meerdere keren verwezen naar de standaard RAW bepalingen 2005/2010. In dit document wordt bij damwanden verwezen naar de "CUR 166 Damwandconstructies" en de "NEN-EN 12063", vervolgens zijn deze document doorgenomen. Op de volgende pagina staat een korte toelichting van deze documenten.

2.3.1. CUR 166 Damwandconstructies

Voor het plaatsen van damwandconstructies is de CUR 166 van toepassing. In dit boek zijn normen, richtlijnen en aanbevelingen opgenomen voor het ontwerpen en plaatsen van damwanden. De belangrijkste onderwerpen zijn opgenomen in Bijlage 2 (pagina 45), hierin staan onder andere de veiligheidsniveaus, kwaliteitsborging en het falen van de damwandconstructies beschreven.

2.3.2. Standaard RAW bepalingen 2005/2010

De RAW (Rationalisering en Automatisering Grond-, Water-, en Wegenbouw) vormt de basis voor het maken van bestekken volgens gestandaardiseerde, uniforme methode beschreven. De RAW is gebaseerd op de UAV 1989 en gaat uit van de gelijkwaardigheid van contractpartners. In Bijlage 3 (pagina 47) staat de belangrijkste informatie wat voor dit project van toepassing is beschreven, zoals welke hoofdstukken van de RAW voor dit onderzoek van toepassing zijn.

2.3.3. NEN-EN 12063

In de standaard RAW bepalingen wordt op verschillende momenten verwezen naar de NEN-EN 12063. Deze Nederlandse norm wordt gebruikt voor de uitvoering van bijzonder geotechnisch werk-Damwanden. Daarin staat exact beschreven waaraan producten moeten voldoen, op welke wijze deze geplaatst moeten worden, met welk materieel enz. Dit document is doorgenomen en hieruit zijn de op het onderzoek van toepassing gerelateerde onderwerpen uitgelicht, deze staan in Bijlage 4 (pagina 49).

2.4. Interviews

Uit de doorgenomen bestekken blijkt dat er nog al wat verschil zit in de constructie (bijvoorbeeld laagdikte beton), maar ook in de toepassing van bepaalde materialen in een vispassage of overlaat. Wanneer deze bestekken met elkaar worden vergeleken, is te zien dat er andere ontwerpers (adviesbureaus) en andere opdrachtgevers bij de projecten betrokken zijn. Is dit de reden waarom er verschillen zijn? Door het interviewen van de betrokken partijen, is nuttige informatie verzameld.

2.4.1. Afbakening

Met Negam is allereerst overlegd voor welke opdrachtgevers gewerkt wordt of is gewerkt. De afgenomen interviews hebben voornamelijk betrekking op de huidige opdrachtgevers. De voornaamste opdrachtgevers waar Negam reeds voor gewerkt heeft zijn: Dienst Landelijk Gebied (DLG), Waterschap Vechtstromen en Waterschap Rijn en IJssel. De adviesbureaus, benaderd door de opdrachtgevers, waarmee Negam mee samen heeft gewerkt zijn Royal HaskoningDHV en Arcadis. Deze vijf partijen zijn dus uiteraard benaderd voor een interview.

Naast de bekende opdrachtgevers, is het ook interessant om interviews af te nemen bij potentiële opdrachtgevers. Hierdoor kan informatie buiten het huidige werkgebied vergaard worden en krijgt het onderzoek meer diepgang. Er is gekeken tot hoever Negam het werkgebied uit zou willen breiden. Onder dit gebied vallen waterschap Groot Salland en waterschap Vallei en Veluwe, dit zijn aangrenzende waterschappen van waterschap Vechtstromen en waterschap Rijn en IJssel, zie Afbeelding 3.

Waterschap Rivierenland is ook benaderd voor een interview. Deze is niet zozeer benaderd als een potentiële opdrachtgever, maar door het reeds toepassen van prefab overlaten in beken en sloten. Verder is het



Afbeelding 3 Werkgebied Negam

adviesbureau Witteveen+Bos bij de afstudeerders goed bekend, vandaar dat ook deze benaderd is voor een interview.

2.4.2. Onderwerpen in interview

Tijdens de interviews zijn enkele aspecten behandeld, daaruit zijn antwoorden gekomen die nuttig zijn voor het onderzoek. In Tabel 5 zijn de aspecten beschreven en de omschrijving die hierbij van toepassing is.

Aspecten in interview	Omschrijving
Ontwerp van overlaten	In welke situatie ontwerpt welke partij de constructie?
Levensduur	De ontwerplevensduur en de behaalde levensduur wordt besproken?
Vooronderzoeken	Welke vooronderzoeken zijn van belang voor het ontwerpen van een constructie?
Productkeuze en duurzaamheidsklasse	Wie bepaalt de productkeuze en wat is de aanleiding tot een bepaald materiaal?
Werkwijze	Welke werkwijze wordt toegepast voor het plaatsen van overlaten en vispassages?
Verandering	Staat de opdrachtgever open voor verandering zoals het prefab plaatsen van overlaten of vispassages?
Ervaring met prefab onderdelen	Is er ervaring omtrent het plaatsen van prefab onderdelen? Zo ja met welke materialen en op welke werkwijze wordt dit toegepast? Zo nee, is er al eens over nagedacht?
Gebruik van andere materialen	Welke materialen zouden vervangen kunnen worden?
Visie over het onderzoek	Hoe is hun beeld over het onderzoek, zou het mogelijk zijn in een bepaalde situatie?

Tabel 5 Aspecten met omschrijving

2.4.3. Interviews adviesbureaus

Er zijn bij drie verschillende adviesbureaus interviews afgenomen, twee daarvan zijn reeds bekend bij Negam en hebben samen al meerdere projecten gemaakt. De resultaten van de interviews en de geïnterviewde personen zijn verwerkt in een tabel, deze is in Bijlage 5 (pagina 53) terug te vinden.

2.4.3.1. Overeenkomsten tussen adviesbureaus

- Bij grotere projecten worden adviesbureaus ingeschakeld, kleine projecten doen waterschappen vaak zelf.
- De productkeuze met de duurzaamheidsklasse wordt door de waterschappen meestal aangegeven in een Programma van Eisen, tenzij een project op basis van UAV-GC wordt aanbesteed.
- Over het algemeen is intrillen van damplanken de meest voorgeschreven werkwijze, daarnaast worden de Standaard RAW bepalingen aangehouden.
- De adviesbureaus willen wel innovatief zijn als dit mogelijk is, de meeste ruimte voor innovatie is bij UAV-GC projecten.
- Voor hout en breuksteen zouden andere materialen toegepast kunnen worden.
- Waterschappen zijn vrij traditioneel en geld is een belangrijke factor.
- Er is veel verschil tussen waterschappen, maar binnen een waterschap is het ook verschillend met wie er wordt gesproken of samengewerkt.
- De adviesbureaus zijn van mening dat de treden van vispassage op Afbeelding 4 (pagina 16) in prefab elementen te plaatsen is.

- Achter- en onderloopsheid is haast niet in het veld te testen, buiten het visueel waarnemen. Er zijn wel enkele mogelijkheden, maar de nauwkeurigheid is discutabel.

2.4.3.2. Verschillen tussen adviesbureaus

- Enkel Royal HaskoningDHV heeft ervaring bij waterschap Rivierenland dat reeds prefab overlaten heeft geplaatst door middel van ingraven.
- Het gebruik van breukstenen in oeverbescherming wordt bij de adviesbureaus op verschillende methoden toegepast, dit is mede afhankelijk van de opdrachtgever.

2.4.4. Interviews opdrachtgevers

Er zijn zes interviews gehouden bij verschillende instanties. Vijf interviews zijn bij waterschappen en de andere is bij Dienst Landelijk Gebied afgenomen. In Bijlage 6 (pagina 55) staan de momenten van de interviews, de geïnterviewden en de verwerkte interviews in een tabel weergegeven.

2.4.4.1. Overeenkomsten tussen opdrachtgevers

- Het grootste gedeelte van de genoemde opdrachtgevers ontwerpen zelf geen overlaten of vispassages, dit wordt uitbesteed aan adviesbureaus. Er wordt wel aangegeven wat ongeveer de bedoeling is.
- De opdrachtgevers bepalen de productkeuze en duurzaamheidsklasse welke vermeld worden in het programma van eisen. In een UAV-GC contract worden alleen de randvoorwaarden beschreven.
- De werkwijze waarop een constructie moet worden aangebracht gaat volgens de Standaard RAW bepalingen 2010, dit betekent over het algemeen intrillen. In een UAV-GC contract mag een aannemer de werkwijze zelf bepalen, dit moet wel worden goedgekeurd door de directie.
- De opdrachtgevers willen voor hout een alternatief materiaal vinden omdat dit niet erg lang mee gaat.
- Duurzaamheid staat hoog in het vaandel, de opdrachtgevers willen een zo duurzaam mogelijke constructie hebben. De constructie moet zo lang mogelijk mee gaan.
- De meeste opdrachtgevers hebben weleens gewerkt met een ingegraven prefab betonnen L-wand of een 'De Wit passage'. Deze prefab constructies vallen buiten het onderzoek.

2.4.4.2. Verschillen tussen opdrachtgevers

- De levensduur waar een overlaat op wordt ontworpen verschilt per waterschap. Enkele opdrachtgevers zeggen dat Azobé 30 jaar mee gaat, maar de meerderheid zegt dat de kwaliteit van het hout achteruit gaat en dat deze slechts 15 tot 20 jaar mee gaat.
- Er zijn verschillen in materiaal gebruik, zo past waterschap Rijn en IJssel beton met wapeningsmat toe terwijl anderen het gebruiksvriendelijkere vezelbeton toepassen.
- Bij waterschap Rivierenland mag een overlaat wel worden ingegraven, andere waterschappen willen tot op heden alleen overlaten intrillen.
- Stortstenen worden in het beton gelegd of gewoon los op een geotextiel. Ook de dikte van de constructie verschilt per waterschap.
- Het ene waterschap denkt positiever over prefab onderdelen dan het andere. De een past het al toe en de ander ziet er de meerwaarde nog niet van in.
- De instanties staan open voor verandering. Bij de een is een goed ontwerp voldoende om te veranderen, bij de ander moet het zich daadwerkelijk bewezen hebben in de praktijk

2.4.5. Conclusie

Na het afnemen en verwerken van de interviews kunnen er enkele conclusies getrokken worden.

Tussen de waterschappen is er veel verschil in dimensionering en materiaalgebruik in een bepaalde constructie. Verder maakt de één robuuster werk dan de ander. Zelfs binnen het waterschap zelf verschilt dit soms tussen de medewerkers. Doordat elk project specifiek is, hebben de waterschappen en adviesbureaus geen standaard materiaalgebruik en werkwijze. Dit wordt per situatie bekeken en behandeld.



Afbeelding 4 Voorbeeld vispassage bij interviews

Veel waterschappen proberen duurzaam te werken, dit zou kunnen door gebruik te maken van duurzamere producten. Deze input moet meegenomen worden bij het ontwerpen van alternatieven.

De adviesbureaus zijn over het algemeen innovatiever dan de waterschappen. De mate van innovatie is afhankelijk van de eisen die aan een ontwerp gesteld worden, het moment waarop een adviesbureau wordt betrokken bij een project en het type project (RAW of UAV-GC).

Het ene waterschap staat meer open voor innovatie als de andere, maar over het algemeen is er interesse. Door de onzekerheid van het idee, blijven opdrachtgevers en adviesbureaus in dezelfde gedachtegang hangen. Het idee moet goed onderbouwd zijn en een financieel voordeel hebben, waarbij de kwaliteit gewaarborgd blijft. Om het een kans van slagen te geven, moet aan deze aspecten voldaan worden.

3. Toetsen van kwaliteit

In dit hoofdstuk wordt de damwand in verschillende situaties getest op sterkte, de zetting van de ondergrond en de kans op onderloopsheid van de vispassage.

3.1. Inleiding

3.1.1. Testsituatie

Om deze drie aspecten te kunnen testen, is een realistische situatie noodzakelijk. Hiervoor is de vispassage van de Markgraven, deeltraject Hunzerhoek gebruikt. Dit is de vispassage die in hoofdstuk 2.1.2 reeds besproken is. Er is voor deze vispassage gekozen omdat deze groter is, maar toch dezelfde materialen bevat als het andere bestek. In Bijlage 7, op Afbeelding 19 en Afbeelding 22 (pagina's 57 en 58) geeft de rode cirkel de geteste trede van de vispassage weer, dit is trede 2.

In de Markgraven is de vispassage onderdeel van een volledige constructie met een stalen stuw. Voor de berekeningen is enkel de vispassage gebruikt, zodat deze bijvoorbeeld ook in een doorsnee beek toegepast kan worden (dus zonder de stalen stuw). Hierdoor zijn deze berekeningen niet enkel van toepassing in deze situatie, maar kunnen dan ook gebruikt worden voor beken. De groene cirkel op Afbeelding 21 (pagina 57) geeft de doorsnede weer die ook in een beek kan voorkomen.

3.1.2. Wat wordt getest

Er zullen drie aspecten getest worden, namelijk de sterkte van de damwand, de zetting van de ondergrond en de onderloopsheid. De eerste twee worden zowel in losse als in vaste grond bepaald, om te kunnen afleiden welke invloed het ingraven van een damwand heeft op deze aspecten.

Sterkte van de damwand: (paragraaf 3.2)

Hierbij wordt getest wat het effect op de damwand is wanneer deze belast (waterdruk en stroomsnelheid) wordt. Daarvoor wordt het programma D-sheet Piling gebruikt, gerealiseerd door Deltares. Er worden drie situaties doorgerekend bij losse (geroerde) en vaste grond en bij een damplanklengte van 1,0 en 1,5 m. Vervolgens kunnen deze variaties met elkaar vergeleken worden.

Zetting van de ondergrond: (paragraaf 3.3)

Om te bepalen wat het effect van het gewicht van de oeverbescherming is, wordt met behulp van het programma D-Settlement de zetting van een losse en vaste ondergrond berekend. Vervolgens kan geconcludeerd worden of er een groot verschil is tussen losse en vaste grond.

Onderloopsheid: (paragraaf 3.4)

Er worden twee situaties berekend om te bepalen of de damwand noodzakelijk is en of ingraven effect heeft op het tegengaan van onderloopsheid. Dit gebeurt met de formule van Lane. Uit het resultaat kan afgeleid worden of een andere constructie of manier van plaatsen mogelijk is.

3.1.3. Gebiedgegevens

De volgende gegevens zijn van toepassing voor deze testlocatie. Deze gegevens zijn noodzakelijk om de berekeningen uit te voeren.

3.1.3.1. Waterstanden

De gemiddelde grondwaterstand bedraagt circa 0,60 – 1,00 m minus maaiveld. Aangezien de damwand zich in een beek bevindt, zal het waterpeil van de beek tevens het grondwaterpeil ter hoogte van de trede zijn.

3.1.3.2. Grondparameters

De grondmechanische gegevens zijn noodzakelijk bij het doorrekenen van de houten damwand. Op locatie van de vispassage gelden de volgende gegevens, afkomstig uit het bodemonderzoek:

- 0,00 - 0,20 m humeuze bovengrond
- 0,20 - 1,50 m zand (zeer fijn, matig siltig)

Uit deze gegevens kunnen de grondmechanische gegevens, zie Tabel 6, afgeleid worden door gebruik te maken van tabel 1 uit de NEN 6740. Het is zand zeer fijn en matig siltig, deze valt dus net tussen de zwak en sterk siltig zand in. Verder wordt er een onderscheid gemaakt tussen vast en los zand, aangezien er onderzocht wordt hoe damwanden reageren als ze ingegraven zijn (dan staan ze in geroerde grond).

Parameters	Symbool	Matig siltig zand	Los zand	Eenheid
Droog volumegewicht	γ	18	17	kN/m ³
Nat volumegewicht	γ_{sat}	20	19	kN/m ³
Cohesie	c'	0	0	kPa
Hoek van inwendige wrijving	ϕ	28,5	30	°
Wandwrijving ($=2/3 \phi'$)	δ	19	20	°

Tabel 6 Grondmechanische gegevens

3.1.3.3. Hydraulische gegevens

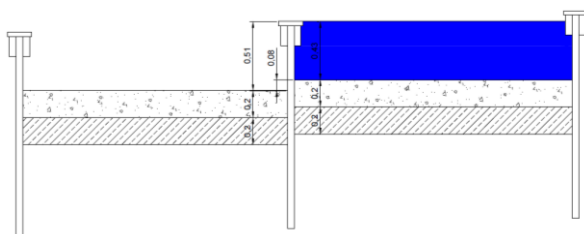
De beek zal tijdens de normale omstandigheden een debiet hebben van 0,53 m³/s waarbij een snelheid van 0,20 m/s hoort. Dit debiet is van toepassing op de gehele beek en geldt niet enkel voor de vispassage want het overgrote deel van het water gaat over de stalen stuw heen.

3.2. Testen van de damwand

De houten damwand is getest op de stevigheid, namelijk op het maximale moment, de maximale verplaatsing en de maximale dwarskracht. Eerst is het normale ontwerp getest (damwandlengte van 1,5 m in vaste grond), vervolgens zijn variaties berekend om een conclusie te trekken. In Bijlage 8 op Afbeelding 28 (pagina 60) zijn de mogelijke faalmechanismen van een damwand te zien.

3.2.1. Theoretische situaties

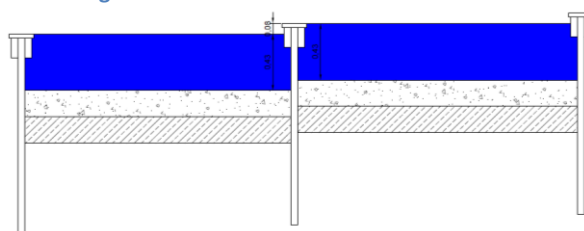
Voor het doorrekenen van de damwandconstructies is het programma D-Sheet Piling gebruikt. In de afbeeldingen hieronder staan de situaties van de houten damwand van trede 2 getest.



Afbeelding 5 Situatie 1

Situatieschets 1:

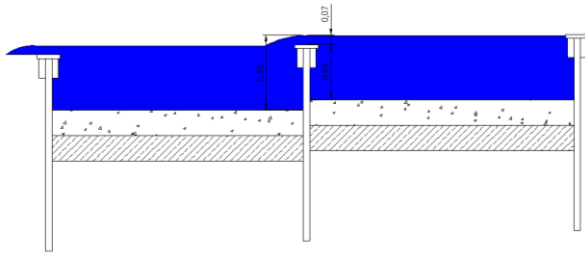
In deze situatie (Afbeelding 5) is er de meeste waterdruk door de te keren waterhoogte. Dit is de meest ongunstige, maar ook de meest onrealistische situatie. Hier kan geen dynamische belasting voorkomen want er is geen stroming.



Afbeelding 6 Situatie 2

Situatieschets 2:

Deze situatie is realistisch en kan plaatsvinden bij een zeer lage afvoer (Afbeelding 6). Hierbij zijn de bekkens van de vispassage gevuld met water. De te keren waterhoogte is hier minimaal en er is geen stroming, dus ook geen dynamische belasting.



Afbeelding 7 Situatie 3

Situatieschets 3:

Deze schets geeft de ontwerp-situatie weer, waarbij de treden van de vispassage passeerbaar zijn, zie Afbeelding 7. In deze situatie is er een dynamische belasting door de stroming van het water.

3.2.2. Uitgangspunten

Er zijn verschillende aspecten die aan worden genomen, deze worden hieronder beschreven:

- Calculation method: Mixed
Er is voor Mixed gekozen om de lagen beton en lijm mortel met breuksteen eenvoudiger in te kunnen voeren, door de eigenschappen die deze producten hebben.
- De Ka, Kp en K0 factoren voor beton en lijm mortel worden handmatig ingevoerd. Deze zijn voor Ka en Kp gelijk aan 1 en K0 is 0.

3.2.2.1. Damwandeigenschappen

De eigenschappen van de damwand moeten bij het programma ingevoerd worden. Dit zijn de volgende parameters:

- De Stijfheid (EI)
- Het Maximaal moment (M)
- Het Weerstandsmoment (W)

Deze parameters staan voor Azobé damplanken niet tussen de lijst met typen damwanden. Deze parameters zijn zelf berekend door de eigenschappen van Azobé in formules te verwerken, zie Tabel 7. De houteigenschappen, formules en berekeningen zijn in Bijlage 8 (pagina 59) te vinden.

Eigenschappen			Parameters		
Lengte damplank	1,5	m	Traagheidsmoment I	1,04167E-05	m ⁴
Elasticiteitsmodulus E	18600,00	N/mm ²	Stijfheid EI	193,75	kNm ²
	18600000,00	kN/m ²			
Breedte b	1,00	m	Weerstandsmoment W	416,667	cm ³
Hoogte h (dikte plank)	0,05	m	Maximaal moment M	29,16666667	kNm
Buigspanning (σ _{max})	38,00	N/mm ²			
	38000	kN/m ²			

Tabel 7 Parameters voor in de constructie van de damwand

3.2.2.2. Belastingen**Bovenbelasting**

In de berekening wordt niet gerekend met een gelijkmatig verspreide bovenbelasting, doordat deze er niet zal zijn.

Dynamische belasting

Doordat er stromend water over de treden gaat, komt er een belasting bij. De kracht die op de damwand plaats vindt is te berekenen met de volgende formule:

$$F_s = \frac{1}{2} \cdot C_s \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

Parameter	Betekenis	Eenheid	Waarde voor deze trap
C_s	Sleepcoëfficiënt	-	1,2 (vierkante plaat)
ρ	Dichtheid water	Kg/m ³	1000
A	Oppervlakte wand	m ²	0,96
v	Stroomsnelheid	m/s	0,20

De formule bestaat uit verschillende onderdelen, deze staan hiernaast beschreven in Tabel 8.

Tabel 8 Parameters

$$F_s = \frac{1}{2} \cdot C_s \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 0,96 \cdot 0,20^2 = 23,04 \text{ N} = 0,02304 \text{ kN}$$

De waarde van de dynamische belasting valt in het niet bij de waterdruk, hierdoor wordt er geen rekening mee gehouden met deze kracht bij het doorrekenen van de damwand in D-Sheet Piling.

3.2.3. Variaties

Er kan gevarieerd worden in verschillende aspecten. Er zijn reeds drie situatieschetsen waarbij enkel de waterstanden verschillen, zie Tabel 9. Daarnaast kan er ook gevarieerd worden in:

- De eigenschappen van de grond
Deze kan bijvoorbeeld los of vast zijn, dit is te simuleren door de volumegewichten van de grond aan te passen. Los zand kan gebruikt worden voor het doorrekenen van een prefab damwand die ingegraven is. De geroerde grond is door middel van een trilstamper en aanwateren verdicht, maar zal nooit direct de oorspronkelijke verdichting hebben.
- De lengte van de planken
In het bestek staan planken van 1,5 meter beschreven, maar het is misschien mogelijk dat er kortere planken gebruikt kunnen worden.

Waterstand	Situatieschets 1	Situatieschets 2	Situatieschets 3
Waterstand benedenstrooms (m t.o.v. NAP)	12,06	12,89	12,96
Waterstand bovenstrooms (m t.o.v. NAP)	12,97	12,97	13,04

Tabel 9 Waterstanden bij verschillende situaties

In Tabel 1 uit de NEN 6740 de volgende eigenschappen voor los en matig siltig zand af te lezen. De volumegewichten van beton en lijm mortel met breuksteen zijn berekend en zal er geen wrijving zijn. Voor de cohesie is 15000 aangehouden, omdat dit één vast geheel is, zie Tabel 10.

Type laag	Volumegewicht droog γ_d (kN/m ³)	Volumegewicht nat γ_n (kN/m ³)	Cohesie c'	Inwendige wrijving ϕ (°)	Wand-wrijving δ (°)
Zand, vaste toestand	18	20	0	28,5	19
Zand, losse toestand	17	19	0	30	20
Beton	22,9	22,9	15000	0	0
Lijm mortel met breuksteen	15,97	15,97	15000	0	0

Tabel 10 Invoergegevens laageigenschappen

3.2.4. Resultaten

Na het doorrekenen van alle situaties, zijn de waarden verwerkt in Tabel 11 (pagina 21). Los betekent dat in de grond gegraven is om de prefab damwand aan te brengen. Vast is de situatie waarbij de damplanken de grond in getrild worden. In de tabel is te zien wat het effect van de situatie waarin de damwanden zitten en wat de lengte van de damwanden bij zowel losse grond als vaste grond is.

	Situatie 1 los	Situatie 1 vast	Situatie 2 los	Situatie 2 vast	Situatie 3 los	Situatie 3 vast
Damplank 1,5 m						
Maximaal moment (kNm)	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
Maximale Verplaatsing (mm)	-0,5	-0,5	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
Maximale dwarskracht (kN)	-1,9	-1,8	0,4	0,4	0,4	0,4
Voldoet de damwand	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Damplank 1,0 m						
Maximaal moment (kNm)	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
Maximale verplaatsing (mm)	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
Maximale dwarskracht (kN)	1,3	1,3	0,3	0,3	0,4	0,4
Voldoet de damwand	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Tabel 11 Resultaten D-Sheet Piling

3.2.5. Conclusie

In Tabel 11 is te zien dat de maximale verplaatsing zeer klein is. De waarden vallen allemaal binnen één millimeter, dit komt mede doordat de damwand opgesloten zit in de beton en lijm mortel waardoor deze geen kant op kan. Bij het inkorten van de damwand met een halve meter bleek dat dit geen enkele invloed had op de stabiliteit van de damwand, enkel in de eerste situatie. Daar is de maximale verplaatsing bij 1,0 m damplank kleiner omdat de maximale verplaatsing bij 1,5 m damplank aan de onderkant (in de grond) van de damplank plaats vindt. Er kan geconcludeerd worden dat de damwanden in alle situaties sterk genoeg zijn, ook wanneer deze in los zand geplaatst worden. Voor deze vispassage zouden damplanken van 1,0 meter ook toegepast kunnen worden.

3.3. Zetting van de bodem

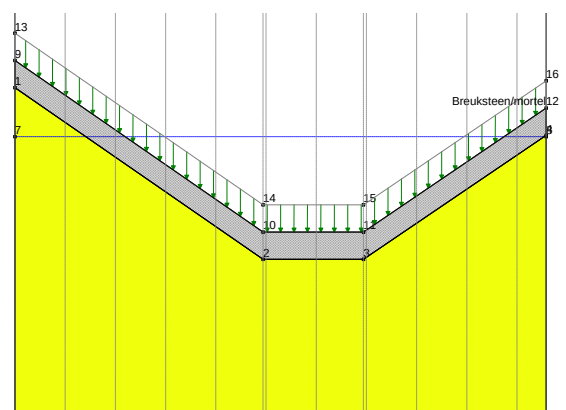
Om de invloed van de oeverbescherming op de ondergrond (zand) te bepalen wordt het programma D-Settlement van Deltares gebruikt. De oeverbescherming is een constructie van beton, lijm mortel en breuksteen. Met het programma wordt berekend hoeveel de constructie zakt bij los zand en vast zand. Vast zand moet ongeroerde grond voorstellen en los zand geroerde grond. Geroerde grond wordt gecreëerd als de damwand van de vispassage wordt ingegraven.

3.3.1. Situatie

In Tabel 12 staat de gebruikte maatvoering beschreven. Het model bestaat uit enkel een zandlaag met een dikte van de insteek tot aan 0 m +NAP. Dit is aangenomen naar aanleiding van een sondering welke zo'n 100 meter verderop is gedaan. Hierin staat dat er tot 0 m +NAP een zandlaag zit. Zand heeft de eigenschap dat dit niet zo veel zal zetten. Afbeelding 8 hieronder geeft de situatie weer, het groene vlak stelt het zandpakket voor, de blauwe lijn de waterstand, het grijze vlak het vezelbeton en de groene lijnen de belasting van de lijm mortel en breuksteen. De verticale stippellijnen geven de meetpunten weer.

Onderdeel	Afmeting (m)
Totale breedte (bodem en taluds)	5,29
Bodem breedte	1,00
Bodem hoogte	12,14 +NAP
Insteek links bodem	13,40 +NAP
Insteek rechts bodem	13,05 +NAP
Waterhoogte	13,04 +NAP

Tabel 12 Afmetingen en peilen vispassage



Afbeelding 8 Dwarsdoorsnede vispassage

De grondwaterstand is hetzelfde als de waterstand in de vispassage. Volgens het bestek bestaat de grond uit zeer fijn, matig siltig zand, dit is het geval voor de ongeroerde grond. Voor de geroerde grond worden de parameters van los zand gebruikt om de meest ongunstige situatie te berekenen. Onder losse grond wordt geroerde grond die weer verdicht is verstaan. In Tabel 13 hieronder zijn de grondparameters te zien. De waarden van het soortelijk gewicht zijn in Tabel 14 te zien.

Grondsoort	Volumegewicht (kN/m ³)		C _{p1}	C _{p2}	C _{s1}	C _{s2}
	Droog	Nat				
Zand, matig siltig	18	20	450	450	1000	1000
Zand los	17	19	200	200	1000	1000

Tabel 13 Grondparameters uit tabel 1 van NEN 6740

Materiaal	Soortelijk gewicht (kg/m ³)	Laagdikte (m)	Belasting (kN/m ³)	Totale belasting laag (kN/m ²)
Beton	2330	0,20	22,90	4,58
Lijmmortel	1850	0,12	18,10	2,17
Breuksteen	1500	0,20	14,70	2,94

Tabel 14 Cijfers soortelijk gewicht beton en lijmmortel van Betoncentrale Twenthe BV

In de NEN 6740 staat voor zand enkel één C_p-waarde (primaire samendrukkingsoëfficiënt) per grondsoort gegeven, de C_s-waarden (secundaire samendrukkingsoëfficiënt) staat als oneindig weergegeven, daarvoor is 1000 aangenomen.

De totale belasting per vierkante meter is 9,69 kN/m². Deze belasting is in twee lagen ingevoerd in het computerprogramma, waarvan één voor het vezelbeton staat en de andere voor lijmmortel met breuksteen. Voor de laag lijmmortel en breuksteen is de gemiddelde belasting berekend door de totale belasting te delen door de totale dikte. De gemiddelde belasting is 15,97 kN/m³. Deze twee materialen worden samengenomen omdat de breuksteen in de lijmmortel verwerkt is en dus als een laag gezien kan worden.

De zetting is berekend op de volgende tijdstippen: na 100, 200, 300, 365, 1.000, 5.000 en 10.000 dagen. Er is voor een aantal kleine intervallen in het begin gekozen omdat er in het begin de meeste zetting optreedt. In Bijlage 8 op Afbeelding 26 en Afbeelding 27 (pagina 60) zijn de tijdszakingsdiagrammen van de vaste en losse grond te zien. Hierop is te zien hoeveel de grond zakt in een bepaalde tijd.

3.3.2. Conclusie

De resultaten uit de zettingsberekening zijn als volgt. In het midden van de bodem zakt de constructie gefundeerd op de ongeroerde (vaste) grond na 10.000 dagen 0,01 meter. Als de constructie op losse grond wordt gefundeerd dan zakt de constructie op dezelfde plaats en in dezelfde tijdsperiode 0,016 meter. Er zit dus een klein verschil van slechts 6 millimeter tussen de zetting op geroerde en ongeroerde grond. In beide scenario's zakt de grond bovenaan de taluds minder dan in het midden, dit is bij vaste grond 3 mm en bij geroerde grond 6 mm. De zetting op een halve meter uit de kant is maar 1 mm minder dan in het midden. Het grootste verschil zit dus in de eerste halve meter na de insteek. Dit zou veroorzaakt kunnen worden doordat dat deel boven de waterstand zit. Een ander verschil tussen vaste en geroerde grond is dat bij vaste grond na 100 dagen de grond voor 67,9% is geconsolideerd en bij geroerde grond al voor 77,8%. De grond zakt dus het meest in de eerste 100 dagen. Bij 10.000 dagen is de grond bij beide scenario's 100% geconsolideerd.

3.4. Onderloopsheid van de constructie

De damplanken in een vispassage hebben door de geringe peilverschillen niet de voornaamste functie om de onderloopsheid van een vispassage tegen te gaan. Dit is voornamelijk van toepassing bij stuwen of andere constructies met een hoog peilverschil en korte kwelengte. Ondanks deze stelling wordt toch de situatie van een vispassage doorgerekend, om de onzekerheid te weerleggen.

3.4.1. Situatieschets

Vanwege het hoogteverschil tussen de bovenstroomse en benedenstroomse waterstand ontstaat een drukverschil in het grondwater onder de vispassage. Hierdoor kan grondwaterstroming ontstaan. Als deze grondwaterstroming te hoog wordt kan zand onder de vispassage mee worden gespoeld, dit is onderloopsheid wat kan leiden tot het bezwijken van de vispassage. Oplossing hiervoor zijn kwelschermen, damwanden die de weg van de grondwaterstroom langer maken. Bij onderloopsheid heeft dit als voordeel dat de korrels deels verticaal getransporteerd moeten worden alsmede dat de af te leggen weg langer wordt. De vispassage van de Markgraven is doorgerekend op de kans van onderloopsheid. Hier zijn 14 treden aanwezig die bestaan uit houten damwanden met een lengte van 1,5 m.

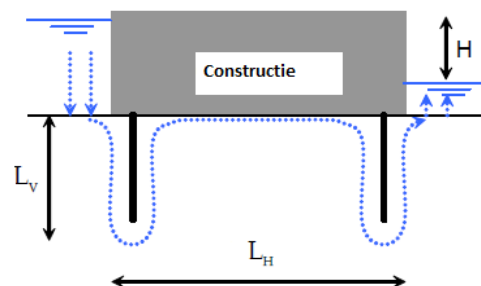
In Bijlage 7 op Afbeelding 19 (pagina 57) is de lengtedoorsnede te zien en dat de eerste trede van de vispassage een stalen damwand (met een grotere lengte) is dan de houten damwanden van de vispassage. Er is gekozen om deze stalen damwand in de berekening te veranderen in een opsluiting van een houten damwand voor de oeverbescherming, zodat deze situatie ook in een beekprofiel zou kunnen voorkomen (zie Afbeelding 20 op pagina 57).

3.4.2. Formule van Lane

Voor de kwelberekening wordt de formule van Lane gebruikt, deze is geschikt voor zandige gronden en houdt rekening met kwelschermen. In dit geval de houten damwanden (treden) in de vispassage. De verticale lengte (onderkant vezelbeton tot onderkant damwand) mag twee keer geteld worden per damwand en de totale horizontale lengte telt maar voor een derde mee. De formule ziet er als volgt uit, in Afbeelding 9 zijn de parameters schematisch te zien:

$$H \cdot C_L \leq \sum L_v + \frac{\sum L_h}{3}, \text{ waarbij:}$$

- H de waterkerende hoogte is
- C_L de constante van Lane is
- L_v de verticale kwelengte is
- L_h de horizontale kwelengte is



Afbeelding 9 Formule van Lane

Er ontstaat geen onderloopsheid als bovenstaande vergelijking klopt (de waarde links moet kleiner zijn of gelijk aan de waarde rechts).

3.4.3. Resultaten

De waarden voor de volgende parameters zijn in Tabel 15 en Tabel 16 (pagina 24) af te lezen. Ter plaatse van de vispassage bevindt zich zeer fijn zand, dit betekent dat de constanten van Lane (C_L constante) 7 zal zijn (conform NEN 5104). Daarnaast is ook gerekend met de maximale constante van Lane, om te kijken of er bij uiterst fijn zand onderloopsheid zal ontstaan. Daarbij hoort een constante van 8,5. Hoe fijner het zand is, des te meer kans op onderloopsheid er is.

Parameters	Normale situatie (met damwanden in de grond)	
Waterkerende hoogte H	1,05 m	1,05 m
Constante van Lane C_L	7	8,5
Totale verticale kwelling ΣL_v	21,72 m	21,72 m
Totale horizontale kwelling ΣL_h	31,50 m	31,50 m
Formule van Lane	7,35 m $\leq$ 32,22 m	8,93 m $\leq$ 32,22 m

Tabel 15 Parameters en resultaten in ontworpen situatie

Wanneer de formule van Lane (vergelijking) wordt ingevuld, blijkt dat deze klopt. Dit is te zien in de groene vakjes van Tabel 15. Er blijkt dat in de normale situatie waarbij de damplanken 62 centimeter in de grond steken (zie Afbeelding 19 op pagina 57) geen onderloopsheid ontstaat.

Nu is de vraag of er onderloopsheid ontstaat als er enkel de damwanden voor de opsluiting van de oeverbescherming aanwezig zijn zodat er als het ware geen kwelschermen (damplanken voor de treden) in de grond zitten (zie Afbeelding 20 op pagina 57). In deze situatie is de horizontale kwelling hetzelfde, maar de verticale is aanzienlijk minder (zie Tabel 16).

Parameters	Zonder damwanden (kwelschermen) in grond	
Waterkerende hoogte H	1,05 m	1,05 m
Constante van Lane C_L	7	8,5
Totale verticale kwelling ΣL_v	5,20 m	5,20 m
Totale horizontale kwelling ΣL_h	31,50 m	31,50 m
Formule van Lane	7,35 m $\leq$ 15,70 m	8,93 m $\leq$ 15,70 m

Tabel 16 Parameters en resultaten zonder kwelschermen

Wanneer de formule van Lane (vergelijking) wordt ingevuld, blijkt dat deze klopt. Dit is te zien in de groene vakjes van Tabel 16. Er blijkt dat in deze situatie waarbij er geen kwelschermen/damplanken zijn, er ook geen onderloopsheid ontstaat.

3.4.4. Conclusie

In de meest ongunstige situatie (waarbij de constante van Lane 8,5 is) treed er onderloopsheid op als de totale kwelling kleiner of gelijk is dan 8,93 meter. Wanneer alle treden, bestaande uit damplanken, ongeveer 62 centimeter in de grond zitten en als kwelschermen werken, is de totale kwelling 32,22 meter. In die situatie ontstaat dus geen onderloopsheid. Vervolgens tonen de berekeningen aan dat wanneer er geen treden in het zand zitten (er is dus geen kwelscherm), de totale kwelling 15,70 meter is. De totale kwelling neemt met 16,52 meter af, maar dit heeft geen invloed op de kans van onderloopsheid doordat 15,70 meter nog groter is dan 8,93 meter. Er kan geconcludeerd worden dat bij deze vispassage geen kwelschermen nodig zijn doordat de horizontale lengte van de vispassage meer als voldoende is. Daarnaast bevat de formule geen parameters die verschillen tussen ongeroerde en geroerde grond aantonen, waardoor het in principe geen probleem is om de damwand in te graven.

4. Oeverbescherming prefab maken

Naast het realiseren van prefab damwanden, wordt in dit hoofdstuk onderzocht of het interessant is om de oeverbescherming op een andere manier aan te brengen.

4.1. Mogelijke alternatieven

De huidige methode voor het realiseren van de oeverbescherming wordt handmatig uitgevoerd, dit houdt in dat het vezelbeton en lijm mortel met behulp van een hydraulische graafmachine in het werk gestort worden. Vervolgens worden de breukstenen in de vloeibare lijm mortel geplaatst en ingevoegd. Dit zou ook anders kunnen, de ideeën/alternatieven staan hieronder beschreven, waarbij rekening is gehouden met het toepassen van de breukstenen.

De vier onderstaande ideeën worden als prefab elementen in het werk geplaatst.

Prefab platen met een print door middel van een structuurmatrijs (alternatief 1)

Deze platen moeten in een fabriek gemaakt worden. Er wordt een structuurmatrijs in een mal gelegd en vervolgens volgestort met beton, hierdoor wordt er een structuur in het beton gecreëerd, zie Afbeelding 10. Deze structuur is bij elke plaat hetzelfde en de kleur is over de gehele plaat grijs. Deze platen worden vervolgens op geotextiel, dat op de bodem en de taluds ligt, geplaatst met behulp van een hydraulische graafmachine.



Afbeelding 10 Print

Prefab platen met breuksteen erin verwerkt (alternatief 2)

Om de huidige situatie zoveel mogelijk na te bootsen is bedacht om breukstenen in een prefab plaat te verwerken. Hierdoor ontstaat dezelfde uitstraling en kunnen de platen met een hydraulische graafmachine geplaatst worden. Voor deze toepassing blijkt weinig interesse bij betonbedrijven om dit te maken, aangezien niemand dit nu produceert.



Nature blokken (blokken met natuursteen) plaatsen (alternatief 3)

Deze blokken, waarbij natuursteen in de zijkant van de blok zit, worden in de fabriek gemaakt en dienen er eigenlijk voor om gestapeld te worden, zie Afbeelding 11. Ze zouden ook op de bodem en talud gelegd kunnen worden. Het natuursteen vervangt de uitstraling van de breuksteen.

Afbeelding 11 Nature blokken

Betonblokkenmat met breuksteen (alternatief 4)

Dit is een mat bestaande uit betonblokken die verbonden zijn met staalkabels, waarbij in de betonblokken natuursteen verwerkt zit, zie Afbeelding 12. De natuursteen vervangt de breuksteen om toch dezelfde uitstraling te krijgen.



Afbeelding 12 Blokkenmat

Onderstaande ideeën dienen ter plekke (in situ) uitgevoerd te worden.

Een mal/print in het beton drukken (alternatief 5)

Deze manier is nog niet getest, maar het idee is dat een mal op een hydraulische graafmachine geplaatst wordt en deze een patroon in een plastisch betonproduct drukt. Hierbij worden enkel de vormen van de breuksteen gerealiseerd, door het beton ziet het er dus niet als breuksteen uit maar is er wel de ruwheid van de breukstenen.

Een bestorting in een bekisting met een print (alternatief 6)

Wanneer de damwanden geplaatst zijn en het grondwerk gemaakt is, wordt er een bekisting met een structuurmatrijs geplaatst. Deze wordt vervolgens volgestort waarbij het beton de vormen van de structuurmatrijs aanneemt.

Bovenstaande methodes staan in Bijlage 9 (pagina 61) uitgewerkt, waarbij ook de voor- en nadelen staan omschreven.

4.2. Kostenraming

Tabel 17 geeft een weergave van de kosten van de alternatieven. Deze zes alternatieven kunnen vergeleken worden met de traditionele manier als maatstaf. De kosten zijn gebaseerd op enkel de oeverbescherming van de bodem en de taluds van de vispassage van de Markgraven. De kosten zijn berekend met de eenheidsprijzen van de calculatie van het bestek Markgraven. De totale oppervlakte oeverbescherming is 180 vierkante meter, de situatie is op Afbeelding 22 in Bijlage 7 (pagina 58) in de groene cirkel te zien. Omdat nu enkel de bodem en taluds van de vispassage berekend zijn, kan deze vergeleken worden met een doorsnee beek, zie groene cirkel op Afbeelding 21 (pagina 57) voor het dwarsprofiel. Uit deze tabel is af te leiden dat geen enkel alternatief goedkoper is dan de traditionele werkwijze.

Alternatieven	Totaalbedrag		Per m ²	
	Kosten	Besparing	Kosten	Besparing
Totale kosten traditionele werkwijze	€ 9.103,41	€ 0,00	€ 53,55	€ 0,00
Totale kosten prefab platen met print van structuurmatrijs	€ 15.632,86	€ -6.529,44	€ 91,96	€ -38,41
Totale kosten prefab platen met breuksteen erin verwerkt	€ 15.312,86	€ -6.209,44	€ 90,08	€ -36,53
Totale kosten nature blokken	€ 15.330,11	€ -6.226,69	€ 90,18	€ -36,63
Totale kosten betonblokkenmat	€ 19.791,00	€ -10.687,59	€ 116,42	€ -62,87
Totale kosten print in betonproduct drukken	€ 9.294,48	€ -191,07	€ 54,67	€ -1,12
Totale kosten storten in bekisting met structuurmatrijs	€ 11.177,36	€ -2.073,95	€ 65,75	€ -12,20

Tabel 17 Kostenplaatje varianten

4.3. Conclusie

Doordat er tot heden nog niet veel producten op de markt zijn die bruikbaar zijn, is een verandering van de werkwijze vrij lastig. De mogelijkheden die er zijn, zijn duurder dan de traditionele werkwijze. Daarnaast zijn de varianten niet echt vergelijkbaar met de huidige oeverbescherming doordat of de kwaliteiten of de uitstraling van de producten totaal anders zijn. Het idee om een print in een betonproduct te drukken komt qua kosten het dichtst bij de traditionele werkwijze maar qua uitstraling weer totaal niet. Dit is gebaseerd op het principe van printbeton dat in de wegenbouw wordt toegepast. Echter wordt daar de print niet in een talud gemaakt, waarbij uitzakken van het beton niet van toepassing is. Dit is nog niet getest, dus of dit zal werken is nog niet zeker.

Ondanks dat de varianten duurder zijn, zijn deze wel beter en gezonder voor de werknemers. Hierbij is de arbeidsintensiteit een stuk lager dan wanneer de breukstenen met de hand verwerkt moeten worden. Er zal een afweging gemaakt moeten worden of de extra kosten meer wegen dan de werkomstandigheden van de werknemers.

5. Besparingen

In dit hoofdstuk worden de besparingen die het gebruik van de innovatieve methode oplevert ten opzichte van de traditionele methode. Het gaat om besparingen in uren, kosten, CO₂-uitstoot en arbeidsintensiteit.

5.1. Uren

In Tabel 18 is af te lezen hoeveel man-, kraan- en bemalingsuren er bespaard worden bij het maken van de damwanden wanneer deze worden ingegraven. De besparing van deze uren hebben gevolgen voor de tijdsduur van het project, de kosten en de uitstoot van CO₂ doordat machines minder lang draaien.

Damwand	Manuren		Kraanuren		Uren bronbemaling	
	Totaal	Besparing	Totaal	Besparing	Totaal	Besparing
Traditioneel	173,8	0,0	56,0	0,0	356,6	0,0
Prefab	100,8	73,0	22,4	33,6	67,2	289,4

Tabel 18 Bemalings-, kraan- en manuren damwand

Tabel 19 geeft de besparingen van man-, kraan- en bemalingsuren weer die behaald worden bij de oeverbescherming. De alternatieve methoden besparen minimaal of niet ten opzichte van de traditionele manier.

Oeverbescherming	Manuren		Kraanuren		Uren bronbemaling	
	Totaal	Besparing	Totaal	Besparing	Totaal	Besparing
Traditioneel	39,9	0,0	22,9	0,0	87,3	0,0
Alternatief 1	30,9	9,0	20,6	2,4	92,6	-5,3
Alternatief 2	30,9	9,0	20,6	2,4	92,6	-5,3
Alternatief 3	34,3	5,6	24,0	-1,1	102,9	-15,6
Alternatief 4	29,2	10,7	13,0	10,0	73,1	14,2
Alternatief 5	24,7	15,2	27,3	-4,4	119,1	-31,8
Alternatief 6	51,0	-11,1	6,2	16,8	432,0	-344,7

Tabel 19 Overzicht man-, kraan- en bemalingsuren oeverbescherming

5.2. Kosten

Naast het bepalen van de kwalitatieve eigenschappen van het plaatsen door middel van ingraven dient er ook een financieel plaatje opgesteld te worden. Daaruit is dan af te leiden of het rendabel en interessant is om de innovatieve methode toe te passen.

5.2.1. Kosten traditionele werkwijze

5.2.1.1. Aannames

Om een kostenraming te maken moeten enkele aannames gemaakt worden.

- Er wordt gerekend met eenheidsprijzen (man en kraanuren) die gehanteerd zijn in de calculatie van het project Markgraven, deeltraject Hunzerhoek (bestek 1-2013).
- De productie opgesteld in de calculatie per bestekpost wordt doorgenomen en aangepast als blijkt dat deze niet overeen kwam met de vooraf gestelde productie.

5.2.1.2. Treden van de vispassage

Tabel 20 (pagina 28) geeft de kostenraming voor het traditioneel aanbrengen van enkel de treden van de vispassages. Dit houdt in dat de oeverbescherming hier niet bij hoort. De onderste regel van

Tabel 20 geeft de totale kosten per vispassage (50,4 m'), per trede (3,6 m') en per meter weer. Voor de kostenraming zijn de arbeidskosten, materiaalkosten en het in stand houden van de bronbemaling opgenomen. Er zijn in totaal 14 treden in deze vispassage.

	Totale vispassage	Bedrag per trede	Bedrag per m'
In stand houden bronbemaling	€ 488,70	€ 34,91	€ 9,70
Totale arbeidskosten	€ 10.291,22	€ 735,09	€ 204,19
Totale materiaalkosten	€ 4.851,62	€ 346,54	€ 96,26
Totale kosten treden traditioneel werkwijze	€ 15.631,54	€ 1.116,54	€ 310,15

Tabel 20 Kostenraming treden traditioneel aanbrengen

5.2.1.3. Oeverbescherming

De berekening voor de oeverbescherming is in Tabel 21 terug te vinden. Hierin zijn de damwand van de opsluiting en het aanbrengen van het geotextiel niet opgenomen. Dit is omdat deze materialen in de traditionele en prefab methode op dezelfde wijze wordt toegepast, er is dan geen verschil.

	Totale vispassage	Bedrag per m²
Totale arbeidskosten	€ 2.767,41	€ 15,37
Totale materiaalkosten	€ 6.336,00	€ 35,20
Totale kosten oeverbescherming traditionele werkwijze	€ 9.103,41	€ 50,57

Tabel 21 Kostenraming oeverbescherming traditioneel aanbrengen

5.2.2. Kosten prefab methode

5.2.2.1. Aannames

- Ook hier geldt dat er wordt gerekend met eenheidsprijzen die gehanteerd worden in de calculatie van het project Markgraven deeltraject Hunzerhoek.
- De productie van de het prefab maken van de vispassage en het plaatsen van de vispassage is gebaseerd op basis van eerdere ervaring.
- De bemaling hoeft enkele dagen minder te draaien, waardoor het in stand houden van de bronbemaling minder lang nodig is.
- De damplanken voor de opsluiting van de oeverbescherming worden door middel van trillen aangebracht omdat waterschappen te onzeker zijn voor het wegspoelen van de grond.

5.2.2.2. Treden

Tabel 22 geeft de kostenraming voor het prefab aanbrengen van enkel de treden van de vispassage. Dit houdt in dat de oeverbescherming hier niet toe behoort. De onderste regel van Tabel 22 geeft de totale kosten per vispassage (50,4 m'), per trede (3,6 m') en per meter weer. Voor de kostenraming zijn de arbeidskosten, materiaalkosten en het in stand houden van de bronbemaling opgenomen.

	Totale vispassage	Bedrag per trede	Bedrag per m'
Instandhouden bronbemaling	€ 126,00	€ 9,00	€ 2,50
Totale arbeidskosten	€ 5.311,60	€ 379,40	€ 105,39
Totale materiaalkosten	€ 5.069,40	€ 362,10	€ 100,58
Totale kosten treden in prefab	€ 10.507,00	€ 750,50	€ 208,47

Tabel 22 Kostenraming treden bij prefab damwanden

5.2.2.3. Oeverbescherming

In paragraaf 4.2 zijn kosten van de mogelijke prefab uitvoeringen voor de oeverbescherming terug te vinden. De traditionele manier blijkt de goedkoopste manier te zijn, mede door de optimale werkwijze.

5.2.3. Conclusie

Door de prefab damwanden in te graven, kan er veel geld (33%) bespaard worden. In deze situatie zijn dezelfde materialen toegepast. Tabel 23 geeft aan hoeveel er bespaard kan worden.

	Totale vispassage	Bedrag per trede	Bedrag per m'
Totaalkosten treden traditionele werkwijze	€ 15.631,54	€ 1.116,54	€ 310,15
Totaalkosten treden in prefab	€ 10.507,00	€ 750,50	€ 208,47
Besparing	€ 5.124,54	€ 366,04	€ 101,68

Tabel 23 Kostenbesparing

Zoals eerder vermeld is het niet mogelijk om de oeverbescherming goedkoper te maken, ook niet met gebruik van andere materialen. Andere materialen voor het realiseren van dezelfde uitstraling en ruwheid van de oeverbescherming zijn aanzienlijk duurder.

5.3. CO₂-reductie

Het milieu wordt steeds belangrijker daarom is de CO₂-uitstoot van het plaatsen van een constructie uitgerekend om te bepalen of de innovatieve methode een besparing op CO₂-uitstoot oplevert.

Eerst is het brandstof- of stroomverbruik van het materieel bepaald. Met deze getallen is vervolgens de CO₂-uitstoot bepaald, door het verbruik te vermenigvuldigen met een bepaalde uitstoot per eenheid energiebron (well-to-wheel getallen). Well-to-wheel staat voor de totale CO₂-uitstoot van winning, transport en verbranding van de energiebron. De well-to-wheel getallen en het verbruik van het materieel zijn te vinden in Bijlage 10 (pagina 63). De CO₂-uitstoot is voor de damwanden en de oeverbescherming apart uitgerekend. Dit is gedaan om te bepalen bij welke werkzaamheden de meeste CO₂-reductie te halen valt

5.3.1. CO₂-uitstoot bij damwanden

In Tabel 24 zijn de luchtvervuilers te zien bij het maken op de traditionele werkwijze. Door het 24 uur per dag draaien van de bronbemaling en het hoge brandstofverbruik van de kraan zijn dit de voornaamste vervuilers. De CO₂-uitstoot per meter damwand bedraagt 88,29 kg. De overige vervuilers worden maar enkele uren per dag nuttig gebruikt, vandaar dat deze uitstoot vrij klein is. In de berekening is de aanvoer van personeel, materiaal en materieel niet meegenomen.

Materieel	CO ₂ (kg)	CO ₂ /m
Bronbemaling	1677,10	33,28
Kraan (HGM)	2633,40	52,25
Aggregaat	85,85	1,70
Kettingzaag	53,38	1,06
Totaal traditioneel	4449,72	88,29

Tabel 24 CO₂-uitstoot traditionele methode

In Tabel 25 zijn de vervuilers te zien die CO₂ uitstoten bij het prefab plaatsen van de damwanden. Doordat er minder lang gewerkt moet worden, is de uitstoot van de kraan en bronbemaling aanzienlijk minder. De CO₂-uitstoot is 29,77 kg per meter damwand. Door de andere manier van werken, is er ander materieel zoals een trilstamper, vrachtwagen en een werkplaats dat CO₂ uitstoot. De trilstamper moet de grond rond de damwand verdichten en de vrachtwagen moet een extra rit maken om de prefab wanden te verplaatsen die in de werkplaats zijn gemaakt. Verder is er net als in de berekening voor de traditionele werkwijze de aanvoer van personeel, materiaal en materieel niet meegenomen.

Materieel	CO ₂ (kg)	CO ₂ /m
Bronbemaling	316,01	6,27
Kraan (HGM)	1053,36	20,90
Trilstamper	62,27	1,24
Werkplaats	16,56	0,33
Vrachtwagen	52,25	1,04
Totaal innovatief	1500,45	29,77

Tabel 25 CO₂-uitstoot aanbrengen door ingraven

Het aanbrengen van de damwanden door middel van ingraven levert een totale besparing op CO₂-uitstoot van 2.949,27 kg. Dit betekent een besparing van 58,52 kg per meter damwand. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat de bronbemaling en kraan minder uren draaien. De extra CO₂-uitstoot van de trilstampen, werkplaats en vrachtwagen valt in het niet bij de besparing van de kraan en bronbemaling. Nu er sneller gewerkt wordt hoeft het personeel ook minder vaak naar de bouwplaats te rijden, dit levert ook een besparing in CO₂-uitstoot op.

5.3.2. Oeverbescherming

In Tabel 26 hiernaast is de besparing van de oeverbescherming te zien. De CO₂-uitstoot wordt hier veroorzaakt door de bronbemaling en de kraan. Bij de traditionele methode is de besparing 0. De alternatieven 1 en 2 zijn beide gebaseerd op het leggen van platen, vandaar dat hier dezelfde besparing wordt gehaald. De besparing is te danken aan het korter gebruik van de kraan. De grootste besparing wordt gehaald bij alternatief 4, de oorzaak hiervan is dat de bronbemaling en kraan korter in bedrijf zijn. De alternatieven 3, 5 en 6 zijn niet besparend op CO₂-uitstoot. De oorzaak hiervan is dat de bronbemaling meer uren in bedrijf is omdat de werkzaamheden langer duren.

Werkwijze	Uitstoot kg CO ₂	Besparing kg CO ₂	
		Totaal	CO ₂ /m ²
Traditioneel	1.488,90	0	0,00
Alternatief 1	1.402,69	86,21	0,48
Alternatief 2	1.402,69	86,21	0,48
Alternatief 3	1.612,40	-123,50	-0,69
Alternatief 4	954,06	534,84	2,97
Alternatief 5	1.845,80	-356,90	-1,98
Alternatief 6	2.327,29	-838,39	-4,66

Tabel 26 CO₂-uitstoot oeverbescherming

5.4. Arbeidsintensiteit

5.4.1. Algemene waarden

Bij het maken van een vispassage zoals bij de herinrichting van de Markgraven komt er een grote fysieke inspanning aan te pas. Bijna alle producten moeten met de hand verwerkt worden. Houten damplanken moeten worden gedragen en breukstenen moeten met de hand in het werk gemaakt worden. Deze producten zijn alles behalve licht. Azobé heeft een soortelijke massa van 1050 kg/m³, dan weegt een houten damplank 15,75 kg en een gording uit één stuk 28,35 kg.



Afbeelding 13 Ibbenburen breuksteen (15 kg)

Per brok breuksteen is het soortelijk gewicht ongeveer 2650 kg/m³, dit getal moet gebruikt worden voor het bepalen van het gewicht van een breuksteen. Daaruit volgt dat het gewicht van een gemiddelde steen uit de sortering 150/250 ongeveer 15 kilogram weegt. Er zitten wel kleinere stenen tussen, daarom wordt het gemiddelde op 10 kilogram gehouden. Afbeelding 13 is een gewogen steen van gemiddelde grootte en weegt 15 kilogram.

5.4.2. Arbowetgeving

Tillen en dragen is de bekendste vorm van fysieke belasting en komt in veel beroepen voor. Tillen is het optillen van een last (omhoog brengen) en dragen is het vasthouden van de last terwijl de medewerker zich lopend verplaatst. Er zijn geen duidelijke richtlijnen voor maximaal te tillen en te dragen gewichten. Het aanbevolen maximumgewicht ligt op 23 kg. Maar als er vaak getild of gedragen wordt, ligt het maximale tilgewicht veel lager. De factoren die bij tillen bepalen wat de kans op gezondheidsschade is, zijn de afstand tot het lichaam; de hoogte van het oppakken en wegzetten;

de afstand tussen de oppakhoogte en de wegzethoogte; de draaiing van de romp; de kwaliteit van de handvatten en de frequentie van het tillen.

Met de NIOSH-formule kan aan de hand van deze zes factoren het gewicht bepaald worden dat door een groot deel van bevolking nog veilig te tillen is.

De Tabel 27 is ingevuld zoals de breukstenen in het werk verwerkt worden. De stenen worden uit de bak van de kraan gepakt en vervolgens in de mortel geplaatst. Gemiddeld worden maar drie stenen per minuut gepakt, doordat de kraan de stenen moet gaan halen wat tijd kost. Deze waarden zijn in een rekentool van FNV Bondgenoten ingevuld en daar kwamen de volgende maximale tilgewichten uitgerold. De laagste waarde dient aangehouden te worden voor het maximaal tilgewicht.

Begin situatie	Input
Horizontale afstand (van lichaam tot last)	50 cm
Verticale afstand (van vloer tot object)	100 cm
Hoek t.o.v. het te pakken object	45 graden
Eind situatie	Input
Horizontale afstand (van lichaam tot last)	40 cm
Verticale afstand (van vloer tot object)	120 cm
Hoek t.o.v. de plaats voor het object	45 graden
De tilfrequentie gemiddeld per minuut	3 keer
De tijdsduur (duur van het werk)	8 uur
Hanteerbaarheid	Gewoon
Maximaal tilgewicht begin situatie	5,01 kg
Maximaal tilgewicht eind situatie	5,85 kg

Tabel 27 Berekenen maximaal tilgewicht

Behalve het maximale tilgewicht geeft deze rekentool ook de NIOSH-tilindex voor de tilsituatie aan. Wanneer dit indexgetal lager dan of gelijk aan één is, geeft aan dat de tilsituatie in orde is. Een index hoger dan één is een aanwijzing dat de tilsituatie mogelijk schadelijk voor de gezondheid is. Er is een tilindex voor de begin en eindsituatie, het hoogste van de twee getallen is daarbij maatgevend. Er is onmiddellijk actie vereist als de tilindex hoger is dan 2.

Zoals te zien is in Tabel 28, is de hoogste index hoger dan 1 en afgerond 2 waardoor de tilsituatie zeker schadelijk is voor de gezondheid van de medewerkers en eigenlijk onmiddellijke actie vereist. De werknemers kunnen ontlast worden door gebruik te maken van kleinere stenen, maar dat heeft invloed op de voornaamste functie, het creëren van verschillende stroomsnelheden, luwten en een goede uitstraling. Voor deze ongezonde werkomstandigheden is prefab oeverbescherming ook een oplossing doordat hier enkel met machines gewerkt wordt.

Gemiddeld Tilgewicht breuksteen	10 kg
Tilindex begin situatie	1,997
Tilindex eind situatie	1,708

Tabel 28 Berekening tilindex

(Bron: <http://www.arbobondgenoten.nl/arbothem/lichblst/lifttest.htm>)

6. Gebruik van andere materialen en constructies

6.1. Aanleiding

Uit de interviews blijkt dat de voornaamste oorzaken voor de realisatie of verandering van een overlaat of vispassage zijn:

- Een nieuwe inrichting van het gebied;
- Het veranderen van het waterpeil in het gebied;
- Het (vroegtijdig) bezwijken van de materialen van een constructie.

Bij het inrichten van een gebied kunnen er bijvoorbeeld vispassages of vaste stuwen/overlaten ontworpen worden. Er wordt dus een volledig nieuwe constructie gemaakt, maar bij de andere twee oorzaken verandert er iets. Deze twee oorzaken zouden uitgesteld of voorkomen kunnen worden door gebruik te maken van andere (duurzamere) materialen of de constructie anders te ontwerpen. Daarnaast halen sommige producten de geplande levensduur niet, dit kan ook een reden zijn voor het gebruik van andere producten.

6.2. Constructie

Een innovatieve constructie voor een vaste overlaat of een trede van een vispassage moet een van de volgende eigenschappen bevatten:

- Aan te passen naar een nieuw vast waterpeil
Wanneer het vaste waterpeil om een bepaalde reden verandert, moet deze bij de overlaat of trede ook kunnen veranderen. De bedoeling is dat door simpele aanpassingen de constructie veranderd kan worden en niet volledig afgebroken hoeft te worden om het nieuwe waterpeil toe te passen.
- Eenvoudig en/of sneller te plaatsen
Het moet geen ingewikkelde constructie zijn en het moet met doorsnee materieel eenvoudiger en sneller geplaatst kunnen worden.
- Langere levensduur
Veel waterschappen geven aan dat het toegepaste hout vaak te kort mee gaat, daarmee wordt meestal bedoeld dat de gehele constructie te duur is in verhouding met de levensduur. Daarom is het verstandig sterkere materialen te gebruiken die een langere levensduur hebben dan bijvoorbeeld hout.
- Duurzaamheid
Wanneer over duurzaamheid gesproken wordt kunnen verschillende aspecten belicht worden. De manier van produceren, materiaalkeuze en herkomst van het product, mogelijkheden tot hergebruik, de methode van aanbrengen zijn aspecten die bepalen of een product duurzaam is of niet.

6.3. Andere materialen

Door het gebruik van andere materialen is het mogelijk om de levensduur van de constructies te verlengen, maar ook om betere arbeidsomstandigheden te creëren. Uit de interviews bij de waterschappen en adviesbureaus bleek dat er interesse voor het gebruik van andere producten is. Hout, staal, beton en breuksteen zijn de meest toegepaste producten bij overlaten, vispassages en de

bijbehorende oeverbescherming. Daarnaast zijn er ook andere producten die steeds meer toegepast worden voor deze constructies, zoals:

- **Kunststof:** Kunststof damwanden zijn prima alternatieven voor houten of stalen damplanken. Ze gaan langer mee, hebben dezelfde (of zelfs sterkere) eigenschappen en zien er vaak net zo goed uit. Er zijn ontzettend veel soorten kunststoffen, de meest toegepaste zijn HDPE, vinyl, gerecycled kunststof.
- **Composieten:** Tegenwoordig wordt er ook gebruik gemaakt van composieten. Dit zijn producten samengesteld uit verschillende materialen (bijvoorbeeld hout en kunststof: hout-kunststofcomposieten), waarbij de beste eigenschappen uit de producten gehaald kunnen worden. Composieten uit verschillende kunststoffen bestaan ook.
- **Metalen:** Er zijn al verschillende vispassages uitgevoerd in RVS, dit zijn voornamelijk 'De Wit passages'. Daarnaast wordt in de waterbouw ook thermisch verzinkt (gegalvaniseerd) staal gebruikt, dit heeft in de natuur bij een zinklaag van 70 µm een minimale levensduur van 45 tot 70 jaar.
- **Breukstenen:** Over het algemeen worden breukstenen gebruikt voor het bekleden van de bodem en oever. Daarvoor worden zware stenen gebruikt die (meestal) vast in de lijm mortel liggen. Andere stenen of producten zouden gebruikt kunnen worden zodat de lichamelijke belasting om deze aan te brengen afneemt.

6.4. Verschillende alternatieven

Naar aanleiding van de resultaten uit de interviews en berekeningen over de damwand, zijn er drie alternatieven voor de damwanden bedacht. Voor alle drie de alternatieven zijn er twee varianten ontworpen.

6.4.1. Verzinkt stalen frame

In Bijlage 12, op Afbeelding 29 (pagina 65) is een impressie van het ontwerp van deze constructie te zien. Bij dit ontwerp wordt de ondergrond niet aangetast. Het verzinkt stalen frame wordt in het uitgegraven beekprofiel op hoogte aangebracht door het frame in de taluds te drukken. De bevestigingsankers bevinden zich in de laag voor het vezel beton. Doordat deze ankers daarin zitten, zijn het frame en het vezelbeton één geheel en kan het frame door de stroming van het water niet doorbuigen. Het frame bevat boven het niveau voor de breukstenen gaten waaraan een wand tegen het frame bevestigd kan worden met slotbouten. Hierdoor kan de wand altijd van het frame worden afgehaald, vervangen of aangepast (bijvoorbeeld andere waterstand). Het voordeel hiervan is dat niet de hele constructie gesloopt hoeft te worden. De materialen zijn duurder dan de oorspronkelijke materialen, maar door het ontzettend snel kunnen plaatsen is het in zijn geheel goedkoper. Daarnaast kan het frame hergebruikt worden als deze voorzichtig wordt verwijderd.

6.4.1.1. Kunststof HDPE wand

Dit frame heeft een wand nodig dat het water op de juiste hoogte door een v-vorm te laat stromen zodat deze vispasseerbaar is. Hiervoor is HDPE uiterst geschikt, dit is eenvoudig te bewerken en aan te brengen. Het is een zwarte kunststof plaat, wat betekent dat het minder natuurlijk oogt. Door de lange levensduur van beide producten kan de trede makkelijk 50 jaar meegaan zonder dat kostbaar onderhoud gepleegd hoeft te worden

6.4.1.2. Houten Azobé wand

Door de plaat van een houten Azobé damplanken te maken ontstaat er een natuurlijke uitstraling. Ondanks dat hout gebruikt wordt, kan deze trede 50 jaar mee gaan. Het hout zal na 15 à 20 jaar vervangen moeten worden, maar dat kan snel en goedkoop doordat de wand van tevoren gemaakt kan worden en niet de volledige oeverbescherming en trede afgebroken hoeft te worden.

6.4.2. Deltawood composiet damplanken

Dit is een zeer duurzaam en milieuvriendelijk product. Het bestaat uit een samenstelling (composiet) van afvalhout (voornamelijk naaldhout) en gerecycleerd PP (polypropyleen). Deze damplanken hebben dezelfde uitstraling en levensduur als Azobé damwanden, maar er hoeft geen tropisch hardhout gekapt te worden. De planken kunnen op dezelfde manieren geplaatst worden zoals de Azobé damplanken, zowel intrillen als prefab ingraven. De overige eigenschappen van deze damplanken zijn terug te vinden in Bijlage 11 (pagina 64). Wanneer deze damwand staat, is de drempelhoogte niet meer aan te passen. Verder moet de hele constructie (inclusief oeverbescherming) gesloopt worden als de damplanken bezwijken.

6.4.2.1. Aanbrengen door middel van intrillen

Deze composiet damwanden zijn eenvoudig in te trillen doordat er holle ruimtes in de damplanken zijn, waardoor weinig grond verplaatst hoeft te worden. Vervolgens moet een afdekprofiel op de damplanken gemaakt worden voor de afwerking. Hier dienen dezelfde handelingen van de traditionele werkwijze toegepast te worden. Afbeelding 14 geeft een impressie van de damplanken.



Afbeelding 14 Deltawood Damplanken

6.4.2.2. Prefab aanbrengen

Ook deze producten kunnen als een prefab damwand gemaakt worden in een werkplaats. Vervolgens kan deze wand op dezelfde manier als de prefab Azobé damwanden geplaatst worden. Het nadeel hierbij is dat door het ingraven de ondergrond verstoord wordt.

6.4.3. Prefab betonplaat

In plaats van een stalen frame of een houten damwand, kan er natuurlijk ook een prefab betonplaat geplaatst worden. Beton wordt veel toegepast in stuwten, maar minder in een v-vormige overlaat bij vispassages (meestal De Wit passages). Beton heeft een vrij lange levensduur, dat makkelijk 50 jaar kan halen. In deze gewapende prefab platen (met een dikte van 15 centimeter) worden gaten geboord waarin draadeinden van 50 centimeter komen die met moeren vastgezet worden zodat ze aan beide zijden 17,5 centimeter uitsteken. Deze draadeinden zorgen voor de bevestiging van de plaat met het vezelbeton, zodat het één geheel vormt. In Bijlage 12, Afbeelding 30 (pagina 66) zijn impressies van onderstaande varianten terug te vinden.

6.4.3.1. Kale betonplaat

De betonplaat ziet er grijs en onnatuurlijk uit. De v-vorm is tijdens de realisatie van de plaat erin gemaakt. Met behulp van een hydraulische graafmachine kan de plaat geplaatst worden. Om deze te kunnen plaatsen, moet een sleuf gegraven zijn waarin de plaat gezet wordt. Vervolgens wordt de grond naast de plaat verdicht. Er wordt dus in de taluds gegraven zodat de plaat blijft staan, maar doordat de oeverbescherming vrij hoog boven de overlaat doorloopt, is dit geen probleem. Het heeft geen effect op onderloopsheid.

6.4.3.2. Houten dekplank en gording

Dit is dezelfde constructie als de kale betonplaat en dient ook op dezelfde wijze geplaatst te worden. Echter het verschil is dat door de Azobé gordingen en dekplanken die tegen de betonplaat bevestigd worden, er een totaal andere uitstraling ontstaat. De betonplaat zit volledig onder water, deze zal na een tijdje ook verkleuren waardoor het niet opvalt dat het beton is. De dekplanken en gording zijn in het zicht en ogen natuurlijk, alsof de overlaat uit houten damplanken bestaat. Hierbij dienen de gordingen en de dekplanken om de 15 à 20 jaar vervangen te worden omdat deze niet zo lang als de betonplaat meegaan.

6.4.4. Lava als breukstenen

De oeverbescherming bestaat uit diverse materialen. Allereerst is er 20 cm vezelbeton, waarin de bevestiging komt. Vervolgens is er een laag lijm mortel waar lavastenen aangebracht worden (in plaats van breukstenen). Deze lavastenen hebben een grootte van 100-300 mm of 150-250 mm afhankelijk van de leverancier. Lavastenen hebben een soortelijke dichtheid van 1100 kg/m³ in tegenstelling tot 2650 kg/m³ voor de Ibbenburen breuksteen. Dit is aanzienlijk minder, waardoor de fysieke arbeidsomstandigheden van de arbeiders sterk verbeterd. De steen is aanzienlijk lichter, maar doordat deze vastgelijmd zit, zou dit geen probleem moeten zijn voor het wegspoelen. Dit moet nog verder onderzocht worden.



Afbeelding 15 rood/bruin lavasteen

6.5. Besparingen van de alternatieven

De alternatieven besparen in uren, kosten, levenscycluskostenberekening (LCC) en CO₂-uitstoot. De kostenraming geeft de kosten van het aanbrengen en het materiaal weer van één levensduur. De LCC geeft de kosten over een periode van 25 jaar weer.

6.5.1. Uren

In de onderstaande Tabel 29 is de besparing in uren te zien. Alle constructies leveren een besparing in uren op. De frames leveren de meeste besparing op in man-, kraan- en bronbemaalingsuren. De betonnen platen zorgen ook voor een grote besparing op uren. De besparing bij de betonnen plaat met gording is minder omdat deze er in het werk opgemaakt wordt.

Damwand	Manuren		Kraanuren		Uren bronbemaaling	
	Totaal	Besparing	Totaal	Besparing	Totaal	Besparing
Traditioneel	173,8	0,0	56,0	0,0	356,6	0,0
Prefab	100,8	73,0	22,4	33,6	67,2	289,4
Frame met kunststof	35,0	138,8	7,0	49,0	52,8	303,8
Frame met hout	44,1	129,7	7,0	49,0	31,5	325,1
Deltawood trad.	128,1	45,6	56,0	0,0	240,2	116,4
Deltawood prefab	85,1	88,6	22,4	33,6	67,2	289,4
Prefab beton	51,5	122,3	18,7	37,3	56,0	300,6
Beton houten gording	113,3	60,5	18,7	37,3	56,0	300,6

Tabel 29 Man-, kraan- en bronbemaalingsuren

6.5.2. Kostenraming

Voor deze alternatieven is een kostenraming gemaakt, daarbij zijn de kosten van alle alternatieven vergeleken met de traditionele trede. Dit staat in Tabel 30 op pagina 36 weergegeven voor alle 14 treden, per trede en per strekkende meter.

Alternatieven	Levensduur	Totaal 14 treden		Per trede		Per meter	
	Jaren	Kosten	Besparing	Kosten	Besparing	Kosten	Besparing
Totale kosten traditioneel trede	20	€ 15.631,54	€ 0,00	€ 1.116,54	€ 0,00	€ 310,15	€ 0,00
Totale kosten hout in prefab	20	€ 10.507,00	€ 5.124,54	€ 750,50	€ 366,04	€ 208,47	€ 101,68
Totale kosten frame met kunststof	50	€ 13.429,71	€ 2.201,83	€ 959,27	€ 157,27	€ 266,46	€ 43,69
Totale kosten frame met hout	50	€ 11.478,31	€ 4.153,23	€ 819,88	€ 296,66	€ 227,74	€ 82,41
Totale kosten Deltawood trad.	20	€ 14.642,50	€ 989,05	€ 1.045,89	€ 70,65	€ 290,53	€ 19,62
Totale kosten Deltawood prefab	20	€ 10.341,24	€ 5.290,30	€ 738,66	€ 377,88	€ 205,18	€ 104,97
Totale kosten prefab beton, kale plaat	50	€ 9.650,57	€ 5.980,97	€ 689,33	€ 427,21	€ 191,48	€ 118,67
Totale kosten beton met houten gording	50	€ 12.579,75	€ 3.051,79	€ 898,55	€ 217,99	€ 249,60	€ 60,55

Tabel 30 Kostenraming alternatieven voor treden

6.5.3. Life Cycle Costing (LCC)

LCC staat voor Life Cycle Costing (levenscycluskostenberekening), dit is een methode om de kosten van een product over de hele levenscyclus te berekenen. De kosten zijn berekend met de tool van SMART PPT. Met de tool zijn de kosten van de verschillende alternatieven van de damwand over een planningshorizon van 25 jaar vergeleken. De LCC wordt berekend met de formule van de contante waarde:

$$\text{Netto contante waarde} = \frac{\text{Kosten}}{(1+i-j)^t}$$

Kosten = aankoopprijs, installatiekosten, onderhoudskosten, verwijderingskosten.

i = discontovoet, 2,5% volgens rijksoverheid.

j = inflatierente, 2% volgens de Nederlandse Bank.

t = tijdstip van cashflow

Voor de totale contante waarde worden de volgende waarden meegenomen: Netto Contante Waarde van alle aankoopkosten/periodieke investeringen, installatiekosten, werkingskosten, onderhoudskosten, overige kosten en restwaarden na 25 jaar. De inflatierente is bepaald op 2%, dit is het gemiddelde van de afgelopen paar jaar volgens de Nederlandse Bank.

De levensduur zit ook verwerkt in de LCC berekening, deze is van belang omdat niet alle producten 25 jaar mee gaan en dus eerder vervangen moeten worden. Er zijn ook producten die langer dan 25 jaar mee gaan of waarvan onderdelen moeten worden vervangen. De kosten van het vervangen worden dan nog een keer meegenomen. In Tabel 31 hieronder zijn de levensduur in jaren, de netto contante waarde na 25 jaar, per eenheid en per meter te zien.

	Levensduur, jaren	Netto contante waarde na 25 jaar	Kosten/trede na 25 jaar	Kosten/m na 25 jaar
Traditioneel	20	30.195,74	2.156,84	599,12
Prefab	20	20.433,29	1.459,52	405,42
Frame met kunststof	50	13.429,71	959,27	266,46
Frame met hout	50	13.517,96	965,57	268,21
Deltawood trad.	20	28.340,03	2.024,29	562,30
Deltawood prefab	20	20.145,86	1.438,99	399,72
Prefab beton	50	9.650,57	689,33	191,48
Beton houten gording	50	16.030,79	1.145,06	318,07

Tabel 31 LCC

De prefab betonnen plaat is het goedkoopst, dit komt ook omdat deze een levensduur heeft van 50 jaar en een lage aanschafprijs heeft. De betonnen plaat kost nog geen derde ten opzichte van de traditionele methode. Ook het frame waarin een kunststof of houten plaat is gemonteerd gaat 50

jaar mee, de houten plaat moet dan wel om de 20 jaar vervangen worden. De kunststof plaat gaat 50 jaar mee, wellicht zelfs langer. Er is geen rekening gehouden met het eventueel omleiden van water. De betonnen plaat met houten gording is duurder omdat het hout maar een levensduur van 20 jaar heeft en het hout dus eerder moet worden vervangen. De prefab houten en Deltawood damwand zorgen, ondanks dezelfde levensduur van 20 jaar, voor een besparing van ruim 30% ten opzichte van de traditionele methode. Uit de LCC berekening blijkt dat de prefab methode goedkoper is dan traditionele methode. De duurzamere producten zoals beton en kunststof leveren ook een besparing op omdat deze een langere levensduur hebben en eenvoudiger te plaatsen zijn.

6.5.4. CO₂-uitstoot

In Tabel 32 hiernaast is de besparing van de alternatieve methoden op CO₂-uitstoot ten opzichte van de traditionele methode te zien. Bij de alternatieven met het frame worden de grootste besparingen gehaald. Dit wordt veroorzaakt doordat de werkzaamheden sneller gaan. Ook bij de alternatieven met de betonnen plaat en de Deltawood prefab worden grote besparingen gehaald, deze zijn echter maar iets meer dan de prefab damwanden. De Deltawood op de traditionele manier plaatsen levert de kleinste besparing op omdat hier de werkzaamheden niet veel sneller gaan dan op de traditionele manier.

	kg CO ₂	Besparing	CO ₂ /m
Traditioneel	4.449,72	0,00	0,00
Prefab	1.500,45	2.949,27	58,52
Frame met kunststof	606,66	3.843,07	76,25
Frame met hout	493,86	3.955,86	78,49
Deltawood trad.	3.785,32	664,40	13,18
Deltawood prefab	1.443,56	3.006,16	59,65
Prefab beton	1.268,33	3.181,40	63,12
Beton houten gording	1.324,37	3.125,35	62,01

Tabel 32 CO₂-uitstoot alternatieve methoden

6.6. Conclusie

Zoals de voorgaande onderwerpen aangeven leveren de nieuwe constructies besparingen op in kosten, uren, LCC en CO₂-uitstoot ten opzichte van de traditionele werkwijze. De Deltawood varianten komen qua kosten en CO₂-uitstoot het dichtst bij de Azobé damwand, omdat dit enkel een ander product is maar wel dezelfde werkwijze en levensduur heeft. Het voordeel van dit product is dat er geen tropisch hardhout gebruikt hoeft te worden, maar wel dezelfde eigenschappen heeft. Wanneer over een periode van 25 jaar wordt gekeken, is te zien dat het stalen frame en de prefab betonplaat alternatieven aanzienlijk goedkoper zijn. Dit is doordat deze producten een levensduur hebben van 50 jaar waardoor ze na 20 jaar (zoals Azobé hout en Deltawood) niet vervangen hoeven te worden. De LCC is met het toegepaste programma maximaal tot een periode van 25 jaar te bepalen, zie Tabel 31. Als deze periode verlengd wordt tot 50 jaar, blijkt dat deze alternatieven in beheer en onderhoud nog meer kosten besparen. De alternatieven zijn ook milieuvriendelijker omdat er bij het plaatsen minder CO₂ wordt uitgestoten.

7. Conclusies en aanbeveling

7.1. Conclusies

Door middel van ingraven van de prefab overlaat of treden van de vispassage kunnen grote besparingen in de uren, kosten en CO₂-uitstoot behaald worden. Ondanks de andere werkwijze is het bij het onderzochte project “herinrichting Markgraven, deeltraject Hunzerhoek”, perfect mogelijk om aan de gestelde eisen te voldoen waarbij de kwaliteit gewaarborgd blijft. Verdere verbeteringen (in duurzaamheid en levensduur) en besparingen kunnen teweeg gebracht worden door het toepassen van de ontworpen alternatieven voor de treden van de vispassage.

De alternatieven voor de oeverbescherming in prefab onderdelen of op een andere manier uitvoeren, levert met de huidige producten nog geen besparingen/voordelen op. Uit de berekening van de arbeidsintensiteit blijkt dat het noodzakelijk is om de verwerking van breukstenen in de oeverbescherming op een andere, minder intensieve manier, aan te brengen. Het is wel degelijk mogelijk om de oeverbescherming op een andere manier uit te voeren, maar met de huidige prijzen van de producten niet rendabel. Daarom dient nader onderzoek en aandacht hieraan besteed te worden.

In de bestekken van de “herinrichting Markgraven, deeltraject Hunzerhoek” en de “herinrichting van de Saasvelder-, Lemseler- en Gammelkerbeek (fase 2)” blijkt dat voornamelijk houten damwanden gebruikt worden voor de vaste overlaten en de treden van de vispassage. De oeverbescherming is opgebouwd uit vezelbeton en/of lijm mortel met Ibbenburen breuksteen. De damplanken worden op de traditionele manier door middel van een hydraulische graafmachine (HGM) met trilblok in de grond getrild en de oeverbescherming wordt met een HGM en met de hand aangebracht. Bij de innovatieve (prefab) methode is de houten damwand ten behoeve van een opsluiting voor de oeverbescherming als een prefab plaat ingegraven.

Uit de interviews blijkt dat er veel verschillen zijn. Zowel in materiaalgebruik, maar ook de sterkte (dimensionering) van de constructies is verschillend tussen de waterschappen. Zowel de adviesbureaus en waterschappen geven aan dat ze geen standaard eisen of randvoorwaarden hebben voor de constructies, bij elk project is de situatie anders. Er wordt per project een programma van eisen opgesteld, waaraan moet worden voldaan. De meeste waterschappen geven aan interesse te hebben voor innovatieve ideeën mits deze goed onderbouwd, prijstechnisch voordelig en/of reeds bewezen zijn in een ander project.

Het bezwijken van de damwand, het zetten van de ondergrond en het onderloops worden van de constructie zijn mogelijke faalmechanismen. Deze zijn respectievelijk getest voor de vispassage bij het project “herinrichting Markgraven, deeltraject Hunzerhoek” met de programma’s D-Sheet Piling, D-Settlement en de Formule van Lane. Deze berekening zijn uitgevoerd in een situatie met geroerde grond (door het ingraven) en met vaste grond (damplanken trillen). Uit de resultaten blijkt dat de geroerde grond geen effect heeft op het bezwijken (kantelen, breken of buigen) van de damwand. Door de belasting van de oeverbescherming zal de geroerde grond ter plaatse van de bodem 6 mm meer zakken dan vaste grond. Uit de berekeningen voor de onderloopsheid blijkt dat dit niet plaats zal vinden bij zowel met en zonder damplanken (als kwelscherm) in de grond. Doordat aan deze drie aspecten voldaan wordt, blijft de kwaliteit gewaarborgd.

Door het gebrek aan eenvoudiger te plaatsen producten/materialen, is een verandering van de werkwijze voor het prefab aanbrengen van de oeverbescherming vrij lastig. De mogelijkheden die er zijn, zijn veel duurder dan de traditionele werkwijze. Daarnaast zijn de varianten niet echt vergelijkbaar met de huidige oeverbescherming doordat de kwaliteiten en/of de uitstraling van de producten totaal anders zijn. Ondanks dat de varianten veel duurder zijn, zijn deze wel beter en gezonder voor de werknemers. Hierbij is de arbeidsintensiteit een stuk lager dan wanneer de breukstenen met de hand verwerkt moet worden.

Het prefab plaatsen van de houten damwand een brengt besparing in kosten, uren, CO₂-uitstoot met zich mee. In Tabel 33 is af te lezen hoeveel er percentueel bespaard wordt voor het aanbrengen van alle damwanden (treden) van de vispassage, inclusief de

Damwanden	Traditioneel	Prefab	Besparing (%)
Manuren	173,8	100,8	42,00
Kraan uren	56	22,4	60,00
Bemalingsuren	356,6	67,2	81,16
Kosten (euro)	15.631,54	10.507,00	32,78
CO ₂ -uitstoot (kg)	4449,72	1500,45	66,28

Tabel 33 Besparingen damwanden

gebruikte producten. Er zijn 14 treden die elk een lengte van 3,6 meter hebben. Doordat de uren van de machines aanzienlijk minder zijn, is de totale CO₂-uitstoot ook minder. De alternatieven voor de oeverbescherming leveren geen besparingen op in kosten, uren en CO₂-uitstoot. De arbeidsintensiteit is wel minder omdat er niet meer zwaar getild hoeft te worden.

Naast de traditionele manier van plaatsen zijn er drie alternatieven voor de damwanden bedacht waarvan elk alternatief twee varianten heeft. Deze alternatieven zijn gebaseerd op de opmerkingen van waterschappen en toegepast uit andere (duurzamere) materialen dan de houten damplanken. De kosten van deze alternatieven zijn lager dan de traditionele methode en de meesten gaan veel langer mee. Er is een alternatief die bestaat uit een verzinkt stalen frame met een vervangbare houten of kunststof damwand. Ook komt een hout-kunststofcomposiet alternatief voor, deze is vergelijkbaar met de Azobé damplanken, maar deze planken bestaan uit gerecyclede producten. Hiervoor hoeven dus geen tropische bomen gekapt te worden. Het laatste alternatief is een prefab betonplaat met een sparing in v-vorm. Deze plaat kan kaal zijn of een houten gording en dekplank hebben.

7.2. Aanbevelingen

Uit de arbeidsintensiteit blijkt dat het gemiddelde gewicht van de breuksteen hoger is dan tweemaal het maximaal tilgewicht. Het handmatig aanbrengen van de breuksteen is dus eigenlijk arbotechnisch niet toegestaan. Er zouden lichtere breukstenen zoals lavasteen toegepast kunnen worden. Deze liggen vast in de lijm mortel en kunnen niet gaan rollen. Door gebruik te maken van lavasteen zijn de bedachte prefab constructies voor oeverbescherming overbodig om volgens de Arb wet te werken. In de NEN-EN 13383 staan de eigenschappen en eisen voor de breukstenen beschreven. Hier was echter geen toegang tot waardoor niet onderzocht kon worden of lavasteen een mogelijk alternatief is voor de zware breukstenen. Het kan nog verder onderzocht worden of dit product daarvoor geschikt is.

Er zou een pilotproject uitgevoerd kunnen worden wanneer waterschappen twijfelen over de alternatieven of het prefab plaatsen. Hierbij zou Negam een garantie kunnen geven aan het waterschap waardoor het eenvoudiger is om het waterschap te overtuigen. Als dit pilotproject een succes is, kan dit als voorbeeld gebruikt worden voor andere projecten.

Bronvermelding

Hieronder staan de bronnen vermeld die voor dit rapport gebruikt zijn.

Geraadpleegde literatuur

Bestek Herinrichting Markgraven, deeltraject Hunzerhoek

Besteksnummer 1-2013 (Arcadis 5992)

R. Jansen en R. Rodijk, Arcadis

05-02-2013

Bestek Herinrichting Saasvelderbeek, Lemselerbeek en Gammelekerbeek (fase 2)

Besteksnummer 5906

B.J. Wesselink, Arcadis

13-07-2012

CROW

Standaard RAW Bepalingen 2010

2010

Nederlands Normalisatie-instituut

NEN 6740

2006

Nederlands Normalisatie-instituut

NEN-EN 12063

Maart 1999

Sterkteberekening Deltawood 76 damwandprofiel

R. Leenman, Oranjewoud

26-04-2011

Stichting CUR

CUR 166 Damwandconstructies 4^e druk

Oktober 2005

Geraadpleegde websites

14-02-2014 Productblad Geolon

http://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.tencate.com%2Fnl%2Ffemea%2Fimages%2Fgeolon%2520pe%2520%2520nl_tcm26-7760.pdf&ei=vcAFU_28BYuAywOrpoKgDQ&usg=AFQjCNElGp43fDaSJNRr7VhrWHiHCte4WQ&sig2=Td1jZaSo-O2bYZ4W78pliQ&bvm=bv.61725948,d.bGQ

17-02-2014

www.houtinfo.nl

www.fsc.nl

<http://www.houtwijzer.nl/Houtwijzer/>

<http://www.houtenpalen.eu/pages/duurzaamheid>

18-02-2014

<http://nl.wikipedia.org/wiki/RAW-bestekssystematiek>

19-02-2014 Productblad S21_2_2

<http://extranet.copro.eu/nl/Sheets?SearchString=S21&Language=&CertificationType=&QuickCode=&CertHolder=&ProductSectorID=122610&Status=2&CertNr=&Location=&ProductTypeID=100006&SubproductID=101048&EnablePaging=True>

20-02-2014 Tabel levensduur thermisch verzinken

http://www.buyten.nl/index.php?option=com_content&view=article&id=15&Itemid=15

21-02-2014

<http://www.cementenbeton.nl/m/1238-milieuklasse>

20-03-2014

<http://www.houtdatabase.nl/?q=hout/gww/9/mechanisch>

01-04-2014 Emissiefactoren

<http://www.emissieberekenen.nl/filelib/file/Overzicht-emissiefactoren-v3.pdf>

11-04-2014 Bereken van het maximaal tilgewicht

<http://www.arbobondgenoten.nl/arbothem/lichblst/lifttest.htm>

22-04-2014

<http://www.pianoo.nl/document/8725/total-cost-of-ownership-lcc-co2-tool>

<http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2012/10/30/advies-discontovoet-life-cycle-cost-analyses.html>

<http://www.dnb.nl/rente-en-inflatie/algemeen/index.jsp#>

25-04-2014

<http://www.proga.nl/page/PP-Eigenschappen.htm>

<http://www.proga.nl/page/HDPE-Eigenschappen.htm>

Geraadpleegde programma's

Microsoft

- Word 2010
- Excel 2010
- PowerPoint 2010

Deltares

- D-Settlement Version 9.3
- D-Sheet Piling Version 9.2

Bijlagen

Bijlage 1 Specificatie materiaalgebruik

Hout

Duurzaamheidsklasse

De houtsoorten zijn onder te verdelen in vijf duurzaamheidsklassen. Klasse 1 is zeer duurzaam en klasse 5 is niet duurzaam, zie Tabel 34 hieronder. De duurzaamheidsklasse houdt in hoe lang een houtsoort meegaat, dat wil zeggen wat de verwachte levensduur van het hout is. Het hout wat ingedeeld is in klasse een heeft een levensduur van minimaal 25 jaar, zie Tabel 35. Het hout van klasse vijf gaat hooguit vijf jaar mee. Azobé, een houtsoort welke is ingedeeld in klasse 1, wordt veel voorgeschreven voor stuwten en vispassages. Azobé is een tropische hardhoutsoort en wordt gekapt in Tropisch West-Afrika. Europees Eiken wordt gekapt in Europa en Klein-Azië en is ingedeeld in duurzaamheidsklasse twee. Dit betekent dat Europees Eiken een levensduur heeft van 15 tot 25 jaar.

Klasse	Duurzaamheid	Levensduur (Jaar)
1	Zeer duurzaam	25 +
2	Duurzaam	15 - 25
3	Matig duurzaam	10 - 15
4	Weinig duurzaam	5 - 10
5	Niet duurzaam	0 - 5

Tabel 34 Duurzaamheidsklasse houtsoorten volgens EN 350-2

Klasse	Loofhout	Naaldhout
I	Afzelia, Azobé (in watercontact), Bilinga, Demerara Groenhart, Jarrah, Mansonia, Moabi, Okan, Padoek, Pau Amarelo, Teak, Walaba, Cloeziana	
I/II	Afrormosia, Iroko, Kapur, Merbau, Robinia	
II	Azobé, Bangkirai, Basralocus, Bossé, Bubinga, Cedrela, Europees Eiken, Karri, Kastanje, Kempas, Louro Vermelho, Mahonie, Sepetir, Wengé	Taxus, Western Red Cedar
II/III	Amerikaans wit Eiken, Kosipo, Purperhart, Sipo, Tola Branca, Donkerrode Meranti (Dark Red Meranti)	
III	Cedrorana, Danta, Keruing, Movingui, Mutenye, Niangon, Noten, Sapeli, Tiama	Douglas Fir, Pitch Pine
III/IV	Dibétou, Krappa, Lichtrode Meranti (Light Red Meranti), Red Balau	Agathis, Grenen, Lodgepole Pine
IV	Amerikaans rood Eiken, Avodiré, Eyong, Hickory, Iepen, Limba, Mengkulang, Okoumé	Amerikaans Grenen, Carolina Pine, Dennen, Hemlock, Southern Pine, Vuren, Weymouth
IV/V	Ogea	Parana Pine, Radiata Pine, Sitka Spruce
V	Abachi, Abura, Baboen, Berken, Europees Beuken, Essen, Elzen, Esdoorn, Haagbeuken, Fuma, Ilomba, Koto, Linden, Populieren, Ramin	Sugi

Tabel 35 Houtsoorten per duurzaamheidsklasse

(Bron: <http://www.houtenpalen.eu/pages/duurzaamheid>)

FSC-keurmerk

Het hout dat gebruikt wordt moet naast een duurzaamheidsklasse ook nog een FSC keurmerk hebben. FSC staat voor Forest Stewardship Council. Een FSC keurmerk houdt in dat grondstoffen voor

producten zoals hout en papier afkomstig zijn uit verantwoord beheerde bossen. Het bos waar het hout vandaan komt heeft een FSC-certificaat. Om het FSC-certificaat te krijgen moet aan bepaalde voorwaarden worden voldaan zoals onder andere het beschermen en in stand houden van de biodiversiteit van het bos. Ook het sociaal en economisch welzijn van bosarbeiders en lokale gemeenschappen moet in stand worden gehouden of verbeterd worden. Er moet ook rekening worden gehouden met nationale en internationale wetgeving, aan internationale verdragen en afspraken en aan de principes en criteria van FSC. (Bron: www.fsc.nl)

Geolon PE 180

Het Geolon geotextiel PE 180 wordt gebruikt onder de betonconstructie bij overlaten en vispassages. Het geotextiel zorgt voor een scheiding tussen de grond en het beton. Ook zorgt het geotextiel voor stabiliteit. Het geotextiel is waterdoorlatend, maar wel zanddicht met een openingsgrootte O_{90} van 170 micrometer. De EN ISO normen en de waarden van het geotextiel zoals de treksterkte, de rek bij nominale treksterkte, de statische doorpingssterkte (CBR) en de dynamische perforatiebestendigheid staan in Afbeelding 16 weergegeven. De rek en treksterkte kent twee krachten, de MD en CD. MD staat voor Machine Direction, dit betekent welke kracht het geotextiel kan opnemen in de langsrichting. CD staat voor Cross Direction, dit betekent hoeveel kracht het geotextiel kan opnemen in de dwarsrichting.

Eigenschappen	(Norm)	Eenheid	PE 180
Hydraulische eigenschappen			
Waterdoorlatendheid loodrecht op het vlak		l/m ² s (mm/s)	30
(EN ISO 11058 - dh = 50 mm)			
Openingsgrootte O ₉₀		micron	170
(EN ISO 12956)			
Mechanische eigenschappen			
Treksterkte	MD	kN/m	40
(EN ISO 10319)	CD	kN/m	50
Rek bij nominale treksterkte	MD	%	24
(EN ISO 10319)	CD	%	24
Statische doorpingssterkte (CBR)		kN	5
(EN ISO 12236)			
Dynamische perforatiebestendigheid (kegelval)		mm	9
(EN ISO 13433)			

Afbeelding 16 Productspecificaties Geolon PE 180

Thermisch verzinkt

Thermisch verzinkt is een proces wat ervoor zorgt dat staal is beschermd tegen corrosie. Er wordt een zinklaag op het materiaal aangebracht. Doordat het staal verzinkt is heeft het nu een beschermende laag die beschermd tegen corrosie. Corrosie zorgt ervoor dat het staal wordt aangetast en dat de constructie sneller kan falen.

Beton

Het beton moet aan verschillende eisen voldoen. De sterkteklasse van het beton is C20/25, de C staat voor concrete. Het eerste getal staat voor karakteristieke cilinderdruksterkte en het tweede getal voor karakteristieke kubusdruksterkte. De getallen zijn gemeten in megapascal (MPa). De sterkteklasse geeft dus aan met twee parameters hoe sterk het beton is. De milieuklasse geeft aan in welk milieu het beton gestort wordt en waardoor het beton wordt aangetast. De klassen zijn carbonatatatie, chloriden, zeewater, vorst, chemisch en mechanisch, zie Tabel 36 hieronder. De milieuklassen zijn opgedeeld in drie of vier subklassen. Tussen de haakjes staat de maximale scheurwijdte vermeld in mm. De cementklasse geeft aan welk type cement er gebruikt moet worden. Er zijn vijf cementklassen met een kleiner of groter gehalte aan portlandcement of hoogovencement. De consistentieklasse betekend hoe vloeibaar de beton moet zijn voor het verwerken. De klassen zijn

ingedeeld van droog tot zeer vloeibaar. Als beton op een talud gestort wordt dan moet het beton niet te nat zijn. Als het beton te nat is dan zakt het onderuit. (Bron: <http://www.cementenbeton.nl/m/1238-milieuklasse>)

Milieuklasse	Omschrijving	Subklasse	Conditie
X0	Geen aantasting	(0,40)	
XC	Carbonatatatie	XC1 (0,40)	Droog of blijvend nat
		XC2 (0,30)	Nat, zelden droog
		XC3 (0,30)	Matig vochtig
		XC4 (0,30)	Wisselend nat en droog
XD	Chloriden, zoals dooizouten	XD1 (0,20)	Matig vochtig
		XD2 (0,20)	Nat, zelden droog
		XD3 (0,20)	Wisselend nat en droog
XS	Chloriden, uit zeewater	XS1 (0,20)	Blootgesteld aan zouten, indirect contact zeewater
		XS2 (0,20)	Blijvend onder water
		XS3 (0,20)	Getijdenzone, spat- en stuifzone
XF	Vorst, dooiwisselingen	XF1 (0,30)	Deels verzadigd met water, zonder dooizouten
		XF2 (0,20)	Deels verzadigd met water, met dooizouten
		XF3 (0,30)	Verzadigd met water, zonder dooizouten
		XF4 (0,20)	Verzadigd met water, met dooizouten
XA	Chemische aantasting	XA1 (0,20)	Zwak agressieve chemische stoffen
		XA2 (0,20)	Matig agressieve chemische stoffen
		XA3 (0,20)	Sterk agressieve chemische stoffen
XM	Mechanische aantasting		

Tabel 36 Milieuklasse beton

Lijmmortel

Lijmmortel is een mengsel van vliegashuis, zand, portlandcement en water. Vliegashuis wordt geproduceerd als restproduct bij de verbranding van steenkool. Het vliegashuis zit in de rookgassen en wordt afgevangen en gebruikt in cement, beton, straatklinkers en asfalt. Vliegashuis zorgt voor de verdichting van de structuur van beton. Portlandcement is een fijngemalen cementklinker.

Zanddicht filterdoek type S21

In bestek 1-2013 wordt het zanddicht filterdoek (geotextiel), type S21 (leverancier Pelt en Hooykaas of gelijkwaardig), voorgeschreven. Dit geotextiel zorgt voor de scheiding tussen zand en beton. In Afbeelding 17 is af te lezen welke eigenschappen type S21 heeft. De technische waarden voldoen aan dezelfde NEN normen als de Geolon PE 180.

GECERTIFICEERDE EIGENSCHAPPEN					
IDENTIFICATIE EIGENSCHAPPEN	PROEFNORM	EENHEID	WAARDE	MIN	MAX
Samenstelling			P.P.	-	-
Oppervlaktogewicht	EN ISO 9864	g/m ²	***	***	***
Dikte bij 2 kPa	EN ISO 9863-1	mm	***	***	***
MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN	PROEFNORM	EENHEID	WAARDE	MIN	MAX
Treksterkte	EN ISO 10319		-	-	-
Langsrichting (MD)		kN/m	6,00	5,22	-
Dwarsrichting (CMD)		kN/m	6,00	5,22	-
Rok bij maximale belasting	EN ISO 10319		-	-	-
Langsrichting (MD)		%	80,0	64,0	98,4
Dwarsrichting (CMD)		%	70,0	56,0	86,1
Statische ponsweerstand (CBR)	EN ISO 12236	kN	1,05	0,84	-
Dynamische perforatieweerstand (cone-drop)	EN ISO 13433	mm	34	-	43
Zanddoorlaatbaarheid (O90)	EN ISO 12956	µm	105	73	137
Waterdoorlaatbaarheid (loodrecht op het vlak)	EN ISO 11058	l/m ² s (=10 ⁻³ .m/s)	100	70	-
DUURZAAMHEID	VOLGENS	EENHEID	WAARDE	MIN	MAX
Levensduur (grond: < 25 °C en 4 < pH < 9)	Annex B toepassingsnorm	jaren	-	5	-
Maximale blootstellingsduur	Annex B toepassingsnorm	dagen/ weken / maand	-	-	2 weken
EXTRA EIGENSCHAPPEN	VOLGENS	EENHEID	WAARDE	MIN	MAX

De eigenschappen waarvoor een waarde *** is weergegeven dienen opgevraagd te worden bij de certificaathouder.

Afbeelding 17 Productspecificatie type S21

Bijlage 2 CUR 166 Damwandconstructies

Normen, richtlijnen en aanbevelingen

In Nederland zijn er ontzettend veel normen. Een project bestaat uit verschillende aspecten zoals Algemeen, Onderzoek, Ontwerp en Uitvoering. Deze aspecten worden opgesteld op basis van verscheidene normen, waaraan voldaan moet worden. De meest relevante normen en richtlijnen uit Nederland in verband met damwandconstructies zijn:

- R.O.B.K. Richtlijnen voor het ontwerpen van betonnen kunstwerken, versie 5; Rijkswaterstaat Bouwdienst.
- Houten damwanden en meerpalen (CHR-brochure 78-1).
- Ontwerpvoorschriften Kunstwerken (OVS00030), ProRail, Loket Basisgegevens.
- Richtlijn voor de uitvoering en berekening van hulpwerken in de baan (RLN00164), ProRail, Loket Basisgegevens.

Falen van de damwandconstructie

Als het falen van een damwandconstructie wordt gezien het niet meer vervullen van ten minste één van de volgende hoofdfuncties:

- Het keren van grond of water;
- Het dragen van belasting;
- Het beschermen tegen erosie, grondwaterstroming of het geleiden van stroming.

Bij dit onderzoek geldt vooral het keren van water en de bescherming van oevers tegen erosie.

Veiligheidsniveaus

Het falen van een damwand kan worden veroorzaakt door de volgende mechanismen:

- Stabiliteitsverlies van de hoofdwand door overschrijding van de maximale passieve grondweerstand, vloeit van de plank en breuk van stempel/anker;
- Falen van het stempel/ankersysteem, waaronder de Kranz-instabiliteit;
- Grondbreuk;
- Verlies van de totale stabiliteit;
- Overschrijding van het vervormingscriterium

Er is een klasse-indeling afgeleid (op grond van een ijking naar de faalkans van een damwand) voor de bovenstaande mechanismen van een damwandconstructie. De volgende klassen zijn er:

Klasse I: Relatief eenvoudige constructies, geen persoonlijke veiligheidsrisico's bij falen, relatief geringe schade bij falen, bijvoorbeeld een beschoeiing.

Klasse II: Aanzienlijke schade bij falen; geringe persoonlijke veiligheidsrisico's, bijvoorbeeld een bouwput, een damwand langs een binnenwater en een kadewand van een binnenhaven.

Klasse III: Grote schade bij falen en/of aanzienlijke persoonlijke veiligheidsrisico's, bijzondere constructies zoals dijkversterkingen en kaden van zeehavens.

Als een damwand uitsluitend of nagenoeg uitsluitend , water of een andere vloeistof keert, valt deze overeenkomstig NEN 6702, niet in de categorie geotechnische constructies als het gaat om de bepaling van de belastingen.

Kwaliteitsborging

Met behulp van de internationale en nationale normen uit de serie NEN-EN-ISO 9000 kan er een algemeen kwaliteitsborgingssysteem voor ontwerp en ontwikkeling, productie, installatie en onderhoud toegepast worden. Er wordt veel gewerkt onder toepassing van een kwaliteitssysteem (QA Quality Assurance), maar er is pas een kwaliteitsborging als het kwaliteitssysteem wordt gehandhaafd en de doeltreffendheid van het systeem wordt bewaakt.

Kwaliteitsborging tussen opdrachtgever-ontwerper

De wensen en eisen van de opdrachtgever moeten duidelijk zijn voor de ontwerper zodat dit vertaald kan worden in goede technische en eventueel financiële specificaties die gebruikt kunnen worden door de ontwerpers en calculators.

In het ontwerpproces worden verschillende punten behandeld. Het is van groot belang dat op deze punten controle en toetsingen plaatsvinden om de kwaliteit te waarborgen. Deze controles en toetsingen dienen te worden gedocumenteerd.

Kwaliteitsborging tussen opdrachtgever-aannemer

Meestal zal het borgen bij een damwand niet verder gaan dan het op basis van het kwaliteitsactiviteitenplan borgen van de kwaliteit van de uitvoering volgens het bestek en de bouwtekeningen, gerealiseerd door de ontwerper. De aannemer staat borg voor de constructie van de damwanden door middel van de door hem ter beschikking staande deskundigheid volgens de vastgestelde procedures. De aannemer dient betrokken te worden bij de beoordeling van de uitvoeringstechnische aspecten van het damwandontwerp. Hierdoor kan vastgesteld worden of de damwand zonder risico's ten aanzien van de kwaliteit ingebracht kan worden. Wanneer de aannemer zelf het ontwerp voor de damwandconstructie maakt of laat maken, strekt zijn borging zich uit tot de kwaliteit van het ontwerp.

In de uitvoering van een damwandwerk gelden in principe de beginselen van NEN-ISO 9001 voor de kwaliteitsborging. Er moet dus duidelijk aangegeven worden wat, hoe, wanneer, door wie er iets zal worden gedaan. Ook de momenten van toetsing en controles dienen vermeld te worden.

Doordat het lastig waar te nemen is wat er in de bodem plaatsvindt bij het inbrengen van damwandprofielen, is de controlemogelijkheid beperkt. Voor de uitvoering van damwandenwerken dient volgens de NEN-EN 12063 gewerkt te worden.

Kwaliteitsborging van damwandprofielen en andere materialen

De levering van de benodigde producten valt vaak onder de aannemer. De aannemer dient dan ook ervoor te zorgen dat de leveranciers de geëiste certificaten bezitten voor de benodigde producten. Het product dient dus door de leverancier getoetst te worden aan de standardeisen en hieraan goed bevonden worden. In het belang van de kwaliteitsborging zal de aannemer zich er van moeten vergewissen of de leverancier de voor het afgeven van de certificaten vastgestelde regels ook is nagekomen.

Bijlage 3 Standaard RAW bepalingen 2005/2010

Algemene informatie

RAW staat voor Rationalisering en automatisering Grond-, Water-, en Wegenbouw, dit vormt de basis voor het maken van bestekken volgens een gestandaardiseerde, uniforme methode. De RAW is gebaseerd op het huidige aanbestedingsstelsel zoals vastgelegd in de aanbestedingsreglementen en gebruikt de Uniforme Administratieve Voorwaarden voor de uitvoering van werken (UAV 1989). De RAW gaat uit van de gelijkwaardigheid van contractpartners. Opdrachtgever en aannemer hebben ieder een eigen verantwoordelijkheid

In 1979 kwam de eerste uitgave van de RAW-systematiek. Sindsdien is er om de vijf jaar een vernieuwde versie van de Standaard RAW Bepalingen. De laatste versie dateert uit 2010. CROW zorgt voor het beheer en onderhoud van de RAW. Dit gebeurt in samenwerking met partijen uit de GWW-sector die regelmatig samenkomen in werkgroepverband. Nieuwe of verbeterde teksten worden voorgelegd aan de Juridische en Bestektechnische commissie, waarna de Raad voor het Infrabouwproces ze voorlopig vaststelt.

(bron: <http://nl.wikipedia.org/wiki/RAW-bestekssystematiek>)

Bij de inventarisatie van de reeds uitgevoerde bestekken 5906 en 1-2013 worden twee verschillende Standaard RAW Bepalingen gebruikt. Het bestek 5906 maakt gebruik van de Standaard RAW Bepalingen 2005, terwijl bestek 1-2013 de Standaard RAW Bepalingen 2010 toepast. Zoals eerder genoemd is de versie uit 2010 een aangepaste en vernieuwde versie van 2005. In dit hoofdstuk komen de relevante stukken van de versie uit 2010 aan bod, omdat deze het meest recent zijn.

Relevante hoofdstukken

Voor de reeds gerealiseerde bestekken zijn verschillende hoofdstukken uit de Standaard RAW bepalingen 2005 en 2010 van toepassing, deze staan hieronder vermeld.

- Hoofdstuk 41 Funderingsconstructies
 - Hoofdstuk 41.2 Damwanden
- Hoofdstuk 47 Technische bepalingen kleine kunstwerken en gemalen
 - Hoofdstuk 47.1 Kleppen, schuiven en stuwen
- Hoofdstuk 52 Kust- en oeverwerken
 - Hoofdstuk 52.0 Kust- en oeverwerken, algemeen
 - Hoofdstuk 52.5 Gebonden bekledingsconstructies

Ten behoeve van damwanden

In hoofdstuk 41.2 staat beschreven hoe damwanden geplaatst moeten worden, dit gaat voor het grootste gedeelte over de stalen en betonnen damwanden. Dit valt buiten het onderzoek, maar de algemene aspecten zijn wel van toepassing. Onder paragraaf 'Eisen en Uitvoering' en 'Informatie-Overdracht' wordt voor de damwandconstructies meerdere malen verwezen naar de NEN-EN 12063, deze norm is leidend voor damwanden. Specifiek voor houten damwanden staat enkel vermeld dat de voet afgeschuind moet worden en dat bijlage F uit de NEN-EN 12063 van toepassing is.

Ten behoeve van stuwen

Bij hoofdstuk 47.1 is enkel het onderdeel stuwen van toepassing, maar hier gaat het vooral om beweegbare stuwen (vandaar kleppen en schuiven) die bestaan uit geprefabriceerde beton elementen. Dit is niet volledig van toepassing bij de doorgenomen bestekken. Deze prefab elementen zouden wel van toepassing kunnen worden bij het onderzoek naar prefab te plaatsen stuwen of elementen.

Ten behoeve van oeverbescherming

Hoofdstuk 52 is relevant voor het onderdeel oeverbescherming. In het hoofdstuk 52.0 worden algemeenheden beschreven, waarin vooral de geotextielen aan bod komen. Onder geotextielen in de waterbouw worden kunststoffilters en biologisch afbreekbare geotextiel verstaan. Deze zijn onder te verdelen in weefsel, vlies en biologisch afbreekbaar geotextiel. Daarnaast worden ook structuurmatten en folies behandeld. In de Standaard RAW bepalingen staat onder de 'Eisen en Uitvoering' vooral beschreven hoe deze producten aangelegd moeten worden. In de 'Informatie-Overdracht' is vooral het bewijs van oorsprong belangrijk. Aan welke productspecificaties het product moet voldoen staat onder 'Bouwstoffen' beschreven. Dit hoofdstuk is van belang omdat in de doorgenomen bestekken overal geotextielen voorgeschreven staan.

Hoofdstuk 52.5 beschrijft de gebonden bekledingsconstructies. Dit is van toepassing voor de bodem- en taludbekleding in de doorgenomen bestekken. Hierin worden breukstenen in lijm mortel geplaatst en bij sommige constructies zit er ook beton onder de lijm mortel. In de Standaard RAW Bepalingen staat een bitumineus gebonden toepassing en het colloïdaal beton beschreven. Bij dit onderzoek is enkel het colloïdaal beton van toepassing, daarin is nog verschil tussen colloïdaal beton met gesloten structuur en colloïdaal beton met open structuur.

In het RAW staat beschreven aan welke eisen de producten moeten voldoen, het aanbrengen ervan in verschillende omstandigheden (temperaturen en toepassingen). Daarnaast staat duidelijk vermeld waaraan de keuringsrapporten, gegevens van de betonspecie en het stortplan moet voldoen. Verder staan de verplichtingen zoals onderzoeken, proefkubussen, het boren van cilinders in de 'Bijbehorende verplichtingen' vermeld. Onder 'Bouwstoffen' staat beschreven welke producten in het beton verwerkt zijn en aan welke sterktes het beton moet voldoen. Tenslotte staan de 'meet- en verrekenmethoden' nog beschreven.

Bijlage 4 NEN-EN 12063

4.1 Informatie die nodig is voor het plaatsen van een damwand.

De locatie van de bouwplaats moet op kaart worden aangegeven, inclusief toegangswegen en mogelijke hindernissen. Voor het plaatsen van damwand moet een geotechnisch onderzoek plaats vinden. De sterkte- en vervormingseigenschappen van de grond- en rotslagen moeten beschikbaar zijn. Ook moet bekend zijn waar kabels en leidingen liggen (klikmelding). Geohydrologische gegevens, samenstelling, gelaagdheid en de variatie daarin zijn ook van belang. Ook mogelijke aanwezigheid van stenen en grote keien in de grond moet bekend zijn. De bereikbaarheid van de bouwplaats en de aanwezigheid van gevoelige gebouwen of installaties moet worden aangegeven. Uiteraard moeten de specificaties van de damwand worden aangegeven. De beperking op lawaai, trillingen, de inbrengmethode, hulp bij het inbrengen en de doorlaatbaarheid van de damwand moeten worden opgesteld. De stadia van de uitvoering vereist in het ontwerp van de damwandconstructie moet worden vermeldt. Een mogelijke verontreiniging van de grond moet worden vermeldt.

4.2.1 Voor de aanvang van het werk moet de volgende bijzondere informatie beschikbaar zijn.

De beperkingen met betrekking tot de aanwezigheid van grondankers, cathodische beschermingsmiddelen en dergelijke op of nabij de bouwplaats moeten bekend zijn. De historie van de bouwplaats moet ook beschikbaar zijn, dat houdt in funderingsresten of andere kunstmatige elementen.

4.2.2 Voor de aanvang van het werk moeten de volgende zaken beschikbaar zijn.

Alle bijzondere aspecten, specifiek voor het project zoals corrosie en afslijtingproblemen. Vergelijkbare ervaringen met andere werken in de omgeving of van soortgelijke werken uitgevoerd onder overeenkomstige omstandigheden. De gesteldheid van nabije gebouwen, constructies of installaties en de aard en diepte van de fundering daarvan. Gegevens over ongunstige weersomstandigheden bijvoorbeeld wind en de frequentie daarvan. Ernstige vorstwerking in de grond, daar waar dit kan leiden tot te hoge spanningen in de damwand.

6.2 Houten damwandplanken

Permanente houten damwandconstructies in waterhoudende grond moeten van een hoge duurzaamheidsklasse zijn zoals tropisch hardhout en geïmpregneerd naaldhout.

8.5 Inbrengen van damwandplanken

De inbrengmethode, het materieel en de hulpmiddelen moeten worden gekozen op basis van vergelijkbare ervaring en moeten passen bij het doorsnee ontwerp.

Als vergelijkbare ervaring niet beschikbaar is of onvoldoende wordt geacht, behoren heiproeven of een wiskundige berekening van het heiproces te worden toegepast, teneinde de juiste inbrengmethode uit te kiezen.

Er behoort te worden getoetst, hetzij door proeven of door berekeningen, dat de gekozen inbrengmethode geen schade veroorzaakt aan de aangrenzende gebouwen en installaties.

Spuiten, voorboren en gebruik van springladingen, toegepast als hulp bij het inbrengen, moeten op zodanige wijze worden uitgevoerd dat de schade aan nabijgelegen gebouwen, installaties en voorzieningen en aan het werk zelf waarschijnlijk niet zal optreden.

Er moet een passende inbrengmethode worden gekozen, die waarborgt dat de eisen van het ontwerp, met betrekking tot de toleranties van de damwand na het inbrengen, zullen worden gehaald.

Damwandplanken behoren tijdens het inbrengen te worden geleid op een of meerdere niveaus.

Geleideframes behoren stabiel en robuust te zijn, en geplaatst op dusdanige niveaus dat de horizontale en verticale oplijning van de planken tijdens het inbrengen worden gewaarborgd. Het geleidingssysteem behoort zo te zijn ontworpen dat schade aan de coating op de damwandplanken wordt vermeden.

8.6 Toleranties betreffende plaats en verticaliteit

De plaats en de verticaliteit van de damwandplanken na het installeren, behoort in overeenstemming te zijn met de aanbevolen waarden gegeven in Tabel 37. Deze tabel geeft waarden voor normale gevallen.

Type damwand	Situatie tijdens uitvoering	Plaats van paalbovenend (mm)	Verticaliteit ²⁾ gemeten over de bovenste 1 m (%)
			Alle richtingen
Damwandplank ⁴⁾	Te land Boven water	≤ 75 ¹⁾ ≤ 100 ¹⁾	≤ 1 ³⁾ $\leq 1,5$ ³⁾
Primair element van een combinatiewand		Afhankelijk van grondgesteldheid, en lengte, vorm, grootte en aantal van secundaire elementen, behoren deze waarden in ieder geval te worden vastgesteld ten einde te waarborgen dat uit het slot lopen niet waarschijnlijk is.	
1) Loodrecht op de wand. 2) Waar in het ontwerp wordt vereist dat de palen onder een helling moeten worden geheid, hebben de in de tabel aangegeven toleranties betrekking op die hellingsrichting. 3) Mag in moeilijke grond tot 2% bedragen, mits er geen strikte criteria zijn voorschreven, bijvoorbeeld met betrekking tot de waterdichtheid en niet wordt verwacht dat uit het slot lopen na ontgraving een probleem zal worden. 4) Met uitsluiting van platte damwandplanken OPMERKING: De toleranties betreffende de plaats en de verticaliteit mogen worden opgeteld.			

Tabel 37 Toleranties van plaats en verticaliteit van damwandplanken na het installeren

8.10 Ontgraving, aanvulling, drainage en bemaling

Ontgravingen, aanvulling, drainage en bemaling moeten met voldoende zorg worden uitgevoerd en moeten in overeenstemming zijn met de specificaties in het ontwerp.

Bijlage F Houten dampwandplanken en gordingen.

F1 Algemeen

De terminologie voor hout en imperfecties in gezaagd hout zijn te geven EN 844-1: 1995, EN 844-3: 1995, EN 844-7: 1997 en EN 844-9: 1997.

Hout voor damwandplanken en gordingen in permanente damwandconstructies is gewoonlijk zeer duurzaam.

Tropisch loofhout voldoet gewoonlijk aan deze eis zonder enige conservering. Echter voor naaldhoutsoorten is het, wanneer ze in constructies aan de waterkant worden gebruikt, nodig om te worden geïmpregneerd met een conserveringsvloeistof die onder vacuüm in het hout wordt geperst.

EN 355-1: 1992 en EN 355-2: 1992 voorzien in een algemene beslisprocedure om te komen tot de risicoklasse en de daarbij behorende biologische aantasting om de conserveringsbehandeling te bepalen.

Hakken, boren en soortgelijke werkzaamheden behoren bij voorkeur in de fabriek plaats te vinden voordat het hout wordt geïmpregneerd. Wanneer in geïmpregneerd hout later wordt gehakt, geboord of op soortgelijke manier Hogeschool Van Hall Larenstein wordt bewerkt, is het nodig om de aangetaste omgeving te behandelen met een speciale beschermende vloeistof.

F3 Kwaliteitseisen

Er zijn kwaliteitseisen voor damwandplanken en gordingen van gezaagd naaldhout en loofhout. De belangrijkste beproevingscriteria betreffen: onvolkomenheden, afmetingstoleranties rechtheid in lengte- en dwarsrichtingen.

F5 Toleranties

Criteria voor de maximale vervormingen (kromtrekken, bol gaan staan en scheluwte) zijn gegeven in Tabel 38.

Onvolkomenheden		Zachthout	Loofhout
Mechanische beschadigingen		Losse of gebroken vezels toegelaten tot de diepte in het hout < 0,1 x dikte van het hout Ingesnoerde delen ten gevolge van stalen banden toegelaten mits de vezels niet zijn beschadigd	
Vervorming van damplanken ¹⁾	Gebogen; max. pijl per meter	4 mm	3 mm
	Kromming; max. pijl per meter	2 mm	Max ½ lengte vd messing
	Hol; max. pijl over 100 mm breedte	2 mm	Geen eis
	Scheluw; max. pijl per meter	2 mm	Niet acceptabel
Vervorming van gordingen ¹⁾	Gebogen; max. pijl per meter	4 mm	Aan kerende zijde 1 mm; aan andere zijde 4 mm
	Kromming; max. pijl per meter		
	Hol; max. pijl over 100 mm breedte	2 mm	Geen eis
	Scheluw; max. pijl per meter	4 mm	Niet acceptabel
1) Vervormingen over de hele lengte van de houten damwandplank of gording.			

Tabel 38 Leveringsvoorwaarden voor damwandplanken en gordingen van gezaagd naaldhout en loofhout

De maximaal toelaatbare afwijkingen van de nominale afmetingen zijn gegeven in Tabel 39.

	Damwandplanken		Gordingen	
	Afzonderlijk	Gemiddeld	≤ 105 ¹⁾	> 105 ¹⁾
Lengte	± 100	≥ 0	+ 50 - 25	+ 50 - 25
Breedte	-	-	± 2	+ 2 - 3
Dikte	± 2	$\pm 0,5$	± 2	± 2

1) Dikte van de gording loodrecht op de damwand.

Tabel 39 maximaal toelaatbaar verschil van de feitelijke afmetingen met de nominale waarden in mm

F.6 Verbindingen

Gewoonlijk worden houten damwandplanken onderling verbonden door messing en groefverbindingen met een trapeziumvorm. Een rechthoekige vorm wordt echter ook gebruikt. De afmetingen van de messing zijn bepalend voor die van de groef.

F.8 Uitvoering

Gewoonlijk worden houten damwandplanken slechts gebruikt in keerwanden met een beperkte te keren hoogte. Typische voorbeelden van gebruik zijn: verticale of bijna verticale kades langs kanalen en grachten en kleine kadewanden in jachthavens en soortgelijke.

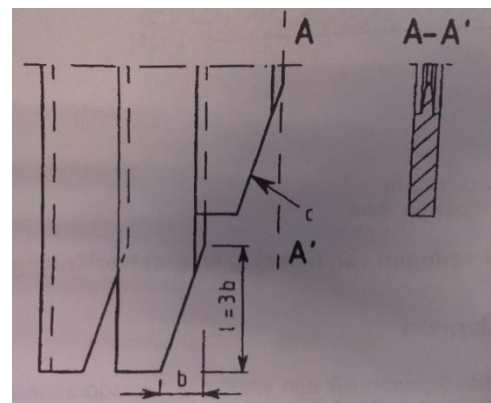
Inbrengen vindt gewoonlijk plaats met een lichte stelling. Indien een vrij vallende massa wordt gebruikt behoort de valhoogte niet groter te zijn dan 2,5 m.

Wanneer een trilblok wordt gebruikt, worden schotten, van verschillende planken tegelijk, als eenheden ingebracht.

Ten einde de damwand in de juiste positie te houden wordt een geleideframe gebruikt.

Spuiten met water van lage druk wordt vaak toegepast als hulp bij het heien in zandlagen.

Ten einde een goede messing en groefverbinding te waarborgen worden de damwandplanken vaak aan de 'vrije' kant van de voet afgeschuind (zoals Afbeelding 18 weergeeft).



Afbeelding 18 Afschuinen van damplanken

Bijlage 5 Interviews adviesbureaus in tabel

Partij	Datum	Geïnterviewde(n)	Functie
Arcadis	24-02-2014	Jouke de Jong Wilco de Bruine Bart Oude Groote Beverborg	Projectmanager Adviseur watermanagement Projectleider
Royal HaskoningDHV	26-02-2014	Frank Timmerman	Adviseur toezichthouder
Witteveen+Bos	05-03-2014	Timo Worm	Teamleider Landinrichting en waterbodems

Aspecten /Partijen	Arcadis	Royal HaskoningDHV	Witteveen+Bos
Ontwerpen	Arcadis ontwerpt voornamelijk stuwen, overlaten en vispassages in herinrichtingsplannen, een enkele constructie wordt vaak door het waterschap zelf gedaan. Opdrachtgevers geven vaak de randvoorwaarden en uitgangspunten (materialen en hydraulische gegevens) aan in een programma van eisen, hierdoor is er weinig ruimte voor innovatie. In een UAV-GC contract is er meer ruimte voor innovatie.	Het adviesbureau ontwerpt voornamelijk volledige projecten uit voor een waterschap. Afhankelijk van het waterschap, worden enkele stuwen, overlaten of vispassages door het waterschap zelf uitgevoerd. De opdrachtgever levert de hydraulische gegevens, achtergrond en eisen aan, waarmee een ontwerp gemaakt kan worden. In een UAV-GC project heeft het adviesbureau meer vrijheid voor het ontwerpen, deze ontwerpen worden dan terug gekoppeld met het adviesbureau.	Bij het ontwerp van bestaande stuwen is in 70 a 80% van de gevallen bekend wat de bedoeling is en is er een programma van eisen opgesteld door het waterschap. Tegenwoordig worden projecten op basis van UAV-GC uitbesteedt, dan schakelen aannemers vaak adviesbureaus in. Bij vispassages worden er vaak varianten afgewogen, hierdoor is er meer kans op innovatie.
Levensduur	De levensduur wordt niet altijd specifiek aangegeven maar zal ongeveer 30 jaar zijn. Vaak levert het waterschap voorbeelden aan van eerder uitgevoerde werken. Arcadis heeft geen beeld van de oorzaken van vroegtijdig bezwijken van constructies. Meestal worden deze dan volledig vervangen in plaats van deels herstellen.	Stuwen en vispassages van bijvoorbeeld het Grote Veld worden op 15 jaar ontworpen, maar of deze levensduur behaald wordt is niet zeker door de wisselende waterstanden. De levensduur kan verlengd worden door de damwand te coaten.	De levensduur van een houten stuw is 15 tot 20 jaar. Beton dient 50 jaar mee te gaan. Het is afhankelijk in welke situatie deze constructie zich bevindt (bodem, fluctuatie van waterstanden). Betonnen constructies halen de geplande levensduur wel, hout daarentegen meestal niet. Over het algemeen worden kleine constructies volledig vervangen in plaats van deels herstellen.
Productkeuze	De constructie en materialisatie wordt door het waterschap aangeleverd. Vaak worden dezelfde dimensionering en materialen toegepast als voorgaande projecten, dit wordt gewoon overgenomen door het waterschap.	De productkeuze en eisen wordt door de opdrachtgever bepaald. Er zijn duidelijke verschillen tussen de waterschappen. Ervaring speelt vaak een grote rol bij het bepalen van de constructie.	Opdrachtgever bepaald de productkeuze met een programma van eisen. Vaak worden producten gebruikt die altijd gebruikt zijn. Wanneer eisen niet duidelijk zijn, wordt dit nagevraagd. Afmetingen worden door het adviesbureau berekend.
Vooronderzoeken	Voorafgaand van een project wordt onderzoek naar de bodemopbouw ecologie, de afvoereigenschappen en de huidige kennis over de beek gedaan.	Er moet uitgekeken worden dat er geen kwel onder de damplanken komt. Ook de bodemopbouw en grondwaterstanden moeten onderzocht worden.	Een onderzoek naar de bodemopbouw, archeologie en ecologie is nodig voor het ontwerpen van een stuw, overlaat of vispassage. De hydraulische gegevens moeten bekend zijn, dit levert het waterschap aan.
Duurzaamheidsklasse	Duurzaamheid is bij Arcadis belangrijk, maar in 80% van de projecten wordt dit voorgeschreven door de opdrachtgever.	In het programma van eisen staat het door de opdrachtgever voorgeschreven.	Wordt bepaald door opdrachtgever in programma van eisen.
Werkwijze	De Standaard RAW 2010 bepalingen en de NEN-EN 12063 worden gevolgd voor het plaatsen van damwand. Ze hebben zelf geen standaard voor het plaatsen. Over het algemeen wordt trillen toegepast.	Voor damwanden wordt er teruggekoppeld naar de NEN-EN normen. Verder is het afhankelijk van de situatie (bv. als in een dorp wordt gesteld dat er niet getrild mag worden, dan moet er gespoten worden). Er wordt soms in een bestek vermeld dat de keuze aan de aannemer is. Ingraven van lange planken heeft Frank nog geen ervaring mee, over het algemeen wordt trillen toegepast, doordat de grond niet geroerd wordt.	Normaal gesproken wordt de Standaard RAW 2010 gevolgd. Bij een UAV-GC project is de keuze van de werkwijze aan de aannemer. Over het algemeen worden damwanden getrild. De controle ligt meestal bij de waterschappen zelf, dit zou eigenlijk de ontwerper moeten doen.
Innovatie	Bij Arcadis wordt tijdens het ontwerpen en voorbereiden van projecten ook nagedacht over het gebruik van prefab materialen en toepassingen hiervan. Dit komt vaak naar voren in UAV-GC projecten waar er meer ruimte voor innovatie is. Ontwerpers nemen contact op met projectleiders om te kijken of ideeën die bedacht worden in werkelijkheid ook mogelijk zijn.	Als er mogelijkheden voor innovatie zijn, zal het adviesbureau het niet laten om dit bij de opdrachtgever te melden. Het verschilt per waterschap of ze er voor openstaan.	Waar mogelijk probeert Witteveen+Bos innovatief te zijn, dit is afhankelijk van de opdracht en opdrachtgever. Dit gebeurt meestal bij UAV-GC projecten. Innovatie kan ook betrekking hebben op de CO ₂ -foodprint, dit kan in de toekomst belangrijk worden bij waterschappen.
Oeverbescherming	Breuksteen wordt voornamelijk gebruikt voor de visuele uitstraling en de ruwheid voor het creëren van luwtes. Oeverbescherming in prefab elementen plaatsen zal ontzettend lastig zijn door het vele maatwerk.	Opsluiting van de oeverbescherming is belangrijk voor het tegengaan van uitspoelen. Men gaat het voortaan draadeinden voorschrijven die ervoor zorgen dat de opsluiting vast zit aan de bekleding (idee van Marcel). Vezelbeton wordt steeds meer toegepast, maar nog niet door alle waterschappen. Het werkt vlugger, is minder intensief en de kwaliteit is hetzelfde.	Meestal bestaat de oeverbescherming uit losse breukstenen die op geotextiel liggen, ter hoogte van de vispassages en stuwen, liggen de stenen in het beton. Ook klei met grasmatten worden toegepast. De oeverbescherming moet zo natuurlijk mogelijk ogen.

Aspecten /Partijen	Arcadis	Royal HaskoningDHV	Witteveen+Bos
Ervaring met prefab	Er is gewerkt met prefab materiaal bij een vispassage. Zo is er een prefab RVS vispassage gemaakt. Ook een betonnen L wand gefundeerd op damwand is toegepast.	Bij waterschap Rivierenland is er gewerkt met een prefab betonnen stuw, deze bestaat uit een plaat met een kunststof vertical slot. Deze zijn niet gefundeerd en zijn er meestal ingetrild of ingegraven in kleigrond.	Er is alleen gewerkt met een prefab betonnen stuw welke is gefundeerd op een houten damwand.
Gebruik van andere materialen	Arcadis heeft nog niet gewerkt met combiplanken (hout en kunststof) maar wel met volledig gerecycled kunststof. Er zijn ook al vispassages van PE gemaakt. Het gebruik van andere materialen is afhankelijk van de opdrachtgever waar deze voor open staat.	Hout zou vervangen kunnen worden door gerecycled kunststof, dit is duurzaam, degelijk en sterk en gaat langer mee. Het nadeel dat het mensen het minder mooi vinden. Breuksteen zou vervangen kunnen worden door andere materialen.	Waterschappen zouden hout kunnen vervangen door beton of kunststof (door de langere levensduur). Toch moeten sommige constructies er mooi uitzien, de uitstraling en uiterlijk speelt een rol. Breuksteen zorgt voor oneffenheden, als dit met beton gemaakt kan worden, zou dit ook prima zijn.
Visie over het onderwerp	Ingraven van een vispassage is mogelijk en Arcadis denkt ook dat het kosten en tijd bespaart. Voor de stabiliteit is het geen enkel probleem omdat de vispassage geen kerende functie heeft, enkel om de drempelhoogte te genereren (en ligt vast tussen beton). Soms bestaan vispassages enkel uit breuksteen, dan zit er geen damplank in de grond tegen de kwel. Er moet een goede onderbouwing gemaakt worden. De beste manier is om een pilot uit te voeren, dit was prima mogelijk bij de Saasvelderbeek.	Ingraven van lange damwanden lijkt Frank niet mogelijk. Korte damwanden bij een vispassage zou mogelijk zijn. Er moet wel winst uit gehaald kunnen worden, bemaling wordt duurder. Er zou in een bestek een 2 ^{de} aanbidding gemaakt kunnen worden met een goed onderbouwde werkwijze en waar een garantie op wordt gegeven (op kosten van de aannemer). Een vispassage zoals Afbeelding 4 zou prima kunnen, deze zit volledig opgesloten. Er dient wel rekening gehouden te worden met het onregelmatig nazakken van de oeverbescherming, dat die niet breekt.	Volgens Timo is het bij de vispassage op Afbeelding 4 mogelijk om deze prefab te plaatsen, deze staat helemaal ingesloten in de beton. Een vispassage heeft geen kerende functie waardoor het minder groot gedimensioneerd hoeft te worden. De drempelhoogte mag niet nazakken doordat de grond naast de stuw of vispassage geroerd is. Een prefab onderdeel moet ook handelbaar zijn, het moet met gemiddeld materieel te plaatsen zijn.
Ervaring met waterschappen	Er is veel verschil tussen de waterschappen, dit komt omdat ze elk andere ervaringen en andere waterlopen hebben. Er wordt nog steeds vrij traditioneel gewerkt. Binnen de waterschappen zit ook veel verschil tussen projectleiders. Geld speelt een belangrijke rol bij het ontwerp en uitvoering.	Frank Timmerman heeft enkel ervaring met Waterschap Rivierenland en Waterschap Vechtstromen. Rivierenland maakt al gebruik van prefab elementen, dit doet vechtstromen nog niet. Waterschappen werken vrij traditioneel en staan niet zomaar open voor veranderingen, ook dit verschilt per projectleider binnen het waterschap. Geld speelt een belangrijke rol.	De eisen(dimensionering en materiaalgebruik) bij constructies verschillen per waterschap. Ook binnen deze organisatie zijn zelfs verschillen. Soms wordt ervaring boven de berekening van het adviesbureau verkozen (als men denkt dat de constructie 'te stevig' is). Het zal wat tijd kosten voordat iets nieuws wordt geprobeerd. Het moet zeker geld opleveren anders is er weinig kans van slagen.
Achter- en onderloopsheid	Dit kan in het werk niet gemeten/getest worden. Als aannemer kan je vragen of dit getest mag worden in een bestaand project.	Dit moet niet onderschat worden. Het testen in het veld zal heel lastig gaan, als het überhaupt gaat. De hoogste waterstand moet bekend zijn zodat de beton het achter- en onderloops raken kan voorkomen.	Achterloopsheid is te zien, maar dan ben je te laat. Het kan berekend worden met een programma en formules.

Bijlage 6 Interviews opdrachtgevers in tabel

Opdrachtgever	Datum	Geïnterviewde(n)	Functie
Waterschap Groot Salland	07-03-2014	Jim Cramer	Specialist Werktuigbouwkunde
Waterschap Rijn en IJssel	25-02-2014	Mathijs de Gier	Projectleider Civiele Techniek
Waterschap Rivierenland	27-02-2014	Gijsbert Derksen Simon Opić	Projectleider/Constructeur Projectleider
Waterschap Vallei en Veluwe	24-02-2014	Gerard Hartman	Projectmanager
Waterschap Vechtstromen	06-03-2014	Hans Gels John Overbeek Heral Hesselink	Senior Beleidsadviseur watersysteem Toezichthouder Adviseur projecten
Dienst Landelijk Gebied	04-03-2014	Jan-Henk Schutte	Medewerker Gebiedsontwikkeling

Aspecten /partij	Waterschap Groot Salland	Waterschap Rijn en IJssel	Waterschap Rivierenland	Waterschap Vallei en Veluwe	Waterschap Vechtstromen	Dienst Landelijk Gebied, regio Oost
Ontwerpen	Momenteel wordt het ontwerpen uitbesteed, dit gebeurt in samenwerking met adviesbureaus. Er wordt wel naar gestreefd om het zelf te gaan doen, zelfs de volledige inrichtingsplannen.	Ontwerpen van stuwen, overlaten en vispassages in een inrichtingsproject worden gedaan door een adviesbureau. Bij een enkele stuw wordt deze zelf ontworpen.	Kleine projecten worden zelf ontworpen. Water- of inrichtingsplannen worden meestal uitbesteed aan adviesbureaus. Bij een UAV-GC is er meer ruimte voor innovatie dan bij RAW.	Ontwerpen van stuwen, overlaten en vispassages worden meestal uitbesteed aan een van de vijf adviesbureaus waarmee het waterschap een raamcontract heeft. Soms wordt er zelf wat ontworpen.	Kleine stuwen, overlaten en vispassages worden zelf ontworpen, indien er geen capaciteit is dan wordt het uitbesteed aan adviesbureaus.	Het ontwerpen van stuwen, overlaten en vispassages wordt vrijwel altijd uitbesteed aan adviesbureaus. Er wordt ook weleens door middel van een UAV-GC contract gegund.
Levensduur	De levensduur van een stuw, overlaat of vispassage is 30 jaar. Azobé in een vispassage gaat 30 jaar mee, dit is afhankelijk waar het wordt toegepast.	Een houten stuw, overlaat of vispassage gaat 15 jaar mee. Er wordt niet echt op levensduur ontworpen. De kwaliteit van het hout gaat wel achteruit.	Een stuw, overlaat of vispassage moet 20 tot 40 jaar blijven staan volgens het beleid. Dit is echter wel afhankelijk van het materiaal.	De stuwen, overlaten en vispassages worden op 25 jaar ontworpen. De gemiddelde levensduur met eikenhout is echter maar 15 jaar.	De levensduur van een houten damwand is 20 tot 25 jaar. Het moment van vervangen zit wel tegen de ondergrens.	De stuw, overlaat of vispassage moet 30 tot 50 jaar blijven staan. Het streven is echter na beek zonder vispassage. De stuw of vispassage moet zo lang mogelijk blijven staan.
Productkeuze	Het waterschap stelt een programma van eisen op waar het adviesbureau zich aan moet houden. Hier is geen leidraad voor omdat elk project uniek is.	De productkeuze wordt door het waterschap gemaakt, dit is vastgelegd in het programma van eisen. Er wordt soms voor gekozen om een constructie zwaarder te maken dan het opnieuw te berekenen,	Er wordt per project een programma van eisen opgesteld. Er is binnen het waterschap een bouwbeleid voor bepaalde constructies. Het ligt ook aan de grondslag welke producten er kunnen worden gebruikt.	De productkeuze wordt door het waterschap bepaald. Er is geen leidraad voor maar deze is wel in ontwikkeling. Nu bepaald een projectleider soms in overleg met collega's wat er wordt gebruikt.	Het waterschap bepaald de productkeuze waaraan het adviesbureau zich moet houden bij het ontwerpen. Soms is er ruimte om andere producten te gebruiken.	De productkeuze staat beschreven in het Programma van Eisen. Dit wordt samen bepaald met het waterschap. Het doel van een stuw bepaald de materiaalkeuze. Een stuw moet voldoen aan de KRW, doelstelling en functie.
Duurzaamheidsklasse	Voor houten damwanden wordt duurzaamheidsklasse een gebruikt. Er wordt hierbij rekening gehouden met de duurzaamheidscriteria van ondernemend Nederland.	Hout moet voldoen aan duurzaamheidsklasse een. De constructie moet zo duurzaam mogelijk ontworpen worden.	Het waterschap heeft een duurzaam inkoop beleid, vanaf 2015 moet er duurzaam worden ingekocht. Hout wordt ingekocht via de TPAC organisatie.	Er wordt altijd voor de hoogste duurzaamheidsklasse gekozen omdat de constructies zo lang mogelijk moeten blijven staan. Het hout moet ook FSC gecertificeerd zijn.	Het waterschap streeft naar een zo duurzaam mogelijke constructie. De constructie moet zo lang mogelijk mee dus er worden hoge duurzaamheidsklassen gehanteerd.	De duurzaamheidsklasse staat beschreven in het programma van eisen. Dit wordt samen met het waterschap bepaald. De constructie moet wel zo lang mogelijk meegaan. Er wordt ook wel een UAV-GC contract gebruikt.
Werkwijze	Damwand wordt in de grond getrild. Dit staat in het bestek beschreven.	Het plaatsen van damwand gaat via de trillings methode. De oeverbescherming wordt in het werk gestort, er wordt gebruik gemaakt van normaal beton met een wapeningsmat.	Houten damwand wordt geplaatst door middel van trillen. Kleine betonnen stuwen of overlaten worden ook ingegraven als het peilverschil (30-40 cm) niet te groot is.	Het plaatsen van damwand mag gebeuren door spuiten, de laatste halve meter moet dan wel getrild worden. De oeverbescherming is een geotextiel met daarop losse breukstenen.	De voorgeschreven werkwijze bij het plaatsen van damwand is trillen zodat de planken goed vast zitten. Voor de oeverbescherming wordt beton ter plekke gestort.	Het plaatsen van damwanden gebeurt via de Standaard RAW bepalingen, dit betekent dat damwand erin getrild moet worden. Tenzij het een UAV-GC contract is, dan mag de aannemer het zelf bepalen. Dit moet wel worden goedgekeurd door de directie.

Aspecten /partij	Waterschap Groot Salland	Waterschap Rijn en IJssel	Waterschap Rivierenland	Waterschap Vallei en Veluwe	Waterschap Vechtstromen	Dienst Landelijk Gebied, regio Oost
Innovatie	Het waterschap staat open voor verandering. Er wordt elk jaar een innovatieprijs uitgereikt aan diegene met het beste idee.	Veranderingen zijn mogelijk, alleen moet de innovatie al wel aangetoond hebben een verbetering te zijn. Het moet een goed ontwerp zijn. Er is een innovatiefonds waar mensen ideeën in kunnen leveren, dit kan worden uitgewerkt in een UAV-GC project.	Het waterschap staat open voor nieuwe ideeën, het moet echter wel voldoen aan de basis functie en het PvE. De directie promoot het gebruik van innovaties.	Veranderingen zijn mogelijk als het kosten bespaard of als er een betere kwaliteit wordt geleverd. In een UAV-GC contract is er meer kans op verandering want aannemer is betrokken bij het ontwerp.	Het waterschap staat in principe open voor verandering maar een innovatie moet zich al wel bewezen hebben en zeker zo goed zijn als het oude.	DLG staat open voor verandering. In Kunststof zit toekomst volgens DLG. Prefab elementen mogen ook toegepast worden. Een retentiegebied uitgraven door middel van GPS is ook al toegepast.
Oeverbescherming	Over het algemeen zijn de bodems en taluds tussen de vispassages volledig bekleed met beton en breuksteen. De breuksteen zorgt voor een ruw oppervlak zodat er luwtes ontstaan voor verschillende soorten vissen.	Breuksteen wordt gebruikt voor de mooiigheid. De holtes tussen de breukstenen worden dichtgesmeerd omdat er anders vegetatie gaat groeien wat lastig te onderhouden is. Er wordt gefundeerd op beton met wapeningsmat.	Stortsteen ligt los in een vispassage, behalve in stedelijk gebied in verband met diefstal of vandalisme. Het breuksteen heeft de functie om voor luwtes, ruwheid en visuele kwaliteiten te zorgen.	Breuksteen ligt los op een geotextiel als er niet teveel water overheen stroomt. Tussen de ruimtes kunnen beestjes schuilen. De oeverbescherming is wel opgesloten tussen damwanden.	De grote, het debiet, helling en snelheid van de beek bepalen de dikte van de constructie. De breukstenen liggen in het beton voor de stevigheid maar ook om diefstal en vandalisme te voorkomen. De breukstenen zijn nuttig voor bodemvissen die in de luwtes kunnen schuilen.	DLG vindt een constructie van 15 cm beton met wapeningsmat, 5 cm lijm mortel met daarin breuksteen voldoende zwaar. Er moet wel breuksteen worden toegepast worden omdat het mooi moet lijken. Geotextiel met daarop breuksteen is goed genoeg, in de ruimten komt vanzelf zand waarin vegetatie komt.
Ervaring met prefab	Er is weinig ervaring met prefab onderdelen bij een stuw of overlaat. Er is weleens een vertical slot met HDPE schotten gemaakt.	Er is ervaring met een betonnen L-wand als stuw. Verder is er geen ervaring met prefab onderdelen.	Er is ervaring met prefab stuw/overlaten en vispassages. Het gaat hier om betonnen elementen die zijn ingegraven of geplaatst op palen (De Wit vispassage).	Er is geen ervaring met prefab onderdelen, alleen een kantelstuw wat in de uitgezaagde damwand wordt geplaatst.	Ei is weinig ervaring met prefab onderdelen. Enkel prefab betonbakken voor een vispassage en een L-wand als stuw, deze was wel gefundeerd op damwand.	Er is geen ervaring met prefab onderdelen bij stuw/overlaten of vispassages. Wel bij bruggen en de ervaring daarmee is dat dit de helft goedkoper is en de kwaliteit is gegarandeerd.
Gebruik van andere materialen	In plaats van breuksteen wat onder water niet te zien is een ander materiaal toepassen wat dezelfde functie heeft.	In plaats van hout zou een prefab betonelement een uitkomst kunnen zijn. Het nadeel van betonplaten is dat deze lastig trillend zijn aan te brengen. Afzagen is geen optie.	Breuksteen is een grote kostenpost, in plaats daarvan een patroon in of met beton te realiseren. Hout vervangen door beton of staal, duurzamer.	Combinatiewand in plaats van hout zou een goed alternatief kunnen zijn om de levensduur van de stuw/vispassage te verlengen. Het moet wel passen in het beeld.	De overlaten in een vispassage zouden ook van kunststof gemaakt kunnen worden zodat de constructie een langere levensduur heeft. In plaats van breukstenen patronen in het beton maken.	Materiaal van gerecycled kunststof is een goed idee. Het is duurzamer dan hout en het gaat langer mee. Het moet er echter wel goed uitzien. Grasbetonmatten is een goed alternatief voor bodembescherming. In de gaten kan vegetatie zich ontwikkelen.
Visie over het onderwerp	Geld is belangrijk. Als het gebruik van prefab geld kan besparen, zich bewezen heeft en voordelen heeft dan is het interessant voor het waterschap en kan het toegepast worden.	Het lijkt een haalbaar onderwerp alleen moet het kwalitatief hetzelfde zijn en er moet een goed doordacht en onderbouwd ontwerp komen.	Het project lijkt haalbaar. Met de markt meegaan! Vooral op het gebied van materiaalgebruik is winst te behalen. Het innovatieve deel zit in het aanbrengen, niet in producten.	Het moet prijstechnisch interessant zijn. Ook moet het aannemelijk onderbouwd zijn wil het waterschap het goedkeuren.	Het waterschap ziet de pluspunten van het gebruik van prefab materialen nog niet omdat het veel maatwerk is. Om te overtuigen zal met een goede onderbouwing gekomen moeten worden.	Er valt best wat winst te behalen met prefab onderdelen. De mogelijkheid om prefab toe te passen ligt bij de stakeholders. DLG staat ervoor open maar de markt moet het initiatief nemen.



Bijlage 8 Berekeningen falen damwand, zetting en onderloopsheid

Lengte en dikte damplanken

Deze eigenschappen dienen daar al ingevuld te worden, als hiermee gevarieerd wordt, dienen de volgende parameters ook aangepast worden.

Stijfheid EI

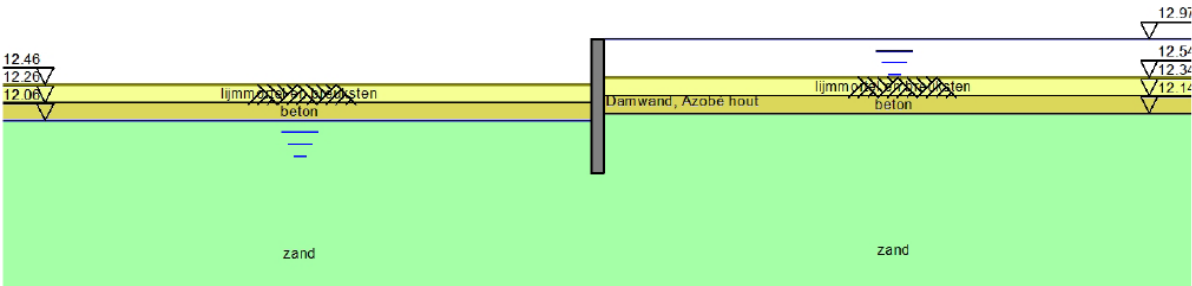
De stijfheid bestaat uit een vermenigvuldiging van de elasticiteitsmodulus E en het traagheidsmoment I. Het traagheidsmoment I kan berekend worden met de volgende formule: $I = \frac{(b \cdot h^3)}{12}$

Weerstandsmoment W

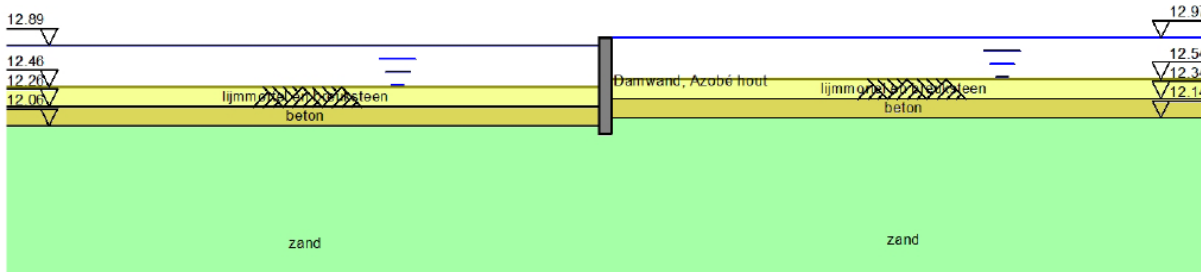
Het weerstandsmoment wordt bepaald met behulp van de volgende formule: $W = \frac{(b \cdot h^2)}{6}$. Deze formule wordt gebruikt bij het bepalen van het Maximaal moment M, zie Tabel 7.

Maximaal moment M

Het maximaal moment bestaat uit de buigspanning vermenigvuldigd met het weerstandsmoment. De buigspanning is het gemiddelde van de druk en treksterkte evenwijdig aan de vezels. Deze worden uit Afbeelding 23 afgelezen. De formule is als volgt: $M_{max} = \sigma_{max} \cdot W$



Afbeelding 24 Situatie 1, damwandlengte 1,5 meter



Afbeelding 25 Situatie 2, damwandlengte 1,0 meter

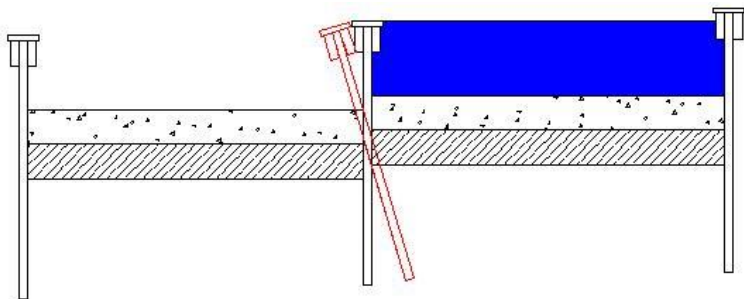
Afbeelding 24 en Afbeelding 25 hierboven geven een duidelijk beeld van de lengte van de damplanken en verschil van waterstanden.

Bron Afbeelding 23: <http://www.houtdatabase.nl/?q=hout/gww/9/mechanisch>

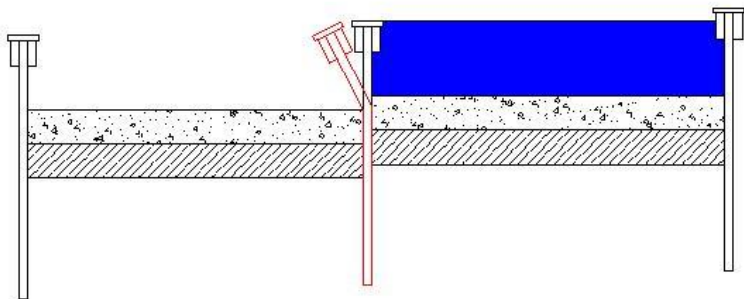
Sterkteklasse	D70	
Kwaliteitsklasse		
E_modulus (test)	18600	N/mm²
E-modulus evenwijdig (rep)	20000	N/mm²
E-modulus loodrecht (rep)	1330	N/mm²
Buigsterkte (test)	157	N/mm²
Buigsterkte (rep)	70	N/mm²
Druksterkte evenwijdig (test)	72	N/mm²
Druksterkte evenwijdig (rep)	34	N/mm²
Druksterkte loodrecht (rep)	13.5	N/mm²
Treksterkte evenwijdig (rep)	42	N/mm²
Treksterkte loodrecht (rep)	0.6	N/mm²

Afbeelding 23 Mechanische gegevens houten damwand

Op Afbeelding 26 en op Afbeelding 27 hiernaast zijn de tijdszakingsdiagrammen van de vaste en losse grond te zien. Het verschil tussen beide situaties is niet erg groot, de vaste grond heeft zich na één dag 0,004 m gezet en de losse grond heeft zich 0,008 m gezet. Na 10.000 dagen heeft de vaste grond zich 0,01 m gezet en de losse grond 0,016 m, een verschil van slechts 6 mm. Op de afbeeldingen is ook te zien dat de curve van de losse grond in het begin sneller zakt.



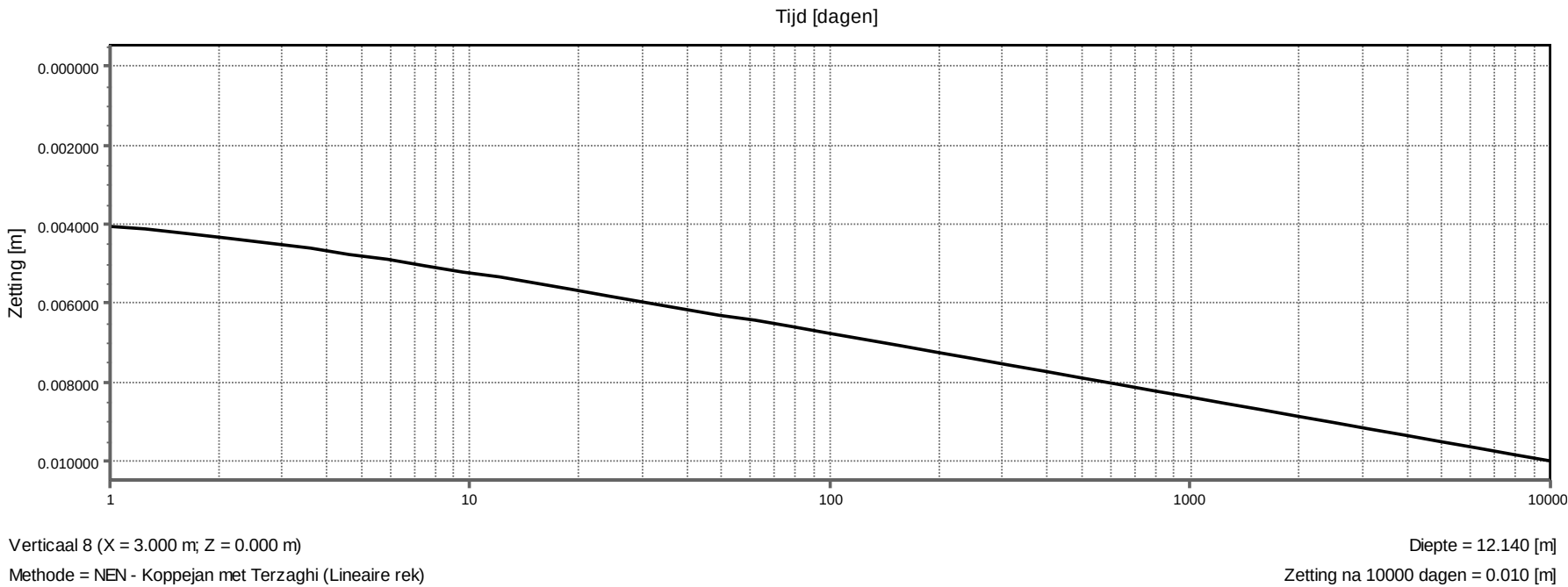
Het kantelen van de damwand



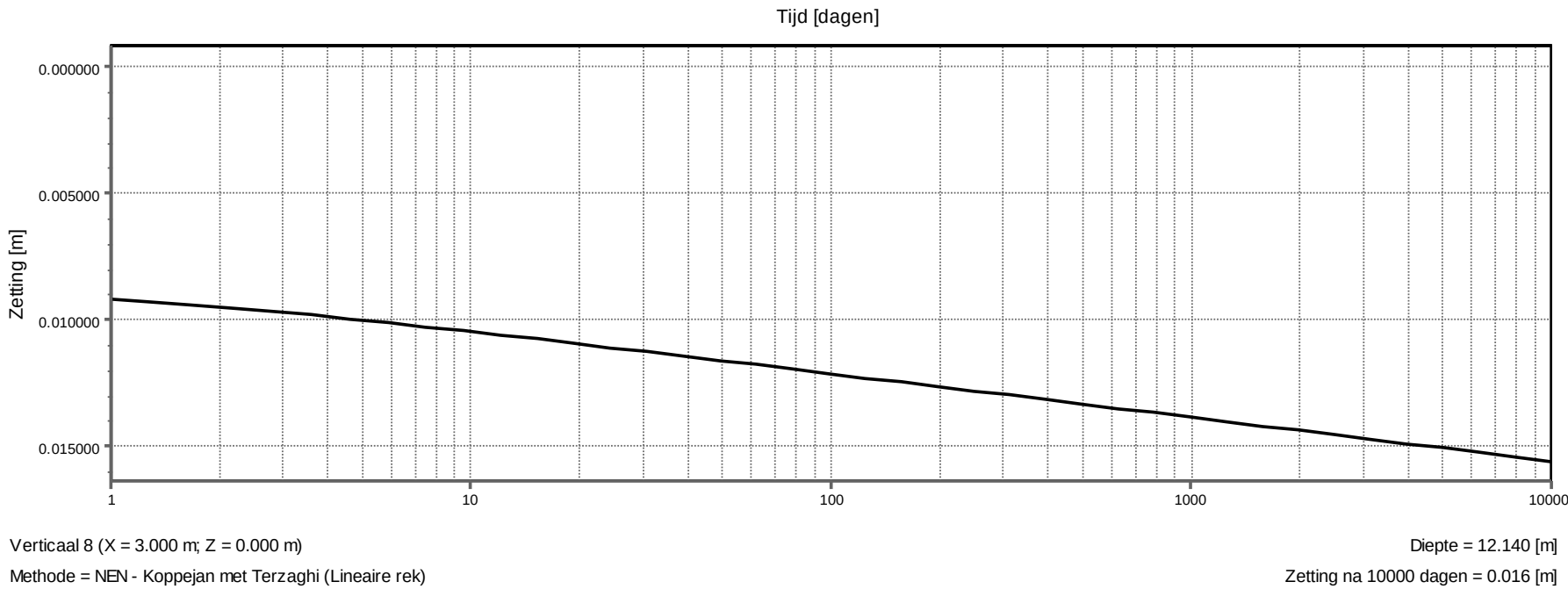
Het breken of buigen van de damwand

Afbeelding 28 Faalmechanismen damwand

Op Afbeelding 28 hierboven zijn de mogelijke faalmechanismen van een damwand te zien, deze zijn in het rood weergegeven. De bovenste tekening geeft weer dat de damwand volledig kantelt, dit kan gebeuren als de druk bovenstrooms te groot is of als de damwand te kort is. De onderste tekening betekent dat de damplank te zwak is voor de kracht die erop staat.



Afbeelding 26 Tijdszakingsdiagram vaste grond



Afbeelding 27 Tijdszakingsdiagram losse grond

Bijlage 9 Uitwerking alternatieven voor oeverbescherming

Prefab elementen	Werkwijze	Voegmiddel nodig	Dikte	Prijs	Overige producten nodig	Grofheid	Land van produceren	Arbeidsintensief	Visueel aspect
Oeverbescherming uit 1 plaat met structuurprint (alternatief 1)	Door middel van een matrijs kan een print in een mal geplaatst worden waar vervolgens beton in gestort wordt waardoor een prefab plaat ontstaat.	Ja, tussen de platen en damwand en tussen de platen bij de teen van de oever.	Dit is afhankelijk van de vraag	Totaal: € 15.632,86 Per m²: € 86,85	Nee, als de platen voldoende sterk en dik zijn, zijn er geen andere producten nodig buiten het voegmiddel.	Dit is afhankelijk van de matrijs voor de structuurprint. Deze zou in principe zo grof gemaakt kunnen worden als echte breuksteen, dit heeft wel invloed op de levensduur en prijs van de matrijs.	Nederland	Nee, de platen worden machinaal aangebracht m.b.v. een mobiele kraan. De ondergrond moet wel perfect afgewerkt worden, zodat de platen goed liggen en ook blijven liggen.	De oeverbescherming bestaat geheel uit beton, deze uitstraling heeft het ook. Na enkel jaren is het mogelijk dat dit door het water verweerd is en er rauw uit ziet. Bij platen ziet het er heel hoekig uit.
Oeverbescherming uit 1 plaat met natuursteen erin verwerkt (alternatief 2)	Tijdens het maken van prefab plaat, worden breukstenen in het beton gedrukt. Vervolgens kunnen deze platen aangebracht worden in de vispassage.	Ja, tussen de platen en damwand en tussen de platen bij te teen van de oever.	Dit is afhankelijk van de vraag	Totaal: € 15.321,86 Per m²: € 85,07	Nee, als de platen voldoende dik en sterk zijn, zijn er geen andere producten nodig buiten het voegmiddel	Er zijn geen bedrijven die dit willen produceren.	Nog geen gevonden	Nee, de platen worden machinaal aangebracht. De ondergrond moet wel perfect afgewerkt worden. De breuksteen moet door anderen in het beton verwerkt worden dat zwaar werk is en volgens de Arbo eigenlijk niet mag.	Als de breukstenen net zoals op de traditionele manier in de beton geplaatst kunnen worden, ziet het er natuurlijk uit. Enkel de strakke vormen vallen dan op.
Nature betonblok (producent agri-beton) (alternatief 3)	Tijdens het fabriceren van deze blokken worden de stukken natuursteen handmatig in het blok gedrukt. Vervolgens worden deze blokken machinaal in het werk geplaatst.	Ja, tussen de blokken. Deze liggen in principe los van elkaar.	0,40 m	Totaal: € 15.661,31 Per m²: € 87,01	Nee, deze blokken zijn zwaar en dik genoeg om als oeverbescherming te functioneren.	De breuksteen steekt ongeveer 1-4 cm uit het beton. Dit is vrij glad om luwtes en andere stroomsnelheden te creëren.	Nederland	Machinaal plaatsen met een kraan, dus niet arbeidsintensief. Ook hier geldt een goede ondergrond.	Er is breuksteen, maar dit komt er minder goed uit door de kleine uitstulpingen. De dikte van de blokken kan openstaande kieren opleveren bij glooiingen.
Betonblokkenmat met natuursteen (producent RCP concrete solutions) (alternatief 4)	Eerst wordt een laagje vezelbeton in het werk aangebracht. Wanneer deze hard is, komt er een laagje lijm mortel op waarin de mat met betonblokken machinaal wordt geplaatst.	Ja, tussen de blokken zijn open ruimtes zodat de mat vervormbaar is.	0,10 m	Totaal: € 19.825,56 Per m²: € 110,14	Ja, er is nog vezel beton en een laagje lijm mortel nodig door de geringe dikte van de blokkenmat.	De breuksteen steekt ongeveer 2-3 cm uit het beton. Hier ontstaan geen luwtes of verschillende stroomsnelheden uit.	Engeland	Nee, de matten worden machinaal (met een mobiele kraan) gelegd. De laag beton wordt wel met de hand aangebracht.	Ook hier komt de breuksteen er minder goed uit, door de kleine grofheid. Er zullen weinig opvallende kieren zijn in glooiingen.
In situ	Werkwijze	Voegmiddel nodig	Dikte	Prijs	Overige producten nodig	Grofheid	Land van produceren	Arbeidsintensief	Visueel aspect
Traditionele werkwijze (beton en lijm mortel storten en breuksteen aanbrengen)	De vezelbeton wordt in het werk gestort. Nadat dit hard geworden is, wordt er een laag lijm mortel aangebracht waarin de breukstenen worden geplaatst. Tenslotte worden de breukstenen ingevoegd met lijm mortel.	Nee, doordat dit met vloeibaar beton en lijm mortel gemaakt wordt, is dat niet nodig	0,40 m	Totaal: € 9.103,41 Per m²: € 50,57	Nee, dit zijn de producten waaruit de oeverbescherming bestaat.	Er is een grote afwisseling van het reliëf. Sommige stenen steken 15 cm uit en andere maar 5 cm. Dit creëert de luwtes en verschillende stroomsnelheden.	Op locatie	Het verwerken van het beton en lijm mortel is niet echt arbeidsintensief, dit wordt door een mobiele kraan gedaan. Het plaatsen van de breukstenen daarentegen wel en is zelfs volgens de Arbo niet toegestaan door de grootte van het gewicht van de stenen.	Ziet er mooi en natuurlijk uit, er is een grote afwisseling in het reliëf. Doordat het geen platen zijn, kan het ook met het maaiveld meebewegen (onder een schuine lijn).
Beton storten, oppervlakkig materiaal met een print bewerken (alternatief 5)	Zoals bij de traditionele werkwijze wordt hier vezelbeton aangebracht. Wanneer deze droog is komt er een afwerklaag overheen waarin een bepaalde print of patroon wordt gedrukt of getrild. Hierdoor is er geen breuksteen meer nodig	Nee, doordat dit vloeibaar beton en lijm mortel is, vult dit alle openingen.	0,30 m	Totaal: € 9.294,48 Per m²: € 51,64	Nee, de oeverbescherming bestaat enkel uit vezelbeton en een afwerklaag waarin de print wordt gedrukt.	De print bepaalt de grofheid van de oppervlakte van de oeverbescherming. Wanneer deze grof is, komt er ook een grover patroon tevoorschijn.	Op locatie	Dit is een stuk minder intensief dan de traditionele manier doordat er geen breukstenen geplaatst worden. Het patroon dat de breukstenen moet vervangen wordt met de kraan aangebracht.	De oeverbescherming bestaat volledig uit beton, deze uitstraling heeft het ook. Het reliëf dat aangebracht wordt zal na verloop van tijd verwerken.
Terplekke storten met een structuurmatrijs in de bekisting verwerkt (alternatief 6)	Eerst moet een werkvloer gestort worden. Daarna wordt de bekisting in het werk gemaakt met de matrijsen daar tegen aan. Deze bekisting wordt vervolgens gevuld met beton of iets dergelijks waarbij de print zijn werk kan doen.	Hier is geen voegmiddel nodig.	0,20 m vezelbeton en 0,10 m beton of iets dergelijks	Totaal: € 11.177,36 Per m²: € 62,10	Er zullen houten platen en balken nodig zijn voor de bekisting die gemaakt moet worden voor daarin te storten.	Wat bij de prefab plaat met print geldt, is hier ook van toepassing. De grofheid is afhankelijk van de matrijs voor de structuurprint.	Op locatie	Het storten van het vezelbeton is niet echt intensief. Vervolgens moet de afwerklaag gestort worden, daar is een bekisting voor nodig die gemaakt moet worden wat tijd zal kosten.	Hier geldt hetzelfde als bij prefab platen met printbeton. Het is enkel beton en dat zal na enkele jaren waarschijnlijk verwerken.

Methoden	Voordelen	Nadelen
Alternatief 1 Oeverbescherming uit één plaat met structuurmatrijs	- Niet arbeidsintensief bij plaatsen - Goede kwaliteit, in de fabriek gemaakt. - Plaatsen gaat in 1,5 dag, dit is vrij snel	- Rechte platen, hoekig en strak uiterlijk - Dezelfde kleur (grijs) - Weinig verschil in grootte van de stenen, daardoor mindere grofheid van het plaatoppervlak - Lange productieduur van de platen bij deze prijs (in verband met aantal structuurmatrijs) - De naden van platen moeten afgekit worden en de platen moeten met haken geplaatst worden - Meer transport bewegingen - De platen moeten precies tussen de damwanden passen
Alternatief 2 Oeverbescherming uit één plaat met breuksteen erin verwerkt	- Niet arbeidsintensief bij plaatsen - Goede kwaliteit, in de fabriek gemaakt - Mooie uitstraling en grove ruwheid in plaatoppervlak door de stenen - Plaatsen gaat in 1,5 dag, dit is vrij snel	- Rechte platen, hoekig en strak uiterlijk - Arbeidsintensief bij het maken van de platen - Platen moeten afgekit worden. - Meer transportbewegingen - De platen moeten precies tussen de platen passen - Bedrijven hebben weinig tot geen interesse om deze te produceren
Alternatief 3 Nature betonblok (producent Agri-Beton)	- Mooie uitstraling met iets mindere grofheid van het plaatoppervlak als bij echt breuksteen - Goede kwaliteit, in de fabriek gemaakt - Niet arbeidsintensief bij plaatsen	- Openstaande ruimtes moeten handmatig opgevuld worden - Blokken moeten afgekit worden en met haken geplaatst worden - Blokkenmaat past niet goed in deze vispassage - Kost veel meer dan de traditionele methode
Alternatief 4 Betonblokkenmat met natuursteen (producent RCP Concrete Solutions)	- Zeer snel en eenvoudig aan te brengen - Heeft een mooie uitstraling door de stenen - Niet arbeidsintensief bij plaatsen - Geen hoekig en strak uiterlijk	- Afkomstig uit West-Engeland, dus veel transportbewegingen en kosten - Zeer duur product, kost twee keer zoveel als het traditionele product - Voegen moeten opgevuld worden met een voegmiddel
Traditionele werkwijze (beton en lijm mortel storten en breuksteen aanbrengen)	- Grote grofheid door uitstulpingen van de breukstenen (voor de vissen) - Door het ter plekke storten kan er maatwerk gemaakt worden - Mooie uitstraling door de breukstenen - Vrij goedkoop vergeleken met overige methoden	- Het is zeer arbeidsintensief door de zware breukstenen.
Alternatief 5 Beton storten, oppervlakkig materiaal met een print bewerken	- Het is weinig arbeidsintensief werk - Er kan een grote grofheid gerealiseerd worden, afhankelijk van de mal. - Maatwerk is mogelijk	- Er is geen natuurlijke uitstraling - Deze methode is nog niet getest, het kan zijn dat door trillen van het trilblok de beton onderuit zakt. - Doordat het een betonproduct is, kan het gaan verweren.
Alternatief 6 Terplekke storten met een structuurmatrijs in de bekisting verwerkt	- Het is minder arbeidsintensief dan breukstenen - Er kan maatwerk gemaakt worden doordat het geen prefab betonplaten zijn.	- Deze methode kost veel meer tijd, doordat de prijs gebaseerd is op één bekken per dag - De oeverbescherming heeft als geheel dezelfde kleur - Er mogen geen maatverschillen tussen de damwanden zijn, anders past de mal niet. - Weinig grofheid van het wandoppervlak van de oeverbescherming - Als bijvoorbeeld grond inzakt of iets in de bekisting waait is het niet te controleren

Bijlage 10 CO₂-uitstoot parameters

In Tabel 40 hieronder is te zien hoeveel CO₂ een energiebron per eenheid produceert. Dit zijn well-to-wheel getallen, dat wil zeggen dat de CO₂-uitstoot bij winning en het raffinageproces van olie of de productie van elektriciteit worden meegenomen. Deze getallen komen uit het overzicht emissiefactoren van de website www.emissieberekenen.nl.

Energiebron	Eenheid	CO ₂ -uitstoot per eenheid (kg)
Benzine	Liter	2,780
Diesel	Liter	3,135
Stroom	kWh	0,455

Tabel 40 Emissie

Het brandstofgebruik of stroomgebruik van het te gebruiken materieel is bepaald met productbladen en ervaringscijfers. Door de benodigde uren te vermenigvuldigen met het brandstof- of stroomverbruik is er met die getallen vervolgens de CO₂-uitstoot bepaald. Hieronder in Tabel 41 is te zien hoeveel het materieel per uur verbruikt en welke CO₂-uitstoot daarbij hoort.

Materieel	Energiebron	Verbruik	Eenheid	CO ₂ -uitstoot per uur (kg)
Aggregaat europower generators, Honda GX200 motor	Benzine	1,0	Liter/uur	2,78
Kettingzaag	Benzine	2,4	Liter/uur	6,67
Trilstamper Wacker BS 50-2	Benzine	1,0	Liter/uur	2,78
Kraan (HGM) Cat 320DL	Diesel	15	Liter/uur	47,03
Bronbemaling, BBA pumps PT60 B-Compact	Diesel	1,5	Liter/uur	4,70
Boormachine	Stroom	0,6	kWh	0,27
Cirkelzaag	Stroom	2,0	kWh	0,91

Tabel 41 Verbruik materieel

De boormachine en cirkelzaag zijn alleen in bij de innovatieve methode meegenomen in de berekening omdat in de werkplaats de stroom van het net komt. In de traditionele methode wordt de stroom ter plekke opgewekt door een aggregaat, welke al CO₂-uitstoot of er nu stroom wordt afgenomen of niet. De CO₂-uitstoot van de boormachine en cirkelzaag worden daarom niet meegenomen bij de traditionele methode. Zoals te zien is in Tabel 40 hierboven produceert het gebruik van stroom zes keer zo weinig CO₂ als diesel of benzine.

Bijlage 11 Andere materialen

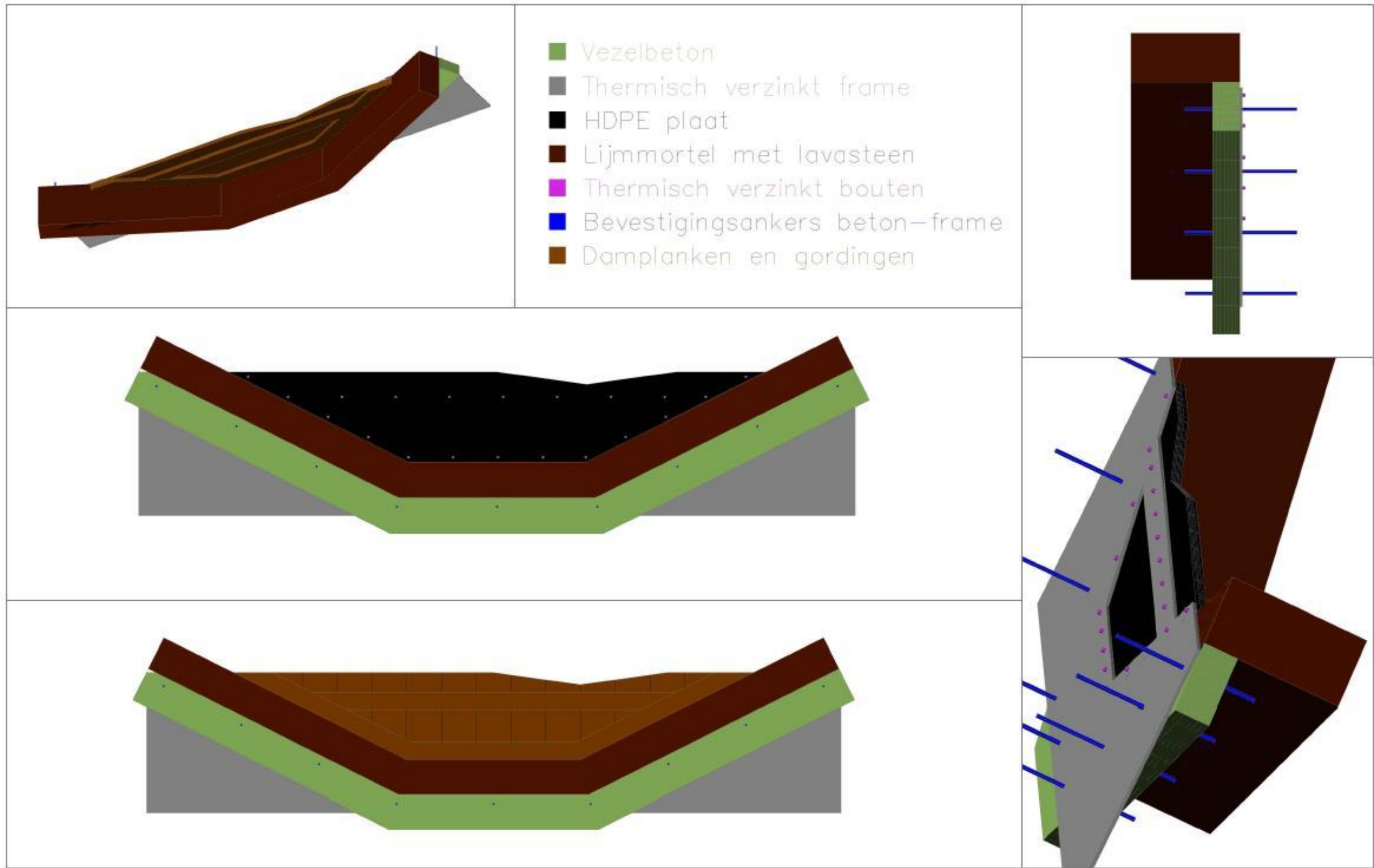
Materiaal	Levensduur	Kosten	Recyclebaar	Mechanische eigenschappen	Bewerkbaar	Aantasting	Uitstraling
HDPE (hoge dichtheid polyethyleen)	Zeer lange levensduur. Nog geen exacte waarden.	Verschillende prijzen op de markt, Het is iets goedkoper dan PP. Onderstaande prijzen zijn afkomstig van Merrem kunststoffen. • Plaat van 20 mm dik: 88,85 €/m² • Plaat van 25 mm dik: 111,00 €/m² • Plaat van 30 mm dik: 133,20 €/m²	Veilig materiaal dat uitstekend recyclebaar is.	Elasticiteitsmodulus: 900 N/mm ² Treksterkte: 22 N/mm ² Buigsterkte: 30 N/mm ²	HDPE is goed bewerkbaar (zagen, boren), het is tevens lasbaar.	• UV-bestendig • Bestand tegen chemicaliën, oplosmiddelen en zuren • Hoge slagvastheid	Meestal verkrijgbaar in wit, zwart en groen. Zwart is het beste tegen UV, daar is een stof aan toegevoegd. Een egale plaat ziet er minder natuurlijk uit, maar er zou een patroon in gefreesd kunnen worden dan lijken het planken.
PP (polypropyleen)	Zeer lange levensduur. Nog geen exacte waarden.	De prijzen op internet verschillen sterk. Onderstaande prijzen zijn afkomstig van Merrem kunststoffen. • Plaat van 20 mm dik: 90,60 €/m² • Plaat van 25 mm dik: 113,25 €/m² • Plaat van 30 mm dik: 135,90 €/m²	Het is volledig recyclebaar zonder dat er gevaarlijke stoffen vrijkomen	Elasticiteitsmodulus: 1450 N/mm ² Treksterkte: 33 N/mm ² Buigsterkte: 44 N/mm ²	PP is prima te bewerken. Naast zagen of frezen is het materiaal ook te lassen	• UV-bestendig • Bestand tegen chemicaliën, oplosmiddelen en zuren • Bacterie werend • Hoge kleurvastheid • Sterke corrosieweerstand	PP is voornamelijk te verkrijgen in wit en zwart, dit heeft als egale plaat niet echt een natuurlijke uitstraling, maar er kunnen bijv. planken in gefreesd worden.
Thermisch verzinkt staal	Het milieu waarin het verzinkt staal voorkomt is platteland. Bij een zinklaag van 70 µm is de levensduur 45-70 jaar	De kosten om te verzinken worden over het algemeen berekend per kilogram staal, dit is ongeveer €0,80 per kilo. Daarnaast komen de kosten voor het staal er nog bij.	Bij het opnieuw maken (hergebruiken) van staal, wordt het aanwezige zink terug gewonnen en hergebruikt.	Zink is harder dan de meeste andere coatingsmaterialen omdat er ijzer-zink legeringen ontstaan tijdens het thermisch verzinken. Verzinken tast de mechanische eigenschappen van het staal niet aan.	Nadat het staal verzonken is, is het niet de bedoeling dat dit nog bewerkt wordt. Mocht dit wel het geval zijn, dan moet een nieuwe coating aangebracht worden op het aangetaste stuk.	• Hoge weerstand tegen slijtage • Onderroestvorming treedt niet op • Kathodische bescherming (krassen en kleine beschadiging geven geen roest) • Langdurig corrosiebestendig	Mogelijk kleurverschillen bij verschillende materialen. Verzinkt materiaal heeft over het algemeen een zilverachtige uitstraling.
Hout-kunststof composiet (Deltawood Damplanken)	Houtklasse I-II (dezelfde als Azobé hout)	De damplanken kosten 17,05 €/m' De afdekprofielen kosten 5,95 €/m'	Dit materiaal bestaat al voor een 75% uit gerecycleerd afvalhout en 25% PP. Bij schoon afval kan dit gebruikt worden voor nieuwe productie. Bij vuil afval kan dit afgevoerd worden als gewoon hout.	Elasticiteitsmodulus: 3200 N/mm ² Buigsterkte: 17,1 N/mm ²	Dit materiaal is in principe bewerkbaar zoals Azobé. Zagen, boren en schroeven is geen enkel probleem.	• Het procentuele gewichtsverlies van de damplanken ligt lager dan dat van Azobé.	De Deltawood damplanken vergrijzen na verloop van tijd, ze krijgen dus dezelfde uitstraling als Azobé hout.

<http://www.proga.nl/page/PP-Eigenschappen.htm>

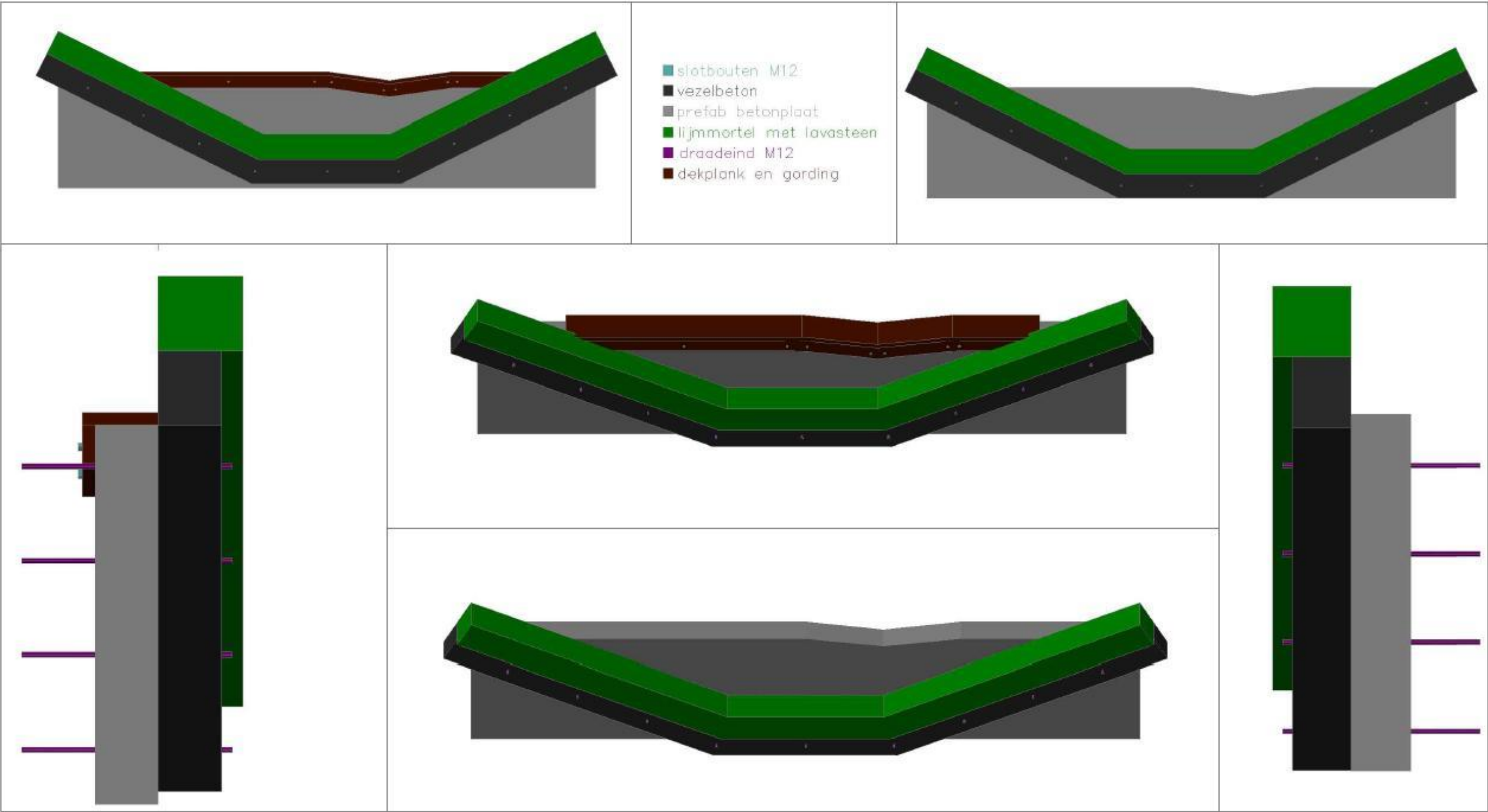
<http://www.proga.nl/page/HDPE-Eigenschappen.htm>

Rapport Oranjewoud Deltawood oeverbeschoeiing

Bijlage 12 Impressieschetsen van alternatieven voor overlaat of treden



Afbeelding 29 Verzonken stalen frame



Afbeelding 30 Prefab beton plaat

