

Van XblocPlus naar EcoblocPlus

Ecologische toepassingen op het ontwerp van betonnen zeeweringsblokken



Door

G.B. Demmers 1640150

T.J.L. Janssen 1605228

Bachelor scriptie

Civiele Techniek

Academie Built Environment

HAN University of Applied Sciences

Onder begeleiding van:

MSc. B. Reedijk (BAM Infraconsult BV)

MSc. T. Ruwiel (BAM Infraconsult BV)

MSc. E. Rob (HAN University of Applied Sciences)

MSc. T. Beuker (HAN University of Applied Sciences)

Dinsdag 23 mei 2023

Van XblocPlus naar EcoblocPlus

Ecologische toepassingen op het ontwerp van betonnen zeewering

Begeleiders:

BAM Infraconsult BV

Bas Reedijk, Hoofd afdeling Water (kustwaterbouw/ water management)

E-Mail: bas.reedijk@bam.com

Tel. 06-51571085

Tim Ruwiel, Specialist kustwaterbouw

E-Mail: tim.ruwiel@bam.com

Tel. 06-23467512

HAN University of Applied Sciences

Ernst Rob

E-Mail: ernst.rob@han.nl

Tel. 06-55208743

Thomas Beuker

E-Mail: thomas.beuker@han.nl

Tel. 06-55208739

Auteurs:

Giel Boele Demmers (1640150)

E-Mail: giel@giromaha.nl

Tel. 06-83903312

Tim Jan Lajos Janssen (1605228)

E-Mail: tim.jl.janssen@gmail.com

Tel. 06-83072373

Voorwoord

Dit afstudeeronderzoek is het laatste onderdeel van onze studie Civiele Techniek aan de HAN in Arnhem. Bij dit onderzoek hebben wij de ecologische mogelijkheden voor de XblocPlus onderzocht om zo flora en fauna in de getijdzone te kunnen stimuleren. Dit onderzoek hebben wij in opdracht gedaan voor BAM Infra Consult bv. Tijdens het onderzoek hebben zij ons dan ook steun verleend waar nodig en hebben zij hun faciliteiten beschikbaar gesteld om dit onderzoek te kunnen doen.

Tijdens het doen van een literatuurstudie over de ecologische mogelijkheden hebben verschillende ecologen ons geholpen om een zo goed mogelijk onderzoek te kunnen doen, hiervoor willen wij in het speciaal Peter Paalvast van Ecoconsult en Tijn Essens van de BAM bedanken. Zij hebben ons niet alleen geholpen door het geven van literatuur maar ook door met ons te praten en zo extra informatie te geven.

Vanuit BAM Infra willen wij in het bijzonder Tim Ruwiel en Bas Reedijk bedanken. Bas willen wij bedanken vooral voor de hulp tijdens het literatuuronderzoek, voor zowel het aanbieden van interessante ecologische studies als zijn kennis met betrekking tot de XblocPlus. Tim willen wij graag bedanken voor het geven van kennis met betrekking tot de XblocPlus en voor alle hulp die Tim ons geboden heeft tijdens de praktijkonderzoeken in het lab, ook als het al later in de avond was en wij nog aan het testen waren vond Tim het geen probleem vanuit huis toch nog op onze Teams berichten te reageren.

Vanuit de HAN willen wij ook graag Ernst Rob en Thomas Beuker bedanken voor de steun vanuit school tijdens ons onderzoek. Tijdens dit afgelopen half jaar hebben zij ons geholpen onze scriptie te verbeteren door het geven van bruikbare feedback en door tijdens vergaderingen actief met ons mee te denken over hoe dit eindverslag eruit zou moeten komen te zien.

Verder willen wij onze medestudenten nog bedanken voor de afgelopen vier jaar. Ondanks dat we door COVID-19 niet alle lessen samen gevolgd hebben willen we jullie bedanken voor het delen van de kennis tijdens project en bij het leren van tentamens. Ook willen we jullie bedanken voor de tijd buiten COVID-19 waarbij we het gezellig met jullie hebben gehad en waardoor de opleiding ook een stukje leuker werd.

Tot slot willen we onze familie en vrienden bedanken. Allereerst willen we jullie bedanken voor deze afgelopen paar weken waarbij jullie onze scriptie gecontroleerd hebben en ons gedrukt hebben op iedere taalkundige fout die jullie konden vinden. Ook willen we jullie nog bedanken voor jullie steun, niet alleen tijdens het afstuderen maar tijdens de gehele studie.

*Giel Demmers & Tim Janssen
Nijmegen, mei 2023*

Abstract

XblocPlus is a single layer armour unit developed by BAM Infra Consult. The XblocPlus is the successor of the Xbloc and one of the main changes is that it is placed in a uniform pattern. Most of its hydraulic stability comes from the interlocking that the XblocPlus does. XblocPlus consists entirely of concrete. Animals and plants find it difficult to settle on concrete because of its slippery surface. XblocPlus has a water-retaining function and will be used by people on many constructed coasts and breakwaters. By removing nature here and replacing it with concrete blocks, the flora and fauna in these areas will be lost. It is necessary to find a solution where water can be turned without losing the flora and fauna so that existing ecosystems can continue to exist and biodiversity is not affected. This research will therefore examine the smart ecological applications to stimulate flora and fauna in the tidal zones without the XblocPlus losing its stability and function. Because the installation of profiles and constructions only makes a positive contribution to stimulating flora and fauna in the tidal area in the first two years after installation, it was decided not to investigate this further. Tide pools create microclimates that stimulate flora and fauna, therefore this study only discusses the stimulation of flora and fauna through the construction of tidal pools. Research will be done into the different climates and which adjustments within those climates will have the most positive influence. In each climate, different adaptations are important for stimulating the flora and fauna. For example, it is important for a tropical and dry climate that the pools can provide shade. This way the water stays cooler, and salinity can be avoided. For the temperate climate it is important that the pool is as large as possible and that it has varying shapes, this provides more complexity and more species.

Based on the knowledge gained from the literature study, five unique designs were made. Two designs prioritized block stability and retained a hole. Ecology was paramount in the other three designs, so there are no holes in these blocks to reduce the water pressure from below. Different climates have also been taken into account when making the designs, for example, for the temperate climate, care has been taken that the tidal pool is as large and complex as possible, while shade has also been added for dry climates. These were scaled to a scale of 1:54 and then tested in the wave flume of BAM Infra Consult. These tests have been carried out to see whether, when the flora and fauna are stimulated, the requirements based on the hydraulic stability are also met. Finally, the designs were assessed on the basis of their hydraulic stability and ecological benefit, and the conclusion stated which design best meets the main question.

The results of the research can be summarized as:

- Alternatives 1 and 3 have the most positive ecological impact.
- All alternatives remain stable during testing. This ensures that the alternatives with the greatest ecological impact can be chosen.
- The hole in the XblocPlus can be removed for the EcoblocPlus to create larger tide pools. Adjustments as with alternative 5 turned out not to be feasible because making them turned out to be too difficult.

Inhoudsopgave

Voorwoord	iii
Abstract	iv
1. Aanleiding	1
2. Probleemstelling	2
2.1. Probleemstelling	2
2.2. Doelstelling	2
2.3. Hoofdvraag	3
3. Afbakening	3
4. Methodologie	4
4.1. Literatuurstudie	4
4.2. Interviews	4
4.3. Proeven	5
5. Opzet fysische schaaltesten	5
5.1. De golfgoot	5
5.2. Ontwerpgolfhoogte	6
5.3. Golfsteilheid	6
5.4. Waterdiepte	6
5.5. Vooroever	6
5.6. Opbouw golfbreker	6
5.7. Onderlaag	7
5.8. Kern	7
5.9. Doorsnede	8
5.10. Meetapparatuur	8
5.11. Het maken van de blokken	8
6. Test informatie	9
6.1. Schade definitie en schade registratie	9
6.2. Definitie van schade	9
6.3. Het registreren van schade	11
6.4. Test programma	11
6.5. Testcondities	11
6.6. Blokcondities	12
6.7. Testprocedure	12
7. Resultaten	13
7.1. Resultaten volgens uit de literatuurstudie	13
7.2. Keuze voor ontwerpen	16
7.3. Resultaten van de testen	19
8. Conclusie	22
9. Discussie	24
10. Aanbevelingen	25

10.1. Verdere testen.....	25
10.2. Maximaliseren van het ontwerp.....	25
10.3. Plaatsen van de EcoblocPlus.....	25
10.4. Maken van de EcoblocPlus.....	25
10.5. Testlocaties	25
10.6. Trapconstructie aanbrengen	25
Bibliografie	26

1. Aanleiding

In een maatschappij en werkveld waarin de afgelopen jaren veel in het teken staat van het bevorderen van duurzame oplossingen en innovaties is er nog veel te onderzoeken naar mogelijke oplossingen voor de problemen die er zijn, zoals klimaatverandering en verlies van biodiversiteit. Ook wordt er tegenwoordig veel gekeken naar hoe meerdere disciplines samen kunnen werken om win-win situaties te creëren waar iedereen baat bij heeft. Dit principe wordt ook wel meervoudige waarde creatie genoemd. Binnen de civiele techniek is dit concept goed toe te passen doordat men binnen projecten veel te maken heeft met veel verschillende belanghebbenden waarvan de natuur een essentiële is.

Kustgebieden zijn hier een goed voorbeeld van. Urbanisatie is groter in laag gelegen kustgebieden dan op andere plekken. Dit komt mede doordat bijna twee derde van alle stedelijke gebieden met meer dan 5 miljoen inwoners in deze laaggelegen kustgebieden leeft. Urbanisatie leidt dan ook tot veranderingen in hoe het land gebruikt wordt en veranderingen in de lokale ecosystemen en biodiversiteit van deze gebieden (Seto, Fragkakis, Güneralp, & Reilly, 2011). Door de urbanisatie van deze laaggelegen kustgebieden moeten veel van de leefgebieden aan de kust en in getijdenzones plaatsmaken voor kustverdediging die de achterliggende infrastructuur en bebouwing moet verdedigen tegen het water (Chapman & Underwood, 2011). Dit in combinatie met een verwachte zeespiegelstijging, die volgens het KNMI ergens tussen de 0,3 m en 1,2 m ligt voor 2100. Waarbij zelfs 2,0 m zeespiegelstijging in extreme gevallen voorspelt wordt voor 2100 (Rijksoverheid, 2023). Dit betekent dat er de komende jaren veel geïnvesteerd zal moeten worden om huidige kustverdedigingen en nieuw aan te leggen kustverdedigingen tegen hoge waterstanden en steeds extremer weer bestendig te maken.

Het verlies van habitat is ook goed te zien als er wordt gekeken naar de Living Blue Planet Report (2015) uitgebracht door WWF en Zoological Society of London (ZSL). Hierin staat dat er tussen 1970 en 2012 er een daling was 49 procent in de populaties van het zeeleven op basis van 5829 populaties van 1234 soorten. Waarbij een groot gedeelte van deze daling in populaties is gelinkt aan het feit dat de leefgebieden van deze soorten sterk is afgenomen in dezelfde tijdsperiode (WWF-ZSL, 2015). Er is een combinatie nodig tussen het verbeteren en nieuw aan leggen van kustverdediging en de flora en fauna in de gebieden waarin het wordt toegepast om te voorkomen dat deze daling verder doorzet en er nog meer verlies van biodiversiteit optreedt binnen deze ecosystemen.



Figuur 1: Plaatsingspatroon XblocPlus (L) & zij aanzicht XblocPlus (R) (Reedijk, Eggeling, Bakker, Jacobs, & Muttray, 2018).

Door de effecten van klimaatverandering is zeespiegelstijging en ook extremer weer voorspelt, dit heeft ook effect op het golfklimaat. Er zullen door deze effecten in de toekomst hogere golven verwacht worden, dit houdt in dat kustverdedigingen steeds zwaarder uitgevoerd dienen te worden om deze verandering in golfklimaat aan te kunnen. Om aan deze vraag naar kustverdedigingen die opgewassen zijn tegen de effecten van klimaatverandering te voldoen, heeft Delta Marine Consultants (DMC) samen met de BAM, zeeweringsblokken genaamd 'XblocPlus' (figuur 1) ontwikkeld tussen 2015 en 2018 (Xbloc, 2023). XblocPlus is in vergelijking met gewone kustverdedigingen die vooral bestaan uit breuksteen, goedkoper en door reductie in materiaalgebruik ook lager in CO₂-emissies. Op basis van casestudies ligt de verlaging in kosten ligt ergens tussen de 42 en 57%. De besparing in CO₂-emissies ligt tussen de 32 en 47% kijkend naar het huidige en toekomstige golfklimaat.

Voor XblocPlus geldt ook dat er voor zowel het huidige als het toekomstige golfklimaat geen onderhoud aan de kust verdediging nodig is. In vergelijking met een normale golfbreker met breuksteen waarbij er een kans wordt geacht van 77% kans op 3 reparaties bij toekomst golfklimaat voor de eerste casestudie. En waarbij er een kans van 89% op 1 reparatie voor casestudie 2 in het toekomstige golfklimaat wordt geacht (Bakker, Ghonim, van der Kooij, Donnelly, & Qian, 2023). Echter wordt er met XblocPlus nog geen rekening gehouden met het stimuleren van flora en fauna binnen de kustverdediging. Ook als er wordt gekeken naar andere vormen van kustverdediging wordt hier nog vrijwel geen rekening mee gehouden, daarnaast zijn er wel studies gedaan naar het stimuleren van flora en fauna op harde werken (denk aan (Bishop, Vozzo, Mayer-Pinto, & Dafforn, 2022) (Browne & Chapman, 2014) (Waltham & Sheaves, 2018)). De ontwerpen in deze studies zijn erop gericht om alleen flora en fauna te stimuleren en er wordt geen rekening gehouden met de functie en stabiliteit die kustverdediging dient te hebben om het achterliggende land te beschermen.

2. Probleemstelling

Zoals in de aanleiding omschreven staat is er steeds meer een vraag naar zeeweringen die rekening houden met flora en fauna. BAM heeft de afgelopen jaren drie verschillende soorten zeeweringen op de markt gebracht namelijk; de Xbloc, de XblocPlus en de Xstream. Deze zeeweringen zijn allen bedoeld om het land te beschermen tegen water, maar hierbij wordt niet gekeken naar hoe de ecosystemen aan de kust hierdoor veranderen. Op basis hiervan is er voor dit onderzoek een probleem ontstaan met daaruit voortvloeiend een hoofdvraag. In dit hoofdstuk wordt de probleemstelling duidelijk, wordt de doelstelling van dit onderzoek duidelijk en wordt de hoofdvraag opgesteld.

2.1. Probleemstelling

De XblocPlus zeeweringen blokken die de BAM samen met Delta Marine Consultants (DMC) heeft ontwikkeld, hebben op het moment maar één werking namelijk het stoppen van water. BAM geeft in zijn missie en visie aan bij het bouwen alle stakeholders zo goed mogelijk tevreden te houden. In de huidige situatie hoort zeeleven ook bij deze stakeholders en dus moet er ook met hen rekening worden gehouden. De huidige XblocPlus biedt te weinig bescherming aan de flora en fauna, in zout water getijdengebieden, door zijn gladde structuur. Het aanpassen van deze structuur kan zorgen voor een instabieler XblocPlus, waardoor deze zijn waterkerende werking verliest. Een andere structuur van XblocPlus kan leiden tot hogere kosten in het productieproces. Ook kan een andere structuur ertoe leiden dat de productie zo veel meer materiaal vergt, dat de nieuwe blokken niet toe te passen zijn in de praktijk. De doelstelling van dit onderzoek is dus dat er gekeken moet worden naar een oplossing waarbij de XblocPlus wel voldoende bescherming biedt aan flora en fauna in zout water getijdengebieden zonder dat deze zijn primaire functie en voordelen ten opzichte van concurrerende zeeweringen verliest en daarbij niet dusdanig wordt aangepast niet meer toepasbaar te zijn in de praktijk.

2.2. Doelstelling

De doelstelling van dit afstudeeronderzoek is om op basis van de ecologische onderzoeken die er al gedaan zijn te onderzoeken welke ontwerp aanpassingen er gedaan kunnen worden om zoveel mogelijk flora en fauna te stimuleren, zonder dat de zeeweringsblokken hun functie verliezen. Daarbij wordt een ontwerp opgeleverd dat flora en fauna in zoutwater getijdengebieden stimuleert, maar zijn functie behoudt.

2.3. Hoofdvraag

Uit de probleemstelling werd duidelijk dat er een vraag is naar een onderzoek waarbij de XblocPlus zo kan worden aangepast dat deze een positieve werking heeft voor de flora en fauna om de blokken heen, zonder dat deze blokken zijn primaire functie en voordelen ten opzichte van alternatieve zeeweringen verliest. Uit dit probleem is de volgende hoofdvraag ontstaan:

“Op welke slimme manier kunnen er aanpassingen gedaan worden aan XblocPlus om flora en fauna in zoutwater getijdengebieden te stimuleren, zonder het verlies van stabiliteit en functie?”

Deze hoofdvraag gaat beantwoord worden door het onderzoek op te delen in twee delen. Het eerste deel zal bestaan uit literatuuronderzoek en interviews. Hier zal informatie worden verzameld door gegevens van ecologen te verzamelen en te bestuderen. Dit eerste deel van het onderzoek zal inzicht geven in welke aanpassingen een positieve invloed zouden hebben op het stimuleren van flora en fauna. Op basis van dit onderzoek zullen verschillende ontwerpen, van nieuwe XblocPlus varianten, gemaakt worden. Het tweede deel van dit onderzoek zal bestaan uit proeven die de stabiliteit van deze ontwerpen testen.

3. Afbakening

Om dit onderzoek in de beschikbare tijd haalbaar te maken, zijn er enkele randvoorwaarden om te garanderen dat het onderzoek dit binnen de tijdsperiode volledig af te ronden is. Deze randvoorwaarden zijn als volgt:

- Het onderzoek wordt gelimiteerd tot ontwerp aanpassingen op XblocPlus blokken, aangezien ook kijken naar andere materiaaltoepassingen niet haalbaar is binnen deze tijdsperiode.
- De ontwerpen dienen ecologische toepassingen te voorzien op XblocPlus, op basis van onderzoek ten behoeve van flora en fauna in zoutwater getijdengebied.
- De ontwerpen dienen toepasbaar te zijn binnen XblocPlus maar mogen in vorm afwijken van het originele model.
- Ontwerpen dienen hun functie en stabiliteit te behouden.
- Ontwerpen dienen doormiddel van proeven getest te worden om te bewijzen dat deze hun functie en stabiliteit niet verliezen.
- Proeven worden gedaan volgens opzet uit vorige studies naar de ontwikkeling van XblocPlus om op deze manier de betrouwbaarheid van deze studie te vergroten.
- Er dient een 0-meting gedaan te worden om eventuele afwijkingen met voorgaande opzetten uit te sluiten.
- De ecologische ontwerpaanpassingen zullen zich toespitsen op het creëren van getijdenpoelen, omdat structuur/textuur aanbrengen minimale resultaten met zich meebrengt volgens wat naar voren is gekomen uit de literatuurstudie.
- Het onderzoek wordt beperkt tot 5 ontwerpen die getest gaan worden, aangezien het testen van een tweede batch te veel tijd zou kosten.

4. Methodologie

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van verschillende methodes om antwoord te kunnen geven op de vraag welke ecologische ontwerpaanpassingen er aan XblocPlus gedaan kunnen worden, om flora en fauna te bevorderen op een economisch haalbare manier zonder dat de stabiliteit en functie van de blokken in het geding komen. Er gebruik gemaakt van een literatuuronderzoek, interviews en proeven om deze vraag zo volledig en valide mogelijk te kunnen beantwoorden.

4.1. Literatuurstudie

De literatuurstudie bestaat uit twee onderdelen waarin in het eerste gedeelte zich toespitst op wat ecologisch ontwerpen is en welke ontwerpaanpassingen het meest effectief zijn in bevordering van flora en fauna. Deze gegevens willen we gebruiken als basis voor de ontwerpen om een ontwerp te creëren dat daadwerkelijk ook significante positieve effecten heeft op flora en fauna. Er zijn onderzoeken gebruikt, die kijken naar de effecten op biodiversiteit en de soorten rijkheid van het ecosysteem wanneer hier aanpassingen gedaan wordt aan de kustverdediging. De aanpassingen aan deze kustverdedigingen zijn het toevoegen van vormen, structuren en het aanbrengen van getijdenpoelen op harde substraten. Voor dit gedeelte van het onderzoek is ook gekeken naar drie verschillende klimaten waarin deze onderzoeken zijn uitgevoerd, om rekening te houden met de brede toepasbaarheid die deze blokken hebben. Bij het tweede deel van de literatuurstudie wordt ingegaan op de XblocPlus zelf en de daarbij behorende faalmechanisme, destabiliserende krachten, stabiliserende krachten, de wijze van het verschalen van de blokken voor de proeven en de proefopstellingen/wijze van onderzoek van voorafgaande scripties naar de stabiliteit van XblocPlus. Op basis van deze informatie kan de definitieve proefopstelling bepaald worden en onze eigen onderzoeks- en proefopstelling(en) gevalideerd worden, zodat de bevonden resultaten ook een betrouwbaar beeld schetsen van de werkelijkheid.

4.2. Interviews

Interviews binnen dit onderzoek zijn gedaan om de conclusies en gevonden resultaten uit de onderzoeken in de literatuurstudie te bevestigen en om te sparren over de ontwerp ideeën/richting van het onderzoek. Door het hier met ecologen en experts op dit gebied over te hebben, vergroten we de betrouwbaarheid van de literatuurstudie en wordt urgentie van onderzoek op dit gebied gevalideerd. Voor deze interviews zijn een tiental ecologen benaderd via LinkedIn, die voor verschillende instellingen werken binnen dit vakgebied. Hiervan hebben we van vijf ecologen een reactie gehad, deze reacties waren allen positief over het onderwerp en de essentie ervan. Op basis van deze reacties hebben we een mail opgesteld en verstuurd naar deze mensen met een uitnodiging om samen met ons te 'sparren' over dit onderwerp en hun inbreng hierover aan te horen. Twee ecologen zijn op dit aanbod ingegaan en hebben met ons hierover gesproken, de notulen van deze interviews zijn opgenomen in de procesbijlage.

4.3. Proeven

Door BAM zijn er eisen gesteld aan de stabiliserende krachten van de XblocPlus. Om te garanderen dat de ecologische ontwerpen deze stabiliserende krachten niet verliezen worden er schaalmodeltesten gedaan in het waterlaboratorium van BAM. Op basis van deze proeven kan worden gesteld of een ontwerp volledig voldoet aan de gestelde eisen uit de hoofdvraag en het programma van eisen of er kan worden gesteld dat deze ontwerpen niet voldoen en moeten worden aangepast om wel aan deze eisen te voldoen.

Dit hoofdstuk begint met het geven van informatie over de golfgoot, de ontwerpgolfhoogte, golfsteilheid, waterdiepte, de vooroever, hoe de golfbreker wordt opgebouwd en welke apparatuur gebruikt wordt om de kwaliteit van de testen te waarborgen. Vervolgens zal worden ingegaan op de test informatie, hierbij worden de manieren van falen benoemd, het testprogramma wordt gepresenteerd, de testcondities worden toegelicht en de blokcondities worden bekend gemaakt.

5. Opzet fysische schaaltesten

Het voornaamste doel van schaaltesten is het nabootsten van een werkelijke situatie waarin de golfbreker getest kan worden. Met het doen van deze testen en de resultaten hieruit voortvloeiend kunnen de ontworpen modellen worden beoordeeld en kan de onderzoeksvraag worden beantwoord. Het is hierom van belang dat de testen en de nagebootste condities representatief zijn. Om het onderzoek goed te kunnen doen wordt er eerst een nulmeting gedaan, waarbij alleen XblocPlus gebruikt wordt. In de testen daaropvolgend worden de gemaakte ontwerpen getest. Voor zowel de nulmeting als de testen blijven de eigenschappen van de golven en de geometrie van de golfbreker hetzelfde.

5.1. De golfgoot

De schaalmodeltesten worden uitgevoerd in de golfgoot van BAM in het waterlaboratorium te Gouda. De golfgoot bestaat uit een lange rechthoekige tank met glazen wanden, aan een kant staat de golfgenerator en aan de andere kant staat de golfdemper om reflectiegolven tegen te gaan. De goot is 25 meter lang, 60 centimeter breed en 1 meter hoog. De maximale waterdiepte is 70 centimeter en maximaal kunnen de golven 30 centimeter hoog worden (Vos, 2017). In figuur 2 is een schematische weergave van de golfgoot te zien.



Figuur 2: Schematische weergave van de golfgoot in Gouda (Ruwiël, 2020)

De golfgenerator is in staat zowel regelmatige als onregelmatige golven te genereren. Tijdens de testen worden de golven onregelmatig gegenereerd volgens het JONSWAP-spectrum. De golven worden voorafgaand aan de testen geprogrammeerd met behulp van het softwareprogramma Wave Synthesizer. De geprogrammeerde golven kunnen echter afwijken van de gemeten golven en om deze reden zijn referentietesten noodzakelijk. De testen zijn onderverdeeld in runs. De duur van deze runs is zo gespecificeerd dat elke run ongeveer 1.000 golven bevat, dit is het aantal golven dat nodig is een goede weergave van het JONSWAP-spectrum te krijgen. Het genereren van de golven is gebaseerd op een standaard JONSWAP-spectrum met $\gamma = 3,3$, $\sigma_\alpha = 0,07$, $\sigma_b = 0,09$ en $\alpha = 0,0081$ (Ruwiël, 2020).

5.2. Ontwerpgolfhoogte

Om de ontwerpgolfhoogte te kunnen bepalen voor het schaalmodel moeten de waarden vergelijkbaar zijn met de waarden van de oorspronkelijke blokken.

Delta Marine Consultants heeft het ontwerpstabiliteitsgetal bepaald en dat deze 2,5 is. Voor de testen worden de standaard XblocPlus blokken gebruikt met daartussen de nieuwe ontwerpen. Van deze standaard

XblocPlus modellen is de waarde van D_n 2,91cm. De dichtheid van de blokken is 2360 kg/m³. Met deze gegevens kan de ontwerpgolfhoogte worden bepaald:

$$H_s = N_s * \Delta * D_n = 2,5 * \frac{2360 - 1000}{1000} * 2,91 = 9,9 \text{ cm}$$

5.3. Golfsteilheid

Volgens (Muttray, ten Oever, & Reedijk, 2012) zorgt een golfsteilheid van 2% voor intensievere falen in vergelijking tot een golfsteilheid van 4%. Een golfsteilheid van 2% sluit ook volgens (Ruwiel, 2020) beter aan bij de theorie over lift en sleepkrachten. Beide krachten zijn hier groter omdat ze afhankelijk zijn van de aanloopsnelheid. Ondanks dat 2% golfsteilheid naar verwachting voor intensiever falen zou zorgen wordt ook de 4% golfsteilheid getest, om het onderzoek zo representatief mogelijk te houden.

5.4. Waterdiepte

De afmetingen van de golfbreker en daarmee de opstelling van de test zijn afhankelijk van de diepte eisen. Voor het diepwat gedeelte kort bij de golfgenerator is de waterdiepte minimaal. Verder is een minimale waterdiepte bij de teen van de golfbreker ingesteld om zware golfbreking op het voorland te voorkomen. De grootste significante golfhoogte ($H_{s,max}$) wordt gebruikt om beide minimale waterdiepten te bepalen (Ruwiel, 2020). Hieruit volgt dat de minimale waterdiepte op het diepwaterdeel 62,9 cm is en bij de teen van de golfbreker is de waterdiepte 39,0 cm.

5.5. Vooroever

De vooroever is belangrijk voor de stabiliteit van de golfbreker. De vooroever speelt een belangrijke rol in het golfhoogteverloop tijdens de afnemende waterdiepte voor de constructie. Bij de vooroever wordt het water zowel ondieper als dat er golfbreking voorkomt. Over het algemeen is dissipatie als gevolg van brekende golven van grotere invloed dan het ondieper worden. Het niet toepassen van een vooroever zou zorgen voor de meest conservatieve voorwaarde voor het meten van de stabiliteit echter is dit geen realistische situatie. Meeste testen met betrekking tot de Xbloc en XblocPlus zijn uitgevoerd met een zeebodembelling van 1:30. Een belangrijke reden voor het toepassen van dit talud is dat het steiler en daardoor conservatiever is dan veel voorkomende vooroevers. Voor dit onderzoek is gekozen om een 1:30 voorland toe te passen om een goede vergelijking met andere testen mogelijk te maken (Ruwiel, 2020).

Om deze vooroever met een talud van 1:30 te realiseren worden er, net als in testen van de BAM, vooroeverpanelen in de stroomgoot geplaatst. Deze panelen zijn 2,5m lang. Om te voldoen aan de eisen gesteld in de vorige paragraaf wordt de lengte van de vooroever beperkt tot 7,5m. De minimale afstand tussen de golfgenerator en de vooroever is 3,5m, dit wordt gedaan om fouten kort bij de golfschoep te minimaliseren (Wolters, van Gent, Allsop, & Hamm, 2009).

5.6. Opbouw golfbreker

De golfbreker dient zo nauwkeurig mogelijk te worden nagebootst. In dit onderzoek wordt echter de hydraulische stabiliteit van de vernieuwde XblocPlus blokken onderzocht, hierom wordt de teen- en kruinstabiliteit buiten beschouwing gelaten. Om te zorgen dat de teen en kruin van de constructie geen invloed zullen hebben op de resultaten van het onderzoek worden deze met een hogere stabiliteit gemaakt. Verder wordt de golfbreker voor zo ver mogelijk hetzelfde opgezet als eerdere testen, dit om zoals eerder al vermeld vergelijking met voorgaande testen mogelijk te maken. Om deze reden wordt er voor de opzet van de golfbreker een schaal aangehouden van 1:54. (Delta Marine Consultants, 2023) heeft onderzoek gedaan naar het talud waarop de XblocPlus het meest stabiel is. Door dit

Onderzoek is bepaald dat XblocPlus het meest stabiel is op een helling van 37° of een talud van 3:4, om deze reden zal er voor het opbouwen van de golfbreker een talud van 3:4 aangehouden worden.

5.7. Onderlaag

Uit de XblocPlus richtlijnen volgt dat de standaard vereisten voor de onderlaag $D_{n50} = 0,65m$ zijn. Wanneer dit verschaald wordt, lineaire met de blokken, komt dit uit op $D_{n50} = 0,012m$ voor de onderlaag. In het laboratorium zijn verschillende steenslagen beschikbaar, een hiervan is het steenslag 11,2mm tot 16mm. Deze steenslag wordt gebruikt voor de onderlaag omdat deze het meest overeenkomt met wat voortkomt uit de verschaling en omdat deze het meest gebruikt werd bij andere testen, op deze manier kan dit onderzoek met voorgaande onderzoeken worden gevalideerd.

5.8. Kern

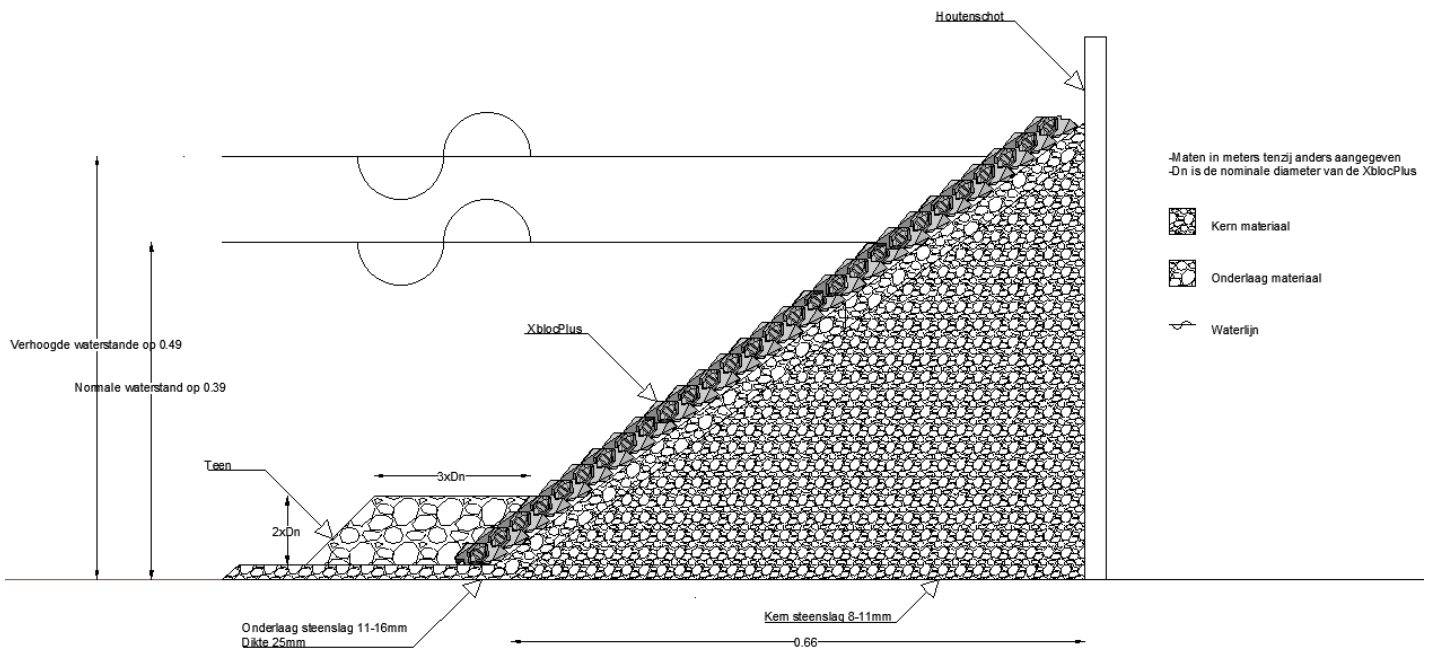
De kern van een golfbreker bestaat vaak uit breuksteen. Het meten van de nominale diameter van deze breuksteen is echter lastig doordat deze breuksteen restgesteentemateriaal uit de groeve is. De nominale diameter van een steen is dus sterk afhankelijk van de soort steengroeve en de ontploffing die gebruikt wordt voor het verkrijgen van de stenen. Dit maakt het verschalen voor het materiaal in de kern niet eenduidig. De onderstaande vergelijking kan echter wel worden toegepast en nominale diameter van de kern te vinden.

$$\frac{D_{n50,underlayer}}{D_{n50,core}} = 2 - 3$$

Met behulp van deze vergelijking kan er worden bepaald dat er een nominale diameter in de kern is van $D_{n50} = 0,31m$. Wanneer die geometrisch verschaald wordt ontstaat er in de kern een nominale diameter is van $D_{n50} = 0,005m$. Met deze gradering is naar alle waarschijnlijkheid de stroming in de kern van de golfbreker laminair. Om dit tegen te gaan zal er permeabel moeten worden geschaald. Door permeabel te schalen blijkt de nominale diameter in de kern $D_{n50} = 0,009m$ te zijn, hierbij is het Reynoldsgetal groter dan 300 waardoor de stroming turbulent blijft. Om validatie met voorgaande onderzoeken te kunnen waarborgen wordt er een steenslag met de gradatie 8mm tot 11mm aangehouden.

5.9. Doorsnede

In de onderstaande figuur is een dwarsdoorsnede van de golfbreker te zien.



Figuur 3: Doorsnede proefopstelling

5.10. Meetapparatuur

Golfmeters zijn nodig om de oppervlaktehoogte van water in de golfgoot te meten. Dit is noodzakelijk om de hoogte van de inkomende golven te kunnen waarborgen. De inkomende en reflecterende golven worden van elkaar onderscheiden door de analysemethode van Mansard & Funke (1980). De set golfmeters wordt geplaatst net voor de teen van de golfbreker. De set bestaat uit drie golfmeters om de oppervlakte hoogte juist te kunnen bepalen.

In de set wordt er tussen de eerste en tweede meter 0,3m en tussen de eerste en derde meter 0,7m afstand gehouden. Alle drie de meters meten de oppervlaktehoogte met een frequentie van 32Hz. De golfmeters dienen tenminste een afstand van $0,4 * L_p$ te hebben ten opzichte van de constructie om de beoordeling van inkomende golven kort bij de teen van de golfbreker te verbeteren (Ruwiel, 2020).

Tijdens de test wordt de golfbreker gemonitord met behulp van twee camera's. Dit om het waarnemen van falen makkelijker te maken. Er wordt een camera geplaatst recht voor het talud waarop de armourblokken zich bevinden. De andere camera wordt naast de goot geplaatst om de blokken vanaf de zijkant te kunnen observeren. De camera's nemen op met een kwaliteit van 1080p en 50fps.

5.11. Het maken van de blokken

Voor het testen van de nieuwe blokken, vanaf nu de EcoblocPlus, dienden er schaalmodellen gemaakt te worden. Om de schaalmodellen te maken waren er verschillende stappen vereist. Allereerst diende er een 3D schaalmodel geprint te worden, vervolgens moest er om deze blokken heen een rubberen mal gemaakt worden waar tot slot de schaalmodellen in gemaakt werden. Een specifieke uitwerking van het maken van de mallen en de schaalmodellen kan worden gevonden in bijlage A.

6. Test informatie

Bij het doen van de testen dient er met verschillende dingen rekening gehouden te worden. Er moet duidelijk zijn welke manieren van falen er zijn, wanneer deze als schade worden bepaald en hoeveel schade er in de armourlaag mag optreden. Ook moet er rekening gehouden worden met de test condities en de procedure van het testen. Al deze punten moeten voor alle testen gelijk zijn om een goed onderzoek te kunnen doen.

6.1. Schade definitie en schade registratie

In 'The Rock Manual' wordt omschreven dat iedere vorm van schade, in een enkel laags armourlaag, als falen wordt gezien en dat slechts lichte schommelingen van de armourblokken is toegestaan tijdens de ontwerpbelasting. Bij een belasting groter dan 20% ten opzichte van de ontwerpbelasting mag de armourlaag beperkt schade vertonen (CIRIA; CUR; CETMEF, 2007). Deze regels zijn er omdat er schade aan de blokken kan zorgen voor het plots bezwijken van een blok. Als een blok bezwiken is blijft de onderlaag onbeschermd voor de golven en kan de golfbreker in zijn geheel bezwijken.

Uit onderzoek van (Muttray, ten Oever, & Reedijk, 2012) blijkt dat de bescherming in een enkel laags armourlaag ontworpen is om geen schade te hebben. Zij stellen dat ook de schadeniveaus van 0 tot 5% niet geaccepteerd worden. De armourlaag dient bestand te zijn tegen een overschrijding van de golfhoogte met 20%, hieruit volgt een stabiliteitsgetal van N_s is 3.

6.2. Definitie van schade

Om te achterhalen of de blokken beschadigen zal het bewegen van de blokken in de armourlaag moeten worden waargenomen.

Falen

Falen is gedefinieerd als de situatie waarin tenminste een van de contactpunten tussen de verschillende blokken verloren gaat (Ruwiel, 2020). Dit zorgt namelijk voor het verliezen van verschillende stabiliserende krachten en kan zo zorgen dat een blok uitspoelt.

Verplaatsing

Het verplaatsen van de blokken is belangrijk om te onderzoeken omdat verplaatsing het vermogen tot interlocking beïnvloed. Verplaatsen zorgt niet alleen voor mindere interlocking maar ook voor frictie met andere blokken, het schuiven over andere blokken kan ook schade aanbrengen aan die blokken. De impact die het verplaatsen heeft is afhankelijk van de grootte van deze verplaatsing. Een grote verplaatsing heeft een grotere impact dan een kleine verplaatsing (Ruwiel, 2020).

De verplaatsing kan in de test locatie worden gemeten door, in bovenaanzicht, een foto te maken van de opstelling voor de test en daar een foto overheen te leggen die gemaakt is in hetzelfde bovenaanzicht na de test.

Schommel tijdens golfoploop en golfneerloop

BAM definieert schommelen als een herhalende roterende beweging die optreedt bij meer dan 2% van alle inkomende golven. Het schommelen houdt in dat het blok bij de golfoploop een draaiende beweging maakt en tijdens de golfneerloop weer op zijn positie terugkomt. Wanneer dit bij minder dan 2% van alle inkomende golven gebeurt wordt het omschreven als herhaalde roterende beweging en wordt het dus niet als falen gezien. Het falen door schommelen treedt dus pas op wanneer een blok bij meer dan 20 golven een roterende beweging maakt.

Glijden of afschuiving.

Glijden of afschuiven vindt plaats tijdens de golfneerloop. Meerdere armourblokken falen tegelijkertijd door een verschil in waterdruk en schuiven gezamenlijk af waardoor een deel van de onderlaag blootgesteld wordt aan het inkomende water (US Army Corps of Engineers, 2011).

Uplift

Ondanks dat uplift door US Army Corps of Engineers niet wordt genoemd als een van de typische faalmechanisme van de armourlaag stelt (Mora, 2017) in haar onderzoek naar XblocPlus dat uplift wel

Een regelmatig voorkomend faalmechanisme is. Uplift wordt niet alleen veroorzaakt door de golfkrachten en bewegingen maar ook door de hydraulische drukken vanuit de kern van de constructie (Mora, 2017).

6.3. Het registreren van schade

Het registreren van schade kan op twee verschillende manier gedaan worden. Volgens (CIRIA; CUR; CETMEF, 2007) is dit mogelijk door; of het aantal verplaatste eenheden te bepalen of door een schadepercentage te bepalen.

Het schade getal (N_{od}) staat voor het aantal verplaatste blokken binnen een strookbreedte van D_n . Het bepalen van dit schade getal gaat met de volgende formule:

$$N_{od} = \frac{\text{Hoeveelheid verplaatste blokken uit de armoulaag}}{\text{Breedte van het gebied} / D_n}$$

6.4. Test programma

Er zijn acht verschillende soorten testen geweest, betreffende het onderzoek naar de EcoblocPlus alternatieven. Van deze acht testen zijn er vier 0-metingen uitgevoerd en vier met EcoblocPlus. De soorten testen staan in de tabel hieronder opgesomd.

Tabel 1: Testprogramma

Testserie	Testsoort	Waterniveau	S_{op}	Armourlaag
1.1	0-meting	39,0 cm	2%	XblocPlus
1.2	0-meting	39,0 cm	4%	XblocPlus
1.3	0-meting verhoogde waterstand	49,0 cm	2%	XblocPlus
1.4	0-meting verhoogde waterstand	49,0 cm	4%	XblocPlus
2.1	EcoblocPlus	39,0 cm	2%	XblocPlus in combinatie met EcoblocPlus
2.2	EcoblocPlus	39,0 cm	4%	XblocPlus in combinatie met EcoblocPlus
2.3	EcoblocPlus verhoogde waterstand	49,0 cm	2%	XblocPlus in combinatie met EcoblocPlus
2.4	EcoblocPlus verhoogde waterstand	49,0 cm	4%	XblocPlus in combinatie met EcoblocPlus

De testen met een verhoogde waterstand zijn uitgevoerd om te kijken naar de mogelijke toepassingen op lage golfbrekers, waar meer overtopping plaats vindt. Hierbij werden de stenen eerder in een kritieke toestand geplaatst.

6.5. Testcondities

De golfhoogtes (H_s) die zijn gebruikt als ontwerp golfhoogte zijn per golfsteilheid verschillend. In de onderstaande tabellen zijn de golfhoogtes en de tijdsperiode per golf (T_p) weergegeven.

Voor een golfsteilheid van 2%:

Tabel 2: Testcondities bij een golfsteilheid van 2%

Parameter	80%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	160%
Hs (cm)	7,92	9,90	10,89	11,88	12,87	13,86	14,85	15,84
Tp (s)	1,56	1,79	1,82	1,94	2,00	2,13	2,21	2,29

Voor een golfsteilheid van 4%:

Tabel 3: Testcondities bij een golfsteilheid van 4%

Parameter	80%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	160%
Hs (cm)	7,92	9,90	10,89	11,88	12,87	13,86	14,85	15,84
Tp (s)	1,16	1,28	1,33	1,36	1,45	1,52	1,56	1,64

6.6. Blokcondities

Zoals in de paragraaf 'Ontwerpgolfhoogte' vermeld staat dient de dichtheid van de blokken zo dicht mogelijk bij 2360 kg/m^3 te zijn, dit om zo representatief mogelijk te testen. De geteste blokken zijn gemaakt volgens de procedure uit Bijlage A en vervolgens zijn deze droog en nat gewogen. Door het verschil tussen het droge en natte gewicht te berekenen kan het volume van een blok bepaald worden. Het droge gewicht gedeeld door het volume geeft dan de dichtheid. In totaal zijn er van de vijf alternatieven twee blokken gemaakt in twee batches. Voor deze batches is de dichtheid bepaald, deze blokken hebben allen een lagere dichtheid hebben dan beoogd. De dichtheid van de eerste batch blokken was gemiddeld 2.262 kg/m^3 en voor de tweede batch was de dichtheid gemiddeld gezien 2.312 kg/m^3 . Het feit dat er met lichtere blokken getest wordt kan ervoor zorgen dat ze eerder falen, wanneer ze niet falen is er conservatiever getest dan beoogd. Alle gewogen gewichten, volumes en dichtheden staan in bijlage B.

6.7. Testprocedure

Om de testen zo gelijk mogelijk aan elkaar te houden is er een testprocedure opgesteld waarin beschreven wordt op welke manier de golfbreker wordt opgebouwd, hoe de meetapparatuur wordt geplaatst en hoe de testen worden uitgevoerd. Voor het opbouwen van de golfbreker en het plaatsen van de meetapparatuur worden de gegevens uit het onderdeel 'opzet fysische schaaltesten' gebruikt. In bijlage C staat de testprocedure volledig uitgeschreven.

7. Resultaten

7.1. Resultaten volgend uit de literatuurstudie

Om te weten welke toepassingen op XblocPlus zeeweringsblokken het meest effectief worden geacht is in de literatuurstudie gekeken naar verschillende studies die kijken naar toepassingen op harde structuren ten behoeve van flora en fauna. In deze studies wordt er gekeken naar zowel studies waarin gekeken wordt naar structuur/textuur toepassen als getijdenpoelen toepassen op harde structuren ten behoeve van flora en fauna. Deze studies hebben plaatsgevonden in de drie klimaten die het meest voorkomend zijn in kustgebieden, deze drie klimaten zijn tropisch klimaat, gematigd klimaat en droog klimaat. Wat gedurende de studie naar voren kwam is dat het toepassen van structuur/textuur op harde substraten leidt tot snelle kolonisatie van flora en fauna op de structuur/textuur. Met als gevolg dat na enkele maanden/jaren het effect van deze toepassing statistisch gezien niet meer aanwezig is, in vergelijking met een gladde structuur (Bishop, Vozzo, Mayer-Pinto, & Dafforn, 2022) (Paalvast, 2011).

Uit de studie van Bishop et al. (2022) komt naar voren dat panelen met structuur erop aangebracht na 6 tot 24 maanden het aantal soorten en de overvloed aan flora en fauna op deze panelen stabiliseert en dat er geen dusdanige verschillen meer zijn met het controlepaneel met een 'gladde' structuur. Wel wordt in de studie van Bishop et al. (2022) gesuggereerd dat doordat in de eerste maanden (4 maanden) na plaatsing de panelen met structuur/textuur snel gekoloniseerd zijn, dat er bij deze panelen na 24 maanden een 'volwassen' ecosysteem is ontstaan. Hierbij zorgen oesters die zich op deze panelen nestelen weer voor dynamiek waar andere soorten zich weer op kunnen nestelen. Dit is echter alleen een speculatie en er kan hier niet vanuit gegaan worden omdat de studie na 24 maanden is stopgezet. Het enige paneel met structuur/textuur dat in de studie van Bishop et al. (2022) dat na 24 maanden een beperkt significant verschil heeft met het controlepaneel qua aantal (unieke) soorten en overvloed aan flora en fauna op het paneel is het paneel met horizontale strepen.

Ook in de studie van Paalvast (2011) komt naar voren dat het toepassen van fijne- en middelfijne structuren op beton leidt tot snelle kolonisatie van flora en fauna op deze structuren, maar dat er na enkele maanden al geen verschil meer te zien is in vergelijking met 'gladde' structuur. Uit de studie van Paalvast (2011) kwam ook weer naar voren dat bij horizontale strepen er wel beperkte significante effecten op de kolonisatie van blaaswier en mosselen was. Dit effect is echter alleen dusdanig wanneer deze horizontale strepen op een verticaal stuk wand worden geplaatst (Paalvast, 2011). Op basis van deze gegevens en de bevindingen die naar voren komen in deze twee studies is besloten om het aanbrengen van structuur en textuur op XblocPlus buiten wegen te laten. Hiervoor is gekozen aangezien de blokken op kunstwerken worden geplaatst met een levensduur van 100 jaar waarbij deze kortetermijnoplossingen met geringe resultaten niet op wegen tegen de eventuele kosten dat het met zich mee zou brengen. Het onderzoek wordt toegespitst op getijdenpoelen aanbrengen binnen XblocPlus blokken. Uit resultaten van verschillende studies blijkt dat deze getijdenpoelen significant meer aantal (unieke) soorten en rijkdom aan flora en fauna onderdak bieden in vergelijking met gladde structuur en structuur/textuur (Bishop, Vozzo, Mayer-Pinto, & Dafforn, 2022).

Tropisch klimaat

Uit de studie van (Waltham & Sheaves, 2018) komt naar voren dat de oriëntatie van de poel invloed heeft op de overvloed aan flora en fauna binnen een poel. Schuin georiënteerde poelen creëerde schaduwplekken binnen de poel waarin een significant hogere dekking aan soorten zoals oesters, zeeslakken, baardwormen en crustose algen aanwezig was. In deze tweejarige studie is ook de sedimentatievorming meegenomen, wat in andere studies nog niet is gebeurd. De oriëntatie van de poel was niet van invloed op de cumulatie van sediment in de poel. De sedimentatie binnen de poelen kwam neer op 17,5 tot 22,5 mm/jr. Doordat dit de enige studie is die hier gegevens van heeft is het niet te bepalen of deze waarden aan de hoge of lage kant van het spectrum liggen. Wel kunnen deze waarden gebruikt worden als indicatie (Waltham & Sheaves, 2018).

In de studie van Bishop et al. (2022), waarin verschillende panelen getest werden met structuur/textuur werd ook een paneel getest met daarin kleine poelen. In het tweejarige onderzoek zijn 115 soorten gevonden waarvan er 22 uniek waren op het paneel met poelen erin verwerkt. Dit komt mede doordat in de poelen een microklimaat ontstaat, waarin het water een temperatuur heeft van 10 °C koeler dan aan de buitenkant van het paneel. Daarnaast bieden de poelen ook nog een beschermende functie voor flora en fauna tegen natuurlijke vijanden (Bishop, Vozzo, Mayer-Pinto, & Dafforn, 2022). De afmetingen van de poel zijn niet van invloed als er gekeken wordt naar de rijkheid aan soorten. Er zijn wel bij verschillende afmetingen van de poelen verschillende samenstellingen van soorten te vinden en is dit ook significant. Alleen zijn er geen patronen te herkennen in deze resultaten en dit effect kan ook niet bevestigd worden (Underwood & Skilleter, 1996) (Browne & Chapman, 2014). Dit kan eraan liggen dat de natuur behoefte heeft aan zelforganisatie om te kunnen floreren binnen een ecosysteem en daarvoor is complexiteit en diversiteit nodig (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001). De verschillende afmetingen van poelen zorgen voor deze complexiteit en diversiteit en bieden dus de kans aan de natuur om zichzelf te organiseren en dus te laten floreren, waardoor patronen in resultaten lastig te herkennen zijn. Wel bleek dat er in de brede ondiepe poelen (30 en 50 cm breed en 5 cm diep) gangbaar meer soorten waren dan in de smalle ondiepe poelen (15 cm breed en 5 cm diep). Voor de brede diepe poelen (50 cm breed en 30 cm diep) geldt dat er altijd meer soorten aanwezig waren dan in de smallere diepe poelen (15 en 30 cm breed en 30 cm diep) en dat dit effect meestal significant was (Underwood & Skilleter, 1996).

In de studie van Browne & Chapman (2014) kwam naar voren dat in de diepere poelen significant meer dekking was aan algen dan in de ondiepere poelen (380 en 220 mm diep respectievelijk met een diameter van 360 mm). Diepere poelen zouden dan wel weer kunnen zorgen voor een grotere overlevingskans voor de soorten die aanwezig zijn binnen de poel doordat er meer variatie in de aanwezige populaties is, wat de veerkracht van het ecosysteem vergroot en dus de kans op uitsterven van deze populaties in de poel verlaagd (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001) (Underwood & Skilleter, 1996). De plaatsing van de poelen in de getijdenzone is wel van belang. Midden in de getijdenzone waren in de poelen significant meer soorten sessiele dieren, weekdieren en kreeftachtigen te vinden dan hoog in de getijdenzone (Browne & Chapman, 2014). Door poelen op verschillende hoogtes in de getijdenzone toe te passen kan er een breder scala aan soorten ondergebracht worden, wat ook weer bijdraagt aan de complexiteit en diversiteit van het ecosysteem waarin de poelen zich bevinden.

Droog klimaat

Onderzoek naar aanbrengen van structuur en vormen op golfbrekers en andere kustverdedigingswerken in droog klimaat is niet aanwezig. Wel kan er gekeken worden naar andere onderzoeken en speculeren over de mogelijkheden binnen een droog klimaat (Burt & Bartholomew, 2019). Burt & Bartholomew (2019) geven in hun onderzoek aan dat veel van de toepassingen die gedaan worden, in de onderzoeken die uitgevoerd zijn in een gematigd en tropisch klimaat waarschijnlijk niet zullen werken in een droog klimaat. Doordat de Arabische- en Perzische Golf (hierna wordt gerefereerd naar Golf) in een klimaat ligt waarin het heel heet, droog en te maken is met verhoogde saliniteit van het water, zijn er weinig soorten die voor komen hoog- en midden in de getijdenzone. Hierdoor zijn aanpassingen aan kustverdedigingen in deze zone niet effectief, omdat de condities waarschijnlijk te extreem zijn om effectief te zijn voor flora en fauna. Ook zullen getijdenpoelen in dit gedeelte van de getijdenzone niet goed werken, omdat er een grotere kans is dat verdamping ervoor zal zorgen dat het water in de poelen te warm wordt en een te hoge saliniteit krijgt. Hierdoor is er voor flora en fauna geen mogelijkheid om zich in deze poelen te koloniseren wanneer deze poelen langdurig droog komen te liggen bij laagtij. Echter in de lagergelegen gebieden van de getijdenzone komen meer soorten aan flora en fauna voor en zouden aanpassingen aan kustverdediging wel zin kunnen hebben, om de biodiversiteit te vergroten.

Holle ruimtes en structuur aanbrengen zou dan ook waarschijnlijk positieve effecten met zich meedragen, op de biodiversiteit van flora en fauna die in deze lagergelegen getijdenzone leven. Ook kan zoals uit de studie van Waltham & Sheaves (2018) blijkt schaduw een belangrijke rol spelen wanneer deze poelen bij laagtij wel tijdelijk droog komen te liggen voor een bepaalde tijd. Schaduw kan in deze gevallen ervoor zorgen dat het verdampen van water in de poel tot een minimum beperkt kan blijven, waardoor de opwarming van het water in de poel en de verhoogde saliniteit beperkt blijft (Burt & Bartholomew, 2019).

Soort klimaat	Afmetingen poel	Vorm/oriëntatie poel	Hoogte in getijdenzone
Tropisch	In onderzoek (400 x 350 mm x 200 mm) gebruikt. Rekening houden met sedimentvorming in poelen (17,5 tot 22,5 mm/jaar schatting) (Waltham & Sheaves, 2018).	Vorm is hier niet in onderzocht. Echter leidt een schuine vorm tot meer biodiversiteit doordat er schaduwplekken ontstaan in de poel (Waltham & Sheaves, 2018).	Studie vond plaats midden in getijdenzone.
Gematigd	Diameter blijkt geen duidelijke significante effecten te hebben op het aantal aanwezige soorten binnen een poel, terwijl er wel beperkte significante effecten aanwezig waren voor het aantal soorten in grotere poelen. Er wordt wel gesuggereerd dat grotere poelen voor meer complexiteit en variatie zorgen waardoor de overlevingskans van soorten wordt vergroot. Ook wordt gesuggereerd dat diepere poelen meer soorten kunnen herbergen doordat het oppervlakte en complexiteit van de poel vergroot wordt (Underwood & Skilleter, 1996).	In de onderzoeken is geen onderzoek gedaan naar het aanbrengen van vormen of een andere oriëntatie van de poel. Echter geldt wel de vuist regel dat het aanbrengen van complexiteit en diversiteit in een habitat leidt tot een grotere rijkheid aan soorten aanwezig in de poel (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001).	Midden in de getijdenzone worden meer soorten aangetroffen in de poelen dan hoog in de getijdenzone. Ook zijn de effecten van het toepassen van getijdenpoelen midden in de getijdenzone significanter dan hoog in de getijdenzone (Browne & Chapman, 2014).
Droog	Grote poelen om opwarming en verhoging van saliniteit in de poelen te voorkomen (Burt & Bartholomew, 2019).	Poel dient over schaduwplekken te beschikken (Burt & Bartholomew, 2019).	Laag in getijdenzone waar omstandigheden gunstiger zijn voor flora en fauna (Burt & Bartholomew, 2019).

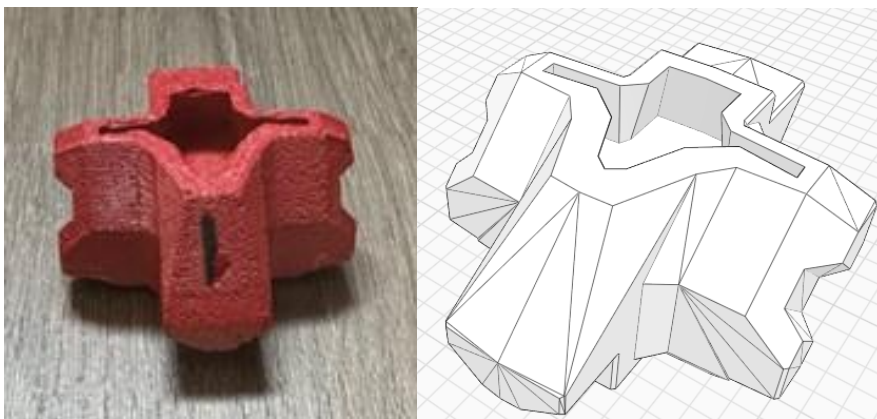
Tabel 4: Bevindingen getijdenpoelen uit diverse onderzoeken in de literatuurstudie.

7.2. Keuze voor ontwerpen

Uit het onderzoek naar welke aanpassingen het meest flora en fauna zal stimuleren is dus naar voren gekomen dat dit voornamelijk getijdenpoelen zijn. Op basis hiervan zijn er vijf ontwerpen gemaakt met op de bovenkant van de XblocPlus een getijdenpoel. Het is zoals in de hoofdvraag vermeld staat ook van belang dat de stabiliteit en functie van de blokken behouden blijft, om deze reden zijn er van de vijf ontwerpen 2 conservatieve ontwerpen (alternatief 2 & 4) en 3 progressieve ontwerpen (alternatief 1, 3 & 5) gemaakt.

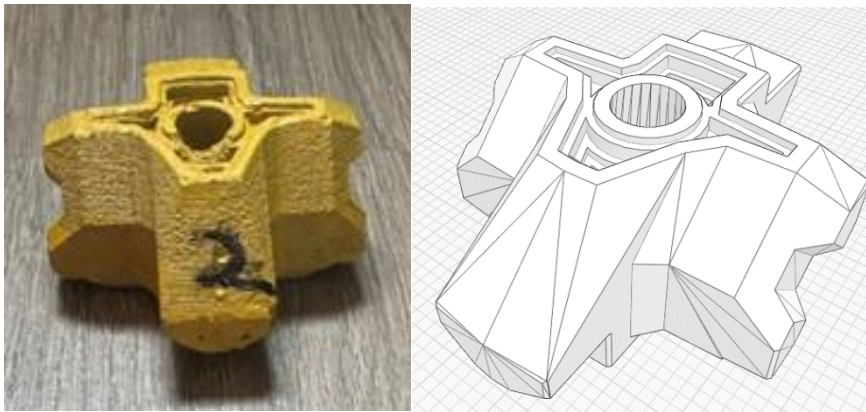
De twee conservatieve ontwerpen hebben beide nog één of meerdere gaten om de waterdruk van onderuit te verminderen, terwijl de drie progressieve ontwerpen deze niet hebben om de inhoud van de poel zo groot mogelijk te houden. Hierdoor zijn deze progressieve alternatieven meer afhankelijk van de interlocking die ze hebben met de omliggende blokken (Ruwiël, 2020). Voor deze ontwerpen geldt dat ervoor gekozen is om de getijdenpoelen aan de bovenkant van de XblocPlus blokken te ontwerpen, mede omdat boven op het blok hier veel ruimte voor is. Daarnaast is dit ook het gedeelte van het blok waar de dynamiek hoog is en sedimentatie erdoor minder snel zal optreden. Daarnaast speelt de omgeving ook een rol. Doordat de poelen aan de bovenkant gesitueerd zijn kunnen mensen die langs een kustverdediging of over een dijk lopen of fietsen, kijken wat er zich allemaal wel niet voor flora en fauna in de poelen heeft genesteld. Zo wordt ook de verbindingsslag gelegd tussen mens en natuur binnen dit soort projecten. Dit is ook een belangrijke waarde binnen de BAM.

Alternatief 1



Figuur 44&5: Schaalmodel alternatief 1 (L) & Formit model alternatief 1 (R)

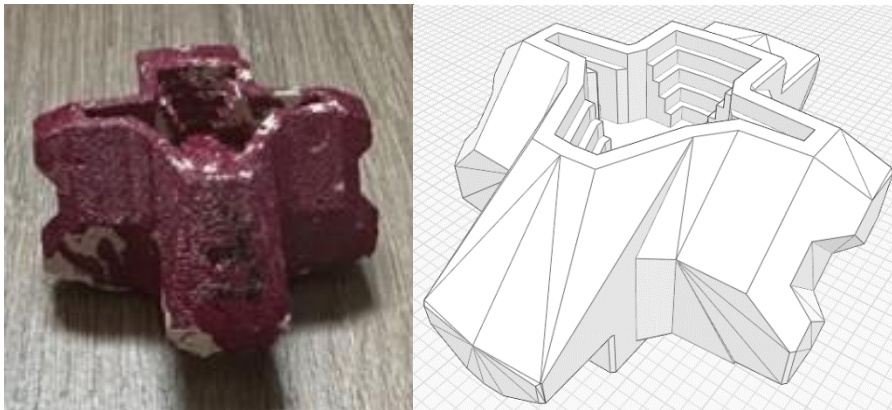
Alternatief 1 is een van de progressieve ontwerpen. Deze is sterk afhankelijk van de interlocking die het blok heeft met de omliggende XblocPlus blokken waartussen dit blok ligt ingeklemd. Dit blok heeft een getijdenpoel aan de bovenzijde met een diepte van 0,5m met overhangende muren. De overhangende muren moeten zorgen voor meer schaduwplekken binnen het blok, zodat verdamping van het water minder snel optreedt (Waltham & Sheaves, 2018). Dit blok zou het best toegepast kunnen worden in gebieden met een droog klimaat en een tropisch klimaat waardoor verdamping een hoge watertemperatuur en verhoogde saliniteit binnen de poel een probleem kan vormen, voor flora en fauna om zich te kunnen koloniseren binnen de poel (Burt & Bartholomew, 2019). Deze poel heeft een inhoud van $0,51 \text{ m}^3$. Van alle ontwerpen is dit de grootste poel verwerkt binnen een blok. Hierdoor is voor dit blok $0,19 \text{ m}^3$ minder materiaal nodig om het blok te fabriceren. De overhangende muren geven echter wel een uitdaging met het produceren van dit blok. Een rubber inlegstuk om de poel te creëren, zou na het uitharden er niet meer uitgehaald kunnen worden. Dit kan opgelost worden door dit inleg stuk in meerdere delen op te delen die er stuk voor stuk uitgehaald kunnen worden, zodat de overhang wel behouden kan blijven.



Figuur 5&6: Schaalmodel alternatief 2 (L) & Formit model alternatief 2 (R)

Alternatief 2 is een conservatief ontwerp. Hierbij stond voorop dat de stabiliserende kracht minimaal mocht veranderen. Om deze reden heeft het ontwerp nog zijn gat in het midden zitten. Dit ontwerp heeft als voordeel dat het minder afhankelijk is van de omliggende XblocPlus blokken om zijn primaire functie te behouden. Om het gat heen zitten vier kleine getijdenpoelen die op het hoogste niveau met elkaar in verbinding staan en ieder zijn ze 0,25m diep. De inhoud van deze poelen is gezamenlijk $0,08\text{m}^3$ en daarmee de kleinste van alle alternatieven. Dit blok beschikt, door het gat, over kleinere poelen die hierdoor ook niet al te diep zijn. Binnen deze poelen is gebruik gemaakt van 'richels' van 5 cm dik, die dieper in de getijdenpoelen voor kleinere poelen zorgen en plek bieden voor flora en fauna om zich aan te hechten. Op deze manier bieden de poelen in dit blok complexiteit en diversiteit voor de natuur om zichzelf hierin te organiseren. Voor de fabricatie van dit blok is $0,08\text{m}^3$ minder materiaal nodig en zouden aanpassingen gedaan kunnen worden aan de huidige mallen en koker van XblocPlus, om deze getijdenpoelen erin te kunnen verwerken.

Alternatief 3

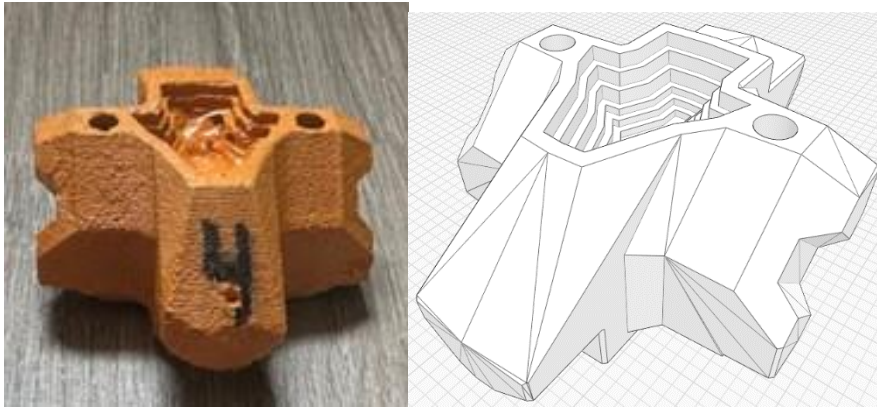


Figuur 7&8: Schaalmodel alternatief 3 (L) & Formit model alternatief 3 (R)

Alternatief 3, is net als alternatief, een progressief ontwerp dat sterk afhankelijk is van de stabiliserende krachten en interlocking van de omliggende XblocPlus blokken. Dit omdat ook alternatief 3 geen gat heeft om de waterdruk van onderuit tegen te gaan. Dit alternatief heeft een poel met een diepte van 0,5m en een inhoud van $0,38\text{m}^3$. Daarnaast beschikt deze poel ook over richels van 5 cm die complexiteit en diversiteit moeten bieden binnen de poel. Door de combinatie van een grote poel en richels beschikt dit blok over zowel complexiteit en een dusdanige grote poel dat variaties in populaties aan flora en fauna zich hierin kunnen koloniseren. Deze combinatie zou de overlevingskansen van deze soorten moet vergroten (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001) (Underwood & Skilleter, 1996).

Hierdoor is $0,06\text{m}^3$ minder materiaal nodig om dit blok te fabriceren. Voor de fabricage van dit blok zal wel een rubber inlegstuk nodig zijn om de poel te creëren. Echter zal voor dit blok het rubberen inlegstuk uit één geheel bestaan in tegenstelling tot alternatief 1 waarvoor meerdere delen nodig zouden zijn.

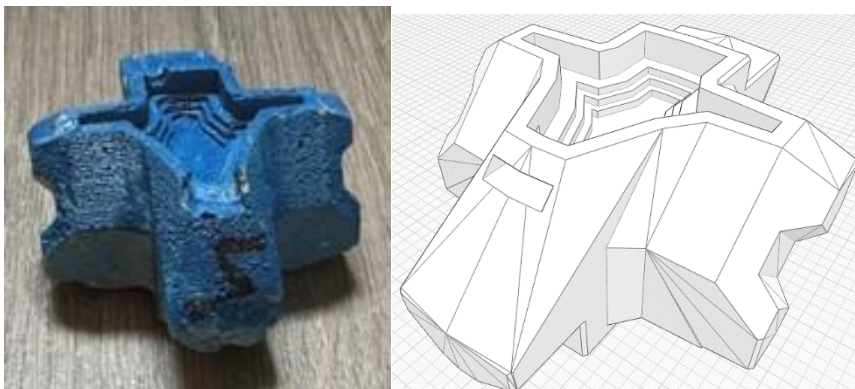
Alternatief 4



Figuur 9&10: Schaalmodel alternatief 4 (L) & Formit model alternatief 4 (R)

Alternatief 4 is een conservatief ontwerp, dat een variatie is op alternatief 3, waar wel een zo groot mogelijke getijdenpoel in toegepast zal worden. Maar waar in de 'vleugels' van het blok nog gaten zitten, die de golfdruk deels wegnemen, net zoals bij de huidige XblocPlus blokken. Deze gaten zijn wel dusdanig kleiner en zijn daardoor minder effectief in het wegnemen van de golfdruk dan de gewone XblocPlus blokken. De gaten in dit blok hebben namelijk een inhoud van $0,12\text{m}^3$ in vergelijking met $0,32\text{m}^3$ bij XblocPlus. Bij dit ontwerp moest het mogelijk blijven de waterdruk van onderuit te verminderen middels een gat. Omdat dit gat relatief veel ruimte inneemt is ervoor gekozen twee gaten te maken, met de halve oppervlakte en om vervolgens deze gaten naar de vleugels van de XblocPlus te verplaatsen. Vervolgens is er, net als bij alternatief 3, geprobeerd om met de nog beschikbare ruimte een zo groot mogelijke getijdenpoel te ontwerpen. Dit is uiteindelijk een getijdenpoel geworden met een diepte van $0,45\text{m}$ en weer met richels van 5 cm dik om toch nog complexiteit te bieden. Dit blok beschikt over een poel met een inhoud van $0,27\text{m}^3$ en er is $0,07\text{m}^3$ minder materiaal nodig om dit blok te produceren.

Alternatief 5



Figuur 11&12: Schaalmodel alternatief 5 (L) & Formit model alternatief 5 (R)

Voor alternatief 5 is gekozen om ook geen gat toe te passen, om golfdruk weg te nemen, maar om juist een hele andere richting in te slaan. Uit het gesprek met ecooloog Peter Paalvast en uit de studie van

Waltham & Sheaves (2018) bleek dat een veel voorkomend probleem bij getijdenpoelen het optreden van sedimentatie is, door de lage dynamiek binnen de getijdenpoel.

Dit kan zelfs tussen de 17,5 en 22,5 mm/jr bedragen. Daarom is ervoor gekozen om voor dit blok een gat in de neus te plaatsen, waardoor er bij golfslag een hogere dynamiek in de poel plaatsvindt, dit zou eventuele sedimentatie zou moeten tegengaan. Uit gesprek met Peter Paalvast blijkt dat er ook geen sprake kan zijn van een te hoge dynamiek voor flora en fauna, aangezien de natuur zich hieraan aanpast. De fabricage van dit blok kan nog wel een probleem vormen. Het gat in de neus is lastig te fabriceren en ook tijdens het maken van de schaalmodellen was het niet mogelijk met de huidige methode van schaalmodellen maken om het gat te realiseren. Voor de fabricage van dit blok zal nog nagedacht moeten worden hoe dit wel bewerkstelligt kan worden. Doordat er geen gat in het blok zit en de poel niet heel diep is heeft dit blok een poelinhoud van de poel van $0,29\text{m}^3$ en verbruikt dit blok zelfs iets meer materiaal ($0,03\text{m}^3$) dan de originele XblocPlus blokken.

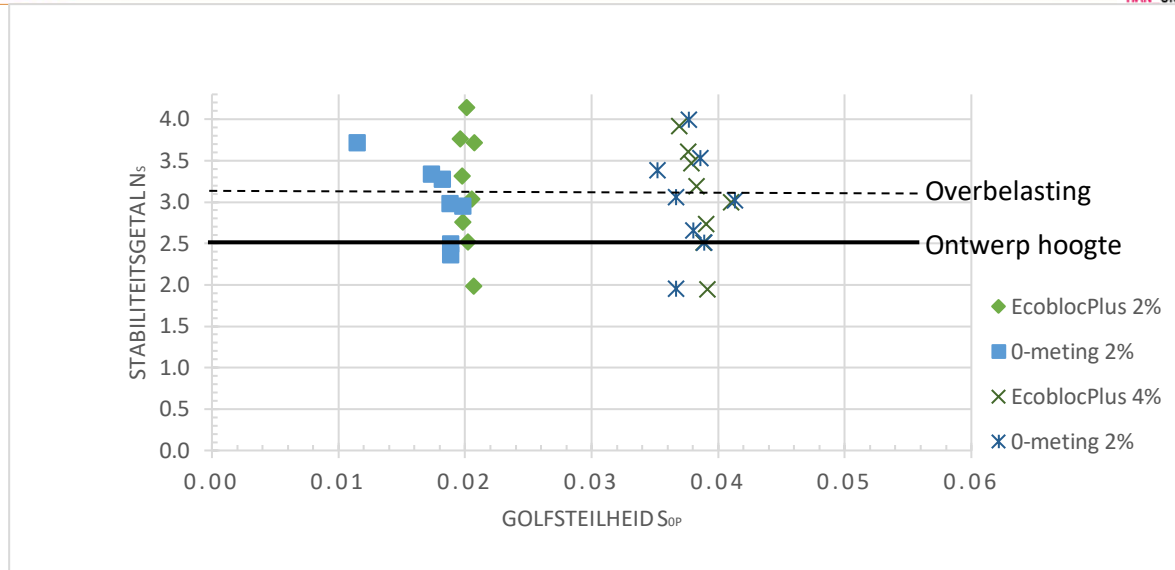
7.3. Resultaten van de testen

Het doel van de testen was om te zien of de stabiliteit in de armourlaag gewaarborgd blijft. De constructie wordt stabiel geacht wanneer er geen falen optreedt bij een golfhoogte van 160% van de ontwerp golfhoogte. Er is een totaal van acht testen gedaan, over twee verschillende soorten toestanden (zie tabellen 2 en 3 uit 'testcondities'). De eerste toestand was volgens het ontwerp met een normale waterstand van 39 cm bij de teen en de tweede toestand was met een waterstand van 49 cm bij de teen. Dit was om te kijken naar de mogelijke toepassingen op lage golfbrekers waar meer overtopping plaats vindt. Bijkomend werden de stenen bij de waterstand van 49 cm eerder in een kritieke toestand geplaatst. Het ontwerp stabiliteitsgetal van XblocPlus is 2,5. Hiervan wordt verwacht dat XblocPlus een minimale overbelasting van 125% aankan. Dit komt neer op een stabiliteitsgetal van 3,13.

Resultaten normale waterstand

Tijdens het testen werd er naar drie soorten falen gekeken; namelijk verplaatsen, schommelen en uplift. De hydraulische stabiliteit van de XblocPlus en van de EcoblocPlus (in latere testen) werd in deze testen onderzocht. Hierbij is geen rekening gehouden met de stabiliteit van de bovenste rij XblocPlus, omdat deze geen interlocking hadden met andere rijen en hierdoor alleen stabiliteit vanuit het eigen gewicht ondervonden. Tijdens de testen is erbij zowel bij de 0-meting als bij de testen van de EcoblocPlus alternatieven geen verplaatsing opgetreden. Schommelen en uplift hebben tijdens de vier testen ook niet plaatsgevonden. Na afloop van iedere test-run zijn er foto's gemaakt om de resultaten vast te leggen. Deze foto's staan in bijlage D.

Na afloop van de testen werden de daadwerkelijke golfhoogte en tijdsperiode van de golven geanalyseerd. Op basis hiervan is het daadwerkelijke stabiliteitsgetal en de daadwerkelijke golfsteilheid van iedere testserie bepaald. Het daadwerkelijke stabiliteitsgetal en de daarbij behorende golfsteilheid zijn in figuur 13 tegen elkaar uitgezet. Hieruit blijkt dat de EcoblocPlus ook een stabiliteit van 4,14 haalt zonder dat de blokken falen bij de golven met een golfsteilheid van 2%. Dat is een overbelasting van 166% ten opzichte van het originele ontwerp stabiliteitsgetal. Voor de golven met een golfsteilheid van 4% halen de EcoblocPlus blokken een stabiliteitsgetal van 3,92, dit is een overbelasting van 157%.



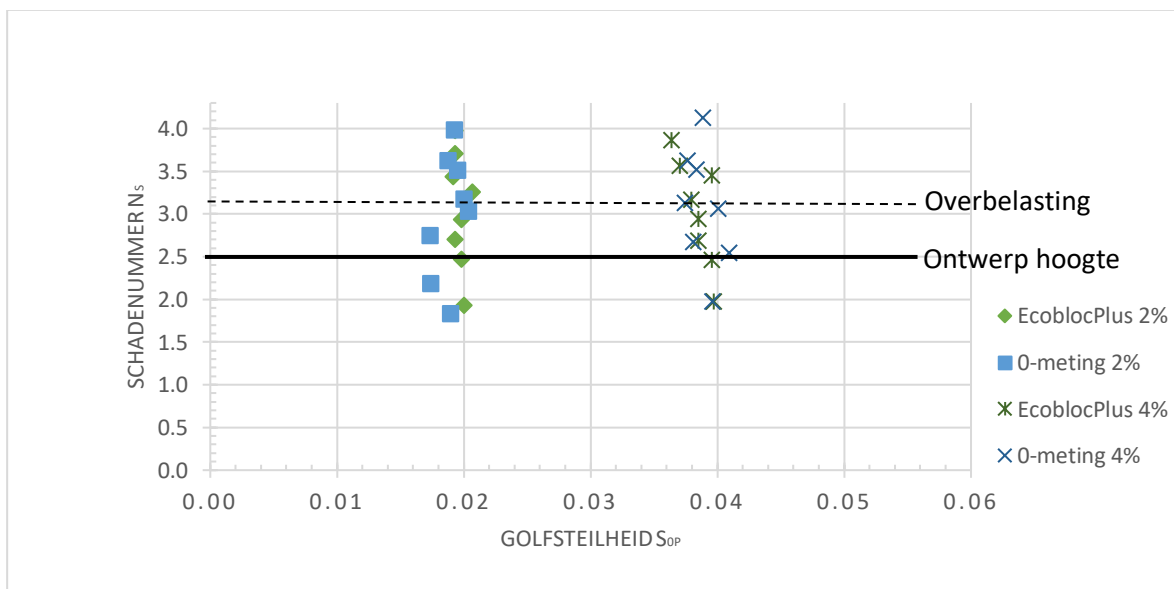
Figuur 13: Stabiliteitsgetal uitgezet tegen golfsteilheid bij de maatgevende waterstand gebaseerd op gegevens WaveLab bijlage F

Resultaten verhoogde waterstand

Bij deze testen werd er gekeken naar dezelfde soorten falen als in de voorgaande testen. Voor deze testen is echter de waterstand verhoogd naar 49 cm, om te kijken hoe deze blokken reageren als ze bij een lage golfbreker worden toegepast. Hierbij komen de blokken dicht bij de kruin te liggen en worden ze dus in kritiekere toestanden getest, waarbij minder sprake van interlocking is. Het doel van deze testen is het onderzoeken van de hydraulische stabiliteit van zowel de XblocPlus als EcoblocPlus. Om dezelfde reden werd ook hier mogelijk falen van de bovenste rij XblocPlus buiten beschouwing gelaten. Dit is omdat er hier geen sprake is van interlocking. Het doel van deze testen is dan ook om te onderzoeken of een golfbreker ook stabiel is wanneer deze lager is en de EcoblocPlus dus relatief gezien hoger in de constructie geplaatst wordt.

Voor zowel de 0-meting als de testen met EcoblocPlus vond er op de testen met een golfsteilheid van 4% geen falen plaats. Er was geen sprake van schommelen of uplift tijdens de testen en ook is er geen verplaatsing waargenomen. Bij beide testen met een golfsteilheid van 2% is er in beide gevallen sprake geweest van falen. Tijdens beide testen zijn er in de bovenste rij XblocPlus blokken gaan schommelen en deze zijn later ook verplaatst. Voor de testen met EcoblocPlus blokken vond falen plaats tijdens de testen met een golfhoogte van 130% van de ontwerp golfhoogte (circa 12,87 cm). Bij de 0-meting vond dit plaats tijdens de testen met een golfhoogte van 140% van de ontwerp golfhoogte (circa 13,86 cm). Zoals eerder vermeld is het falen in de bovenste rij buiten beschouwing gelaten omdat hier geen sprake is van interlocking en deze blokken alleen hydraulische stabiliteit vanuit het eigen gewicht ondervinden. Net als voor de testen met de normale waterstand zijn er na afloop van iedere test-run zijn er foto's gemaakt om de resultaten vast te leggen. Deze foto's staan in bijlage D.

In figuur 14 staan de daadwerkelijke golfsteilheid en het daadwerkelijke stabiliteitsgetal tegen elkaar uitgezet. Deze zijn op dezelfde manier bepaald als bij de testen hiervoor. Uit deze testen blijkt dat, net als bij een normale waterstand, de blokken een hogere stabiliteit hebben dan de ontwerp stabiliteit van 2,5 en ook de bij een overbelasting de stabiliteit behouden. Voor de golven met een golfsteilheid van 2% halen de EcoblocPlus blokken een stabiliteitsgetal van 3,61 en voor golven met een golfsteilheid van 4% halen de blokken een stabiliteitsgetal van 3,86. Dit is een overbelasting van respectievelijk 144% en 154% respectievelijk zonder falen van de blokken.

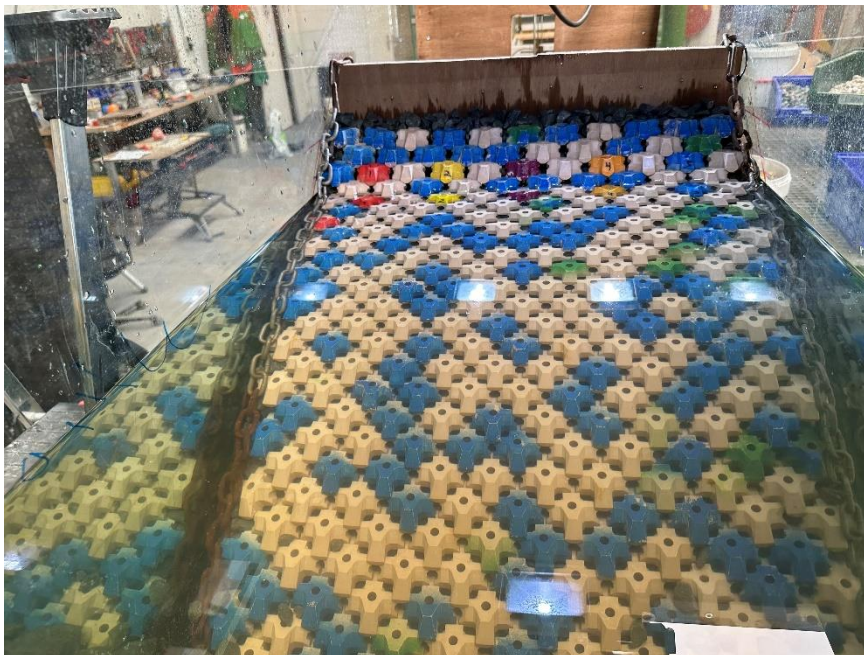


Figuur 14: Stabiliteitsgetal uitgezet tegen golfsteilheid bij een verhoogde waterstand gebaseerd op gegevens WaveLab bijlage F

8. Conclusie

Door ervoor te kiezen om getijdenpoelen toe te passen binnen de huidige XblocPlus blokken en op deze manier complexiteit en diversiteit toe te voegen aan kustverdedigingen, kan flora en fauna binnen deze werken zich beter koloniseren. De effecten van getijdenpoelen blijken, volgens de literatuurstudie, signifikanter te zijn dan dat van textuur en structuur als je kijkt naar de langdurige levenscyclus van een kustverdediging. Hierdoor zal in de eerste stadia van de levenscyclus van de kustverdediging het langer duren voor dat de blokken volledig gekoloniseerd zijn. Dit in vergelijking met wanneer structuur/textuur toegepast zou worden. Maar als er wordt gekeken naar de lange termijn en het kunnen onderbrengen van meer (unieke) soorten, dan hebben getijdenpoelen veel meer te bieden. Door deze blokken op verschillende plekken te plaatsen binnen de getijdenzone kan, naast rekening houden met zeespiegelstijging, er ook rekening gehouden worden met soorten die zich vooral nestelen in de lagere getijdenzones. Ook wordt binnen de ontwerpen de omgeving die om en rond een kustverdediging te vinden is betrokken. Dit doordat mensen kunnen kijken naar wat er gebeurt binnen zo'n ecosysteem en op deze manier die verbinding tussen mens en natuur binnen dit soort projecten gerealiseerd kan worden.

De ontwerpen zijn progressief doordat de blokken lichter zijn door de poelen die ze hebben. Ze zijn in kritieke toestanden getest, door ze dicht bij de kruin te plaatsen en door te werken met schaalmodellen. De dichtheid van die schaalmodellen ligt iets lager dan de werkelijkheid. Voor de blokken geldt dat deze een minimale overbelasting moesten doorstaan van 125%, zonder tekenen van falen te tonen. Terwijl de testomstandigheden kritieker, waren heeft geen van de blokken gefaald gedurende de uitgevoerde testen bij verschillende waterstanden en golfsteilheden. De blokken hebben een overbelasting doorstaan die tussen de 157% en 166% bedroeg, voor de testen bij normale waterstand en tussen de 144% en 154% voor de verhoogde waterstand zonder tekenen van falen te tonen. Er kan dan ook geconcludeerd worden dat de invloed van de omliggende 'gewone' XblocPlus blokken dusdanig is op de stabiliteit van de EcoblocPlus dat deze niet falen in deze omstandigheden. De wrijving en interlocking die EcoblocPlus heeft met de omliggende blokken zorgt voor een voldoende stabiliteit dat deze blokken toegepast zouden kunnen worden binnen een kustverdediging. De blokken werden getest door om en om een XblocPlus en EcoblocPlus te plaatsen. Er zijn twee rijen met EcoblocPlus getest, hierbij was de eerste rij de eerste rij onder de waterlijn en was de tweede rij de tweede rij boven de waterlijn. Dit is te zien in figuur 15.



Figuur 15: De plaatsing van EcoblocPlus tussen de XblocPlus

Doordat geen van de vijf ontwerpen gefaald heeft gedurende de testen kan er gekeken worden naar welke ontwerpen ecologisch gezien de meeste effecten hebben op de flora en fauna. Om verschillende redenen zijn alternatieven 1 en 3 ecologisch gezien het meest voordelig. Beide alternatieven hebben een grote poel te bieden. Alternatief 1 heeft buiten die grote poel ook nog overhangende wanden die voor schaduwplekken zorgen. Dit maakt alternatief 1 geschikt voor klimaten waar de zon zorgt voor hogere watertemperaturen en verhoogde saliniteit binnen de poelen. Bij klimaten zoals een droog klimaat maar ook binnen een tropisch klimaat zou dit alternatief goed toepasbaar zijn. Door de overhangende muren is het echter niet mogelijk in dit alternatief om de richels toe te passen die wel weer terugkomen in de andere alternatieven. Hierdoor mist de poel wel iets meer complexiteit en variatie dan een alternatief dat wel richels toepast. Alternatief 3 is geschikt voor een gematigd klimaat waar verhoogde watertemperaturen en saliniteit minder van invloed zijn. Hierbij wordt ook een grote poel en richels toegepast om die complexiteit en variatie te bieden waar de natuur van kan profiteren. Alternatief 3 is ook eenvoudiger te produceren, doordat er geen overhangende muren in zijn verwerkt waar speciale meerdelige rubberen mallen voor gemaakt hoeven te worden. Voor de overige alternatieven geldt dat alternatief 2 en 4 ook wel gebruik maken van een getijdenpoel, maar door de gaten die golfdruk moesten beperken waren deze dusdanig kleiner. Deze alternatieven hadden de voorkeur gehad indien gedurende de testen alternatieven 1 en 3 zouden hebben gefaald. Alternatief 5 heeft niet de voorkeur boven de andere ontwerpen. Hoewel dit alternatief geen gat heeft om golfdruk weg te nemen is de getijdenpoel door het gat in de neus nog wel beperkt qua grootte. Dat dit alternatief eventuele sedimentatie zou kunnen beperken weegt niet op tegen de beperkte grootte en complexiteit van de getijdenpoel.

Om antwoord te geven op de hoofdvraag *“Op welke slimme manier kunnen er aanpassingen gedaan worden aan XblocPlus om flora en fauna in zoutwater getijdengebieden te stimuleren zonder het verlies van stabiliteit en functie?”* is dat doormiddel van toepassen van getijdenpoelen met dusdanig volume, complexiteit en variatie flora en fauna binnen kustverdedigingen gestimuleerd kan worden. Dit kan gerealiseerd worden door deze EcoblocPlus blokken onderdeel te maken van een systeem bestaande uit XblocPlus, waar wrijving en interlocking ervoor zorgen dat de stabiliteit en functie van de armourlaag gewaarborgd kan worden.

9. Discussie

Tijdens het onderzoek naar de best mogelijke ontwerp aanpassingen om flora en fauna te stimuleren werd het duidelijk dat om een onderzoek te valideren er praktijkonderzoek nodig is. Het praktijkonderzoek naar de invloeden van de getijdenpoelen is niet gebeurd tijdens dit onderzoek wegens de korte periode van deze stage. Deze praktijk onderzoeken duren meerdere jaren en de tijd van dit afstudeeronderzoek was vijf maanden. Doordat het niet mogelijk was om praktijkonderzoek te doen zijn alle resultaten die betrekking hebben op het stimuleren van flora en fauna gehaald uit onderzoeken van derden. De beschikbare rapporten met soort gelijke onderzoeken was relatief beperkt. Mede omdat het een actueel onderwerp is en de meeste onderzoeken nu plaats vinden en nog niet veel resultaten beschikbaar zijn. De onderzoeken die wel beschikbaar waren hadden grotendeels dezelfde uitkomst, hoe groter en complexer de getijdenpoel hoe beter de ontwikkeling van flora en fauna.

De testen met betrekking tot de hydraulische stabiliteit van de nieuwe EcoblocPlus werd gedaan in de golfgoot. Dit waren twee dimensionale testen waarbij de effecten in zijwaartse richting niet werden meegenomen. Er vond hier opstuwing plaats waardoor de golfoploophoogte en de snelheid van de stroming werd vergroot. Dit resulteert in een vergroting van de golfbelasting en geeft zo een onnauwkeuriger beeld in vergelijking met de werkelijkheid. Verder was het bij de testen in de golfgoot zo dat reflectie een belangrijk onderdeel was voor de betrouwbaarheid van de resultaten, meer reflectie zou namelijk kunnen zorgen voor lagere golven. Het optreden van reflectie gebeurt altijd in testen zoals deze en bij het maken van de golven wordt er software gebruikt die hier rekening mee houdt. Waar de software echter geen rekening mee houdt is het feit dat bij verschillende proeven de vooroever niet goed vast zat, dit zorgde voor extra reflectie en dus voor lagere daadwerkelijke golven. Het los zitten van de vooroever zou mogelijk de betrouwbaarheid van het onderzoek kunnen hebben beïnvloed. Bij twee testen is de golfgoot kapotgegaan. Dit zou mogelijk de betrouwbaarheid ook kunnen hebben beïnvloed. Tijdens deze testen liep er dusdanig veel water uit de goot dat de testen gestopt moesten worden en de golfgoot volledig leeggepompt moest worden om gemaakt te kunnen worden. Een dag later werd de goot weer vol gepompt en werd de test run opnieuw gedaan. Hierbij dient wel vermeld te worden dat door het leeg en daarna weer vol pompen van de goot mogelijk de waterstand tussen twee test runs varieert, dit zou mogelijk de resultaten kunnen hebben beïnvloed.

10. Aanbevelingen

Het doel van dit onderzoek was het beantwoorden van de hoofdvraag. Tijdens het beantwoorden van deze vraag zijn er nog meer vragen ontstaan die niet binnen dit onderzoek zijn beantwoord. Een aantal redenen hiervoor zijn; gebrek aan tijd en omdat de vraag niet binnen de scope van dit onderzoek past.

10.1. Verdere testen

Tijdens het onderzoek hebben de EcoblocPlus blokken niet gefaald en is er geconcludeerd dat zij allen hun hydraulische stabiliteit behouden. Een van de aanbevelingen is echter toch om door te testen tot de blokken falen en zo de limiet of grens van de hydraulische stabiliteit van de blokken te achterhalen. In dit onderzoek zijn de EcoblocPlus blokken ten alle tijde omringd geweest door XblocPlus blokken. Dit zal mogelijk de stabiliteit van de golfbreker verhoogd hebben. Het testen tot falen kan dus behaald worden door twee of meerdere blokken naast of boven elkaar te leggen en hiermee ook direct de invloed van XblocPlus op stabiliteit controleren.

10.2. Maximaliseren van het ontwerp

Bij het huidige ontwerp van de EcoblocPlus is er buiten het feit dat het gat in het midden vervangen is door een getijdenpoel niks veranderd aan de vorm van de XblocPlus. Een aanbeveling is om te kijken of middels het veranderen van de vorm, van bijvoorbeeld de neus van het blok, de getijdenpoelen nog groter gemaakt kunnen worden. Een andere mogelijkheid om tot een maximalisatie van het ontwerp te komen is door het testen met diepere poelen. Vooralsnog zijn de getijdenpoelen 0,50m diep en is het beton onder de poel 0,81m dik. Een andere aanbeveling zou zijn om de betonlaag minder dik te maken en zo diepere poelen te creëren.

10.3. Plaatsen van de EcoblocPlus

Het gat in de XblocPlus heeft als voordeel dat deze gebruikt kan worden voor het snel en makkelijk plaatsen van de blokken. Bij de EcoblocPlus is dit gat weg. Er zal moeten worden gekeken naar de manier van plaatsen van de EcoblocPlus. Mogelijke oplossingen zijn; het plaatsen van hijsogen of het aanbrengen van een cilindervormig gat die enkele tientallen centimeters diep in de getijdenpoel wordt aangebracht.

10.4. Maken van de EcoblocPlus

De maakbaarheid van de getijdenpoelen in de blokken is in dit onderzoek kort ter sprake gekomen en ook tijdens het onderzoek is hierover nagedacht. Er is echter niet genoeg tijd aan besteed om tot de meest efficiënte en duurzame oplossing te komen. Een aanbeveling hiervoor is om extra onderzoek te doen naar het duurzaam maken van de EcoblocPlus.

10.5. Testlocaties

Omdat ecologische onderzoeken vaak meerdere jaren duren, rust het ecologische onderdeel van dit onderzoek op theoretische informatie voortvloeiend uit voorgaande onderzoeken. Om te kunnen concluderen dat de getijdenpoelen ook in de praktijk een ecologisch voordeel hebben zullen de EcoblocPlus ook in de praktijk moeten worden getest. Dit zou mogelijk in IJmuiden kunnen, waar al meerdere testen gedaan worden.

10.6. Trapconstructie aanbrengen

Het aanbrengen van getijdenpoelen kan ook esthetische waarde met zich meebrengen, doordat de poelen die volstaan met water leven in nestelen. Dit kan voor mensen interessant zijn om naar te kijken. Het plaatsen van trapconstructies op de XblocPlus blokken of die erin te verwerken, zodat mensen kunnen kijken bij deze getijdenpoelen is om die reden een aanbeveling.

Bibliografie

- Bakker, P., Ghonim, M., van der Kooij, J., Donnelly, J., & Qian, Y. Z. (2023). *A COMPARISON OF XBLOCPLUS AND ROCK AMOUR ON SUSTAINABILITY, COSTS AND CLIMATE RESILIENCE*. Portsmouth, UK: Delta Marine Consultans. Opgehaald van <https://www.xbloc.com/25-27-april-2023-ice-breakwaters-2023>
- Bergen, S., Bolton, S., & Fridley, J. (2001). *Design principles for ecological engineering*. Seattle, Washington, USA: Elsevier. Opgehaald van https://www.researchgate.net/publication/222565367_Design_principles_for_ecological_engineering
- Bishop, M., Vozzo, M., Mayer-Pinto, m., & Dafforn, K. (2022). *Complexity-biodiveristy relationships on marine urban structures: reintroducing habitat heterogeneity through eco-engineering*. North Ryde, Australië: Royal Society Publishing. Opgehaald van <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0393>
- Browne, M., & Chapman, M. (2014, Februari 5). Mitigating against the loss of species by adding artificial intertidal pools to existing seawalls. *Marine ecology progress series Vol. 497*, pp. 119-129. Opgehaald van <https://www.int-res.com/articles/meps2014/497/m497p119.pdf>
- Burt, J., & Bartholomew, A. (2019, Mei 1). Towards more sustainable coastal development in the Arabian Gulf: Opportunities for ecological engineering in an urbanized seascape. *Marine Pollution Bulletin Volume 142*, pp. 93-102. Opgehaald van <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.024>
- Chapman, M., & Underwood, A. (2011). Evaluation of ecological engineering of "armoured" shorelines to improve their value as habitat. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, pp. 302-311. doi:10.1016/j.jembe.2011.02.025
- CIRIA; CUR; CETMEF. (2007). Chapter 6: Design of marine structures. *The Rock Manual*, pp. 773-908. Opgehaald van <https://www.kennisbank-waterbouw.nl/DesignCodes/rockmanual/chapter%206.pdf>
- Delta Marine Consultants. (2023). *Xbloc & XblocPLus design guidelines 2023*. Gouda: Delta Marine Consultants. Opgehaald van <https://b2c01drupalprdsta1.blob.core.windows.net/www-xbloc-com-public/2022-11/Guidelines%202023.pdf>
- Mansard, E., & Funke, E. (1980). *The Measurement of Incident and Reflected Spectra Using a LEast squares Method*. ASCE - Texas Digital Library.
- Mora, M. (2017). *Hydraulic Performance of Xbloc+ Amroure Unit*. Delft: TU Delft. Opgehaald van <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:fbe797ef-5944-4bc1-9d25-e7448dce3d1b/datastream/OBJ/download>
- Muttray, M., ten Oever, E., & Reedijk, B. (2012, 3). *Researchgate*. Opgehaald van Stability of Low Crested and Submerged Breakwaters with Single Layer Armouring: https://www.researchgate.net/publication/248398382_Stability_of_Low_Crested_and_Submerged_Breakwaters_with_Single_Layer_Armouring
- Paalvast, P. (2011). *Pilotstudie Ecobeton Zuiderhavenhoofd IJmuiden 2008-2010*. Vlaardingen: Ecoconsult. Opgehaald van https://www.researchgate.net/publication/301931440_Paalvast_P_2011_Pilotstudie_Ecobeton_Zuiderhavenhoofd_IJmuiden_2008-2010_Een_Rijke_Dijkproject_Ecoconsultrapport_2011-01_108_pp
- Reedijk, B., Eggeling, T., Bakker, P., Jacobs, R., & Muttray, M. (2018). *HYDRAULIC STABILITY AND OVERTOPPING PERFORMANCE OF A NEW TYPE OF REGULAR PLACED ARMOR UNIT*. Coastal Engineering Proceedings. doi:10.9753/icce.v36.structures

- Rijksoverheid. (2023, Mei 10). *Zeespiegelstijging door klimaatverandering*. Opgehaald van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/zeespiegelstijging#:~:text=Volgens%20berekeningen%20van%20het%20KNMI,2100%20zelfs%20%20meter%20stijgen.>
- Ruwiel, T. (2020). *Crest stability of XblocPlus armoured low crested breakwaters*. Delft: TU Delft. Opgehaald van <http://resolver.tudelft.nl/uuid:32bf5e03-2e12-470f-a748-ff09d94a23b1>
- Seto, K., Fragkakis, .., Güneralp, B., & Reilly, M. (2011). *A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion*. New Haven, Connecticut: PLoS ONE. doi:10.1371/journal.pone.0023777
- Underwood, A., & Skilleter, G. (1996, april 1). Effects of patch-size on the structure of assemblages in rock pools. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, pp. 63-90. doi:10.1016/0022-0981(95)00145-X
- US Army Corps of Engineers. (2011). *Coastal Engineering Manual - Part VI*. Washington DC: US Army Corps of Engineers. Opgehaald van <https://www.plainwater.com/pubs/EM-1110-2-1100P6.pdf>
- Vos, A. (2017). *Exploration into the mechanisms that govern the stability of an Xbloc+v1 armour unit*. Delft: TU Delft. Opgehaald van <http://resolver.tudelft.nl/uuid:dd61dbae-67ea-4a67-b5f2-b9691240f729>
- Waltham, N., & Sheaves, M. (2018). *Eco-engineering rock pools to a seawall in a tropical estuary: Microhabitat features and fine sediment accumulation*. James Cook University, Queensland, Australia: Elsevier. Opgehaald van <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0925857418301654?token=B5A141B9EBD6D5DE0E5FF15AAD254CC2B57203C67AF7E24E519CC75FB8E8D9FBD0892A9436BF58FFC2966188DE33D26B&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230313090032>
- Wolters, G., van Gent, M. R., Allsop, W., & Hamm, L. (2009, 1). *Researchgate*. Opgehaald van HYDRALAB III: Guidelines for physical model testing of rubble mound breakwaters: https://www.researchgate.net/profile/Marcel-Gent/publication/259264269_HYDRALAB_III_Guidelines_for_physical_model_testing_of_rubble_mound_breakwaters/links/0046352a9d90e11aef000000/HYDRALAB-III-Guidelines-for-physical-model-testing-of-rubble-mound-breakwa
- WWF-ZSL. (2015). *Living Blue Planet Report*. Gland, Zwitserland: WWF International. Opgeroepen op Februari 20, 2023, van <https://www.worldwildlife.org/publications/living-blue-planet-report-2015>
- Xbloc. (2023). *Xbloc*. Opgehaald van Onze XblocPlus: <https://www.xbloc.com/our-blocks/xblocplus>