

Bijlage hoofdverslag

Van XblocPlus naar EcoblocPlus



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

Inhoudsopgave

Bijlage A Het maken van mallen en schaalmodellen	3
Bijlage B De blok condities	5
Bijlage C De testprocedure	6
Bijlage D Resultaten uit de proeven	7
Bijlage E: Fotoverslag van het opzetten van de proefopstelling en het maken van de schaalmodellen	15
Bijlage F gegevens Wavelab	17
Bijlage G Literatuurstudie	19
Wat is ecologisch ontwerpen en hoe pas je het toe.	19
Onderzoek naar structuur en getijdenpoelen	21
Onderzoek uit gematigd klimaat	22
Onderzoek uit tropisch klimaat	24
Onderzoek uit het droog klimaat	26
Bevindingen	27
Onderzoekdeel XblocPlus	30
Inleiding	30
Faalmechanismes	30
Golfbelasting	30
Stabiliserende krachten	36
Stabiliteit door eigen gewicht en frictie	36
Werking van interlocking	36
Invloed hellingshoek talud	36
Hydraulische stabiliteit	37
Fysische schaalmodeltesten	39
Geometrische gelijkheid	39
Kinematische gelijkheid	39
Dynamische gelijkheid	39
Stabiliteitsschaling	40
Permeabiliteitschaling	40
Bibliografie	41

Bijlage A Het maken van mallen en schaalmodellen

Het ontwikkelen van de mal

Om de schaalmodellen te kunnen maken was het van belang dat de mallen waarin zij gemaakt werden ook goed waren. Hierbij was het belangrijk dat de 3D modellen op de grond bleven staan en volledig bedekt waren in het giet rubberen mengsel. Dit mengsel moest in de juiste verhoudingen gemengd worden anders harde het mengsel niet goed uit en kon het niet gebruikt worden.

Materialen:

- Houten bekisting
- Resion siliconen gietrubber 40A
- Resion siliconen verharder
- Weegschaal
- 3D schaalmodel
- Emmer en houten stok
- Accuboormachine

Wijze van maken:

1. Het in elkaar zetten van de bekisting. Hier worden vier smalle planken op hun zijde vast gezet aan een plank waarop de schaalmodellen passen.
2. De 3D modellen worden in de bekisting geplaatst en om te voorkomen dat ze gaan opdrijven worden ze vanaf de onderkant vastgeschroefd aan de onderkant van de bekisting.
3. Nu de bekisting en de modellen gereed zijn kan het gietrubber gemengd worden. Op de weegschaal wordt een emmer geplaatst en in deze emmer wordt 1000g Resion siliconen gietrubber 40A toegevoegd. Dit moet 10:1 gemengd worden met de Resion siliconen verharder, dit betekend hier dat er 100g siliconen verharder moet worden toegevoegd.
4. Het mengsel moet nu 3 minuten lang met de houten stok geroerd worden.
5. Het mengsel kan in de bekisting worden aangebracht tot ongeveer 5 mm boven de 3D modellen.
6. Nadat het tenminste acht uur is uitgehard kan de bekisting van de mallen worden verwijderd en kunnen de 3D modellen uit de mal gehaald worden.

Het ontwikkelen van de blokken

Met de mallen compleet kunnen de schaalmodel blokken gemaakt worden. De blokken dienen een dichtheid te krijgen van ongeveer 2360 kg/m^3 . Om bij deze dichtheid te komen is het van belang de verhoudingen tussen de gietmortel, het barietpoeder en water zo nauwkeurig mogelijk aan te houden.

Materialen:

- Gietmortel
- Barietpoeder
- Mallen
- Weegschaal
- Emmer
- Trechter
- Mengstaaf
- Troffel

1. Op de weegschaal wordt een emmer geplaatst en hier wordt 500g gietmortel aan toegevoegd. Bij dit gietmortel wordt 135g bariet poeder toegevoegd.
2. Begin dit mengsel rustig aan te mengen met de troffel en gedurende het mengen voeg 102ml water toe.
3. In het begin zal dit mengsel overwegend bestaan uit brokken en is het lastig te mengen. Wanneer de brokken verdwijnen en het mengsel vloeibaar begint te worden is het niet langer nodig met de troffel te mengen en kan de mengstaaf gebruikt worden.
4. Als er geen brokken meer in het mengsel zitten is deze klaar om in de mallen gestort te worden. Dit gebeurt door het mengsel vanuit de emmer in de trechter te laten lopen, de trechter is ervoor om het mengsel de mal in te sturen en zo verspil te voorkomen.
5. Wanneer de mallen gevuld zijn deze afrijden met een houten stok.

Bijlage B De blok condities

In de onderstaande tabellen staan van beide batches het alternatief, het droge gewicht, natte gewicht, het volume en de dichtheid van de blokken.

Batch 1

Alternatief	Droog gewicht (g)	Nat gewicht (g)	Volume (cm ³)	Dichtheid (kg/m ³)
1	53,4	30,2	23,2	2302
2	54,0	30,2	23,8	2269
3	53,3	29,4	23,9	2230
4	53,1	29,6	23,5	2260
5	55,1	30,7	24,4	2258
Gemiddelde	53,8	30,0	23,8	2263

Batch 2

Alternatief	Droog gewicht (g)	Nat gewicht (g)	Volume (cm ³)	Dichtheid (kg/m ³)
1	54,9	31,2	23,7	2316
2	56,6	32,3	24,3	2329
3	56,4	32,3	24,7	2283
4	56,3	32,0	24,3	2317
5	57,2	32,5	24,7	2316
Gemiddelde	56,3	32,1	24,2	2312

Bijlage C De testprocedure

Het bouwen van de golfbreker en het plaatsen van de meetapparatuur gebeurt voordat de test kan beginnen. Het bouwen van de golfbreker gaat volgens de volgende stappen:

1. De dwarsdoorsnede van de golfbreker dient op beide zijanten van de golfgoot getekend te worden. Dit gebeurt om het makkelijker te maken de golfbreker zo goed mogelijk na te maken volgens het ontwerp.
2. Het kruin-, teen-, kern- en onderlaagmateriaal moet worden voorgespoeld om tijdens het testen vertroebeling van het water te voorkomen.
3. Het kernmateriaal dient geplaatst te worden en goed aangedrukt te worden. Bij het plaatsen van het kernmateriaal is het noodzakelijk de getekende golfbreker op de zijkant van de golfgoot nauwlettend in de gaten te houden.
4. De kern moet vervolgens goed worden ingeklemd met zwaarder materiaal voor de teenconstructie.
5. Wanneer de kern nauwkeurig is aangebracht en stabiel tussen de teen ligt kan hierop de onderlaag worden aangebracht. Noodzakelijk is dat de onderlaag zo glad en vlak als mogelijk wordt aangelegd omdat hierop de armourlaag wordt aangebracht.
6. Zodra de onderlaag goed is aangebracht volgens de tekeningen uit stap 1 kan de armourlaag worden aangebracht, ook dit gebeurt volgens het gemaakte ontwerp.
7. Als de gehele armourlaag is aangebracht worden de randen tussen de golfgoot en de golfbreker opgevuld met onderlaag materiaal. Gelijktijdig wordt tegen de gootwanden en over de constructie heen een ketting aangelegd.
8. Wanneer de ketting aangelegd is kan het kruinmateriaal worden geplaatst om te zorgen voor kruinstabiliteit.
9. Tot slot worden de meetapparaten geplaatst volgens het hoofdstuk 'Opzet fysische schaaltesten'.

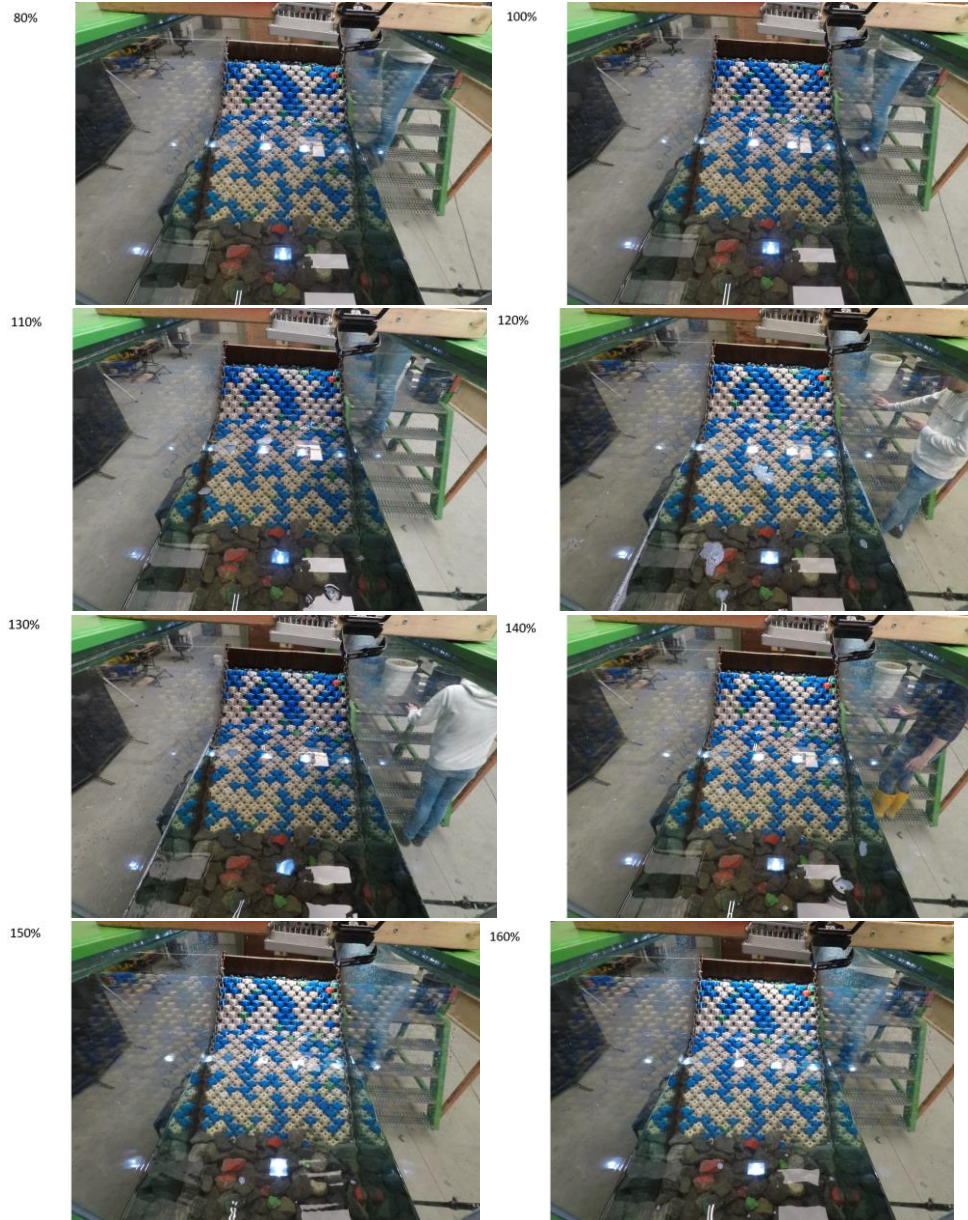
Nu de golfbreker juist is gebouwd in de golfgoot en alle meetapparatuur geplaatst is kunnen de testen worden uitgevoerd. Het uitvoeren van de testen gaat aan de hand van de volgende negen stappen:

1. Het aanvullen van de golfgoot tot deze de juiste waterdiepte heeft.
2. Het kalibreren van de meetraaien.
3. Het uitvoeren van een kalibratietest. Het kalibreren moet voor iedere test gedaan worden om ervoor te zorgen dat de gegenereerde golven overeenkomen met de ontwerp golfhoogtes.
4. Voordat de testen starten worden foto's gemaakt van de opstelling en worden de camera's gestart zodat de testen worden opgenomen om later te analyseren.
5. Het starten van de testen. Belangrijk is dat tijdens deze testen waarnemingen genoteerd worden, ondanks dat deze waarnemingen ook gefilmd worden.
6. Nadat er 1.000 golven gegenereerd zijn stopt de test en worden de camera's stopgezet. Zodra de test volledig gestopt is worden van het resultaat foto's gemaakt vanuit dezelfde locaties als de foto's gemaakt in stap 4.
7. Het gemeten golf bestand wordt geanalyseerd. Dit om te controleren of er tijdens de test geen fouten hebben plaats gevonden en of de meetwaardes representatief zijn voor de ontwerp golfhoogtes.
8. Stappen 4 tot en met 7 worden herhaald totdat de armourlaag faalt of de volledige testserie is afgelopen.
9. Beschadigingen aan de armourlaag worden na elke testserie gerepareerd.

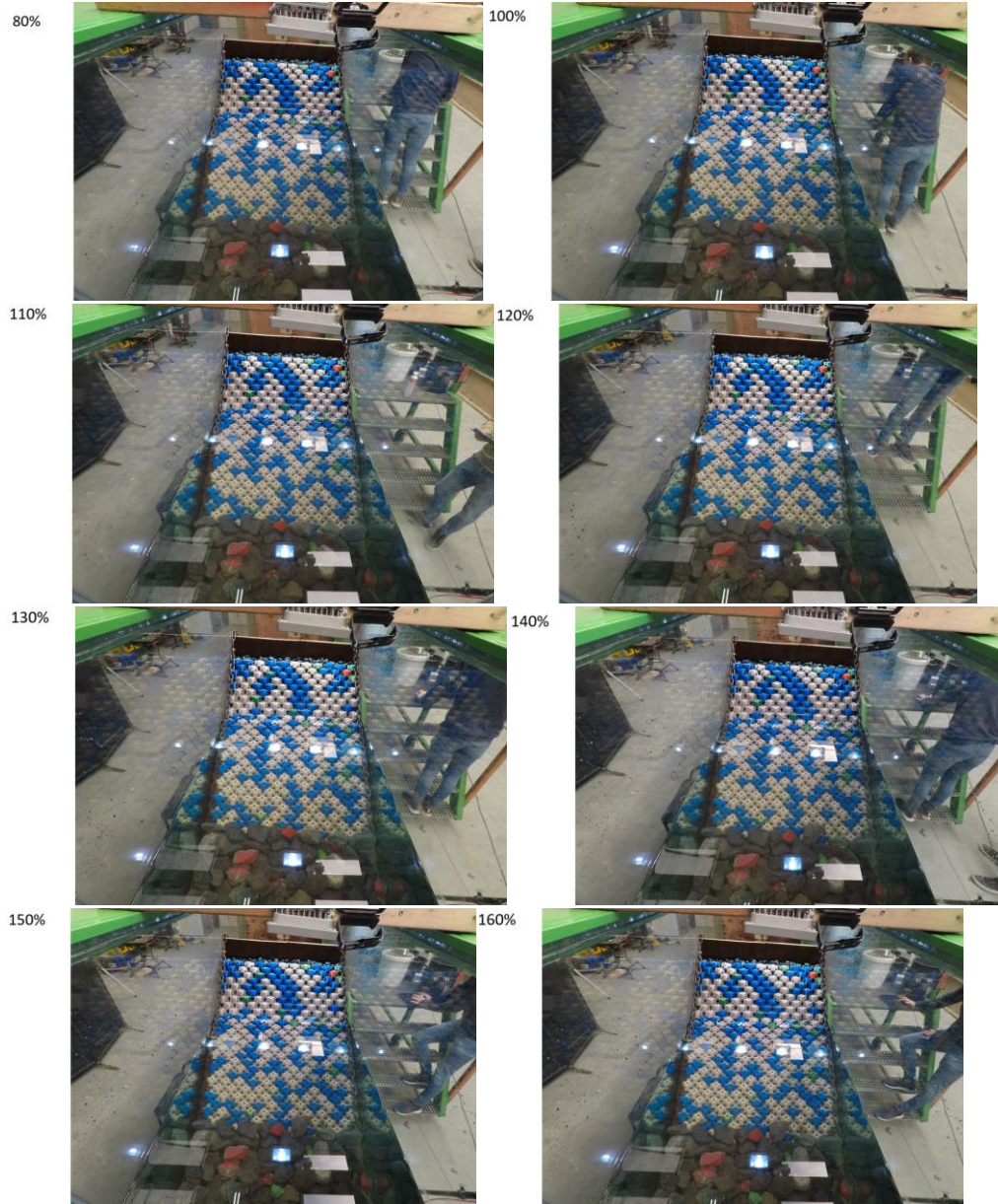
Belangrijk is om hierbij te vermelden dat de stappen 1,2,3 en 9 na iedere test serie worden herhaald.

Bijlage D Resultaten uit de proeven

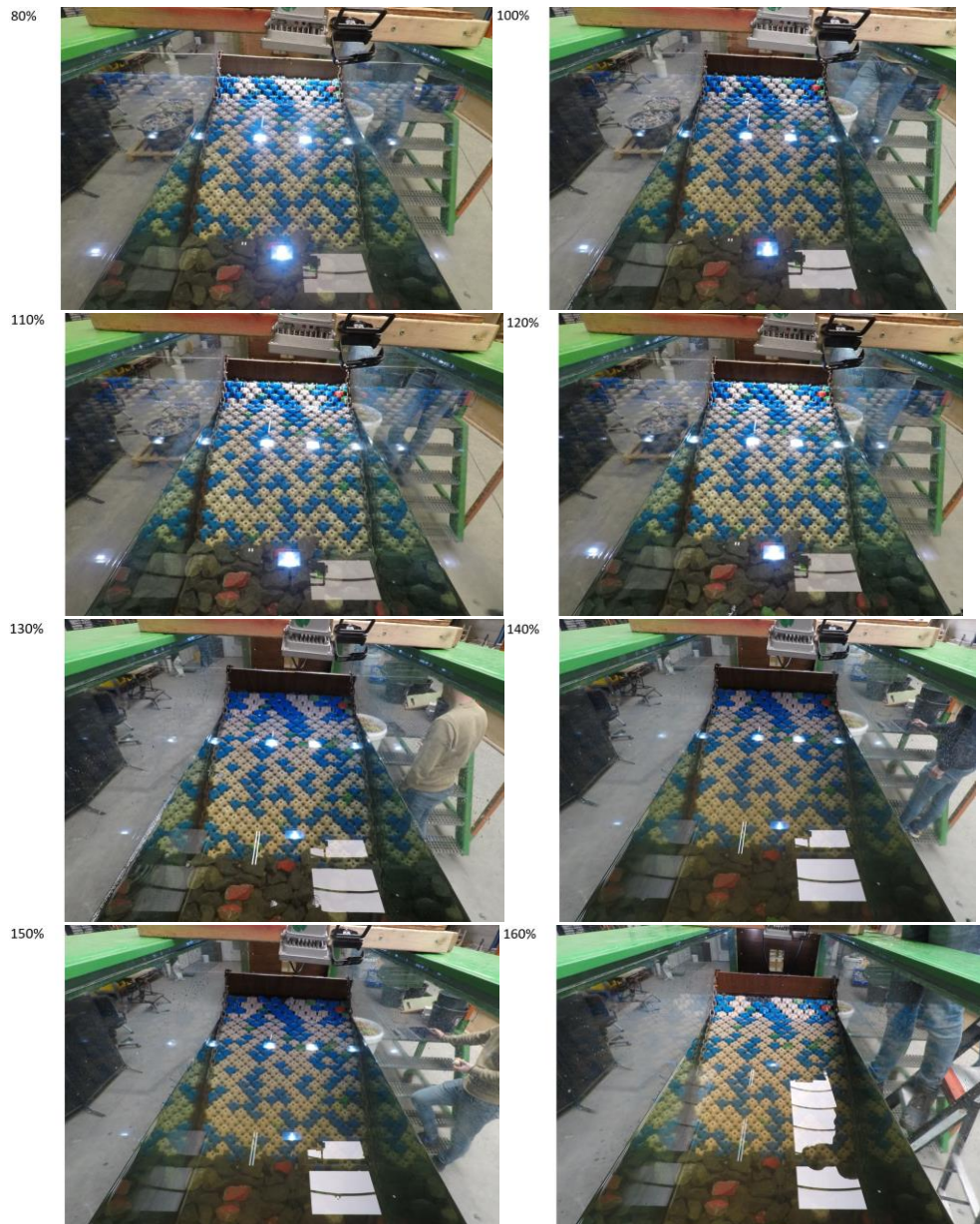
0-meting 2% golfsteilheid en een normale waterstand van 39 cm.



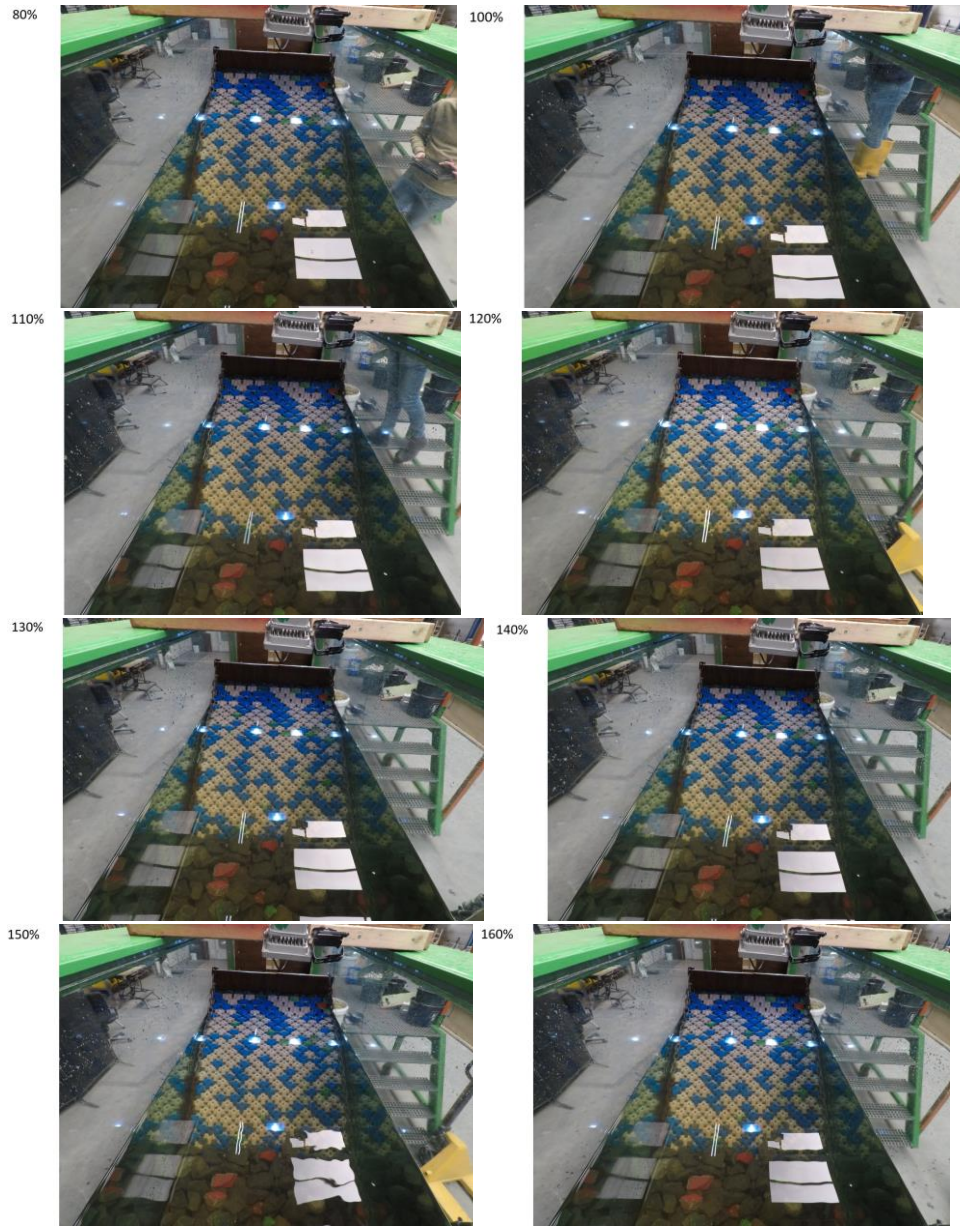
0-meting met 4% golfsteilheid en een normale waterstand van 39 cm.



0-meting met 2% golfsteilheid en een met 10 centimeter verhoogde waterstand.



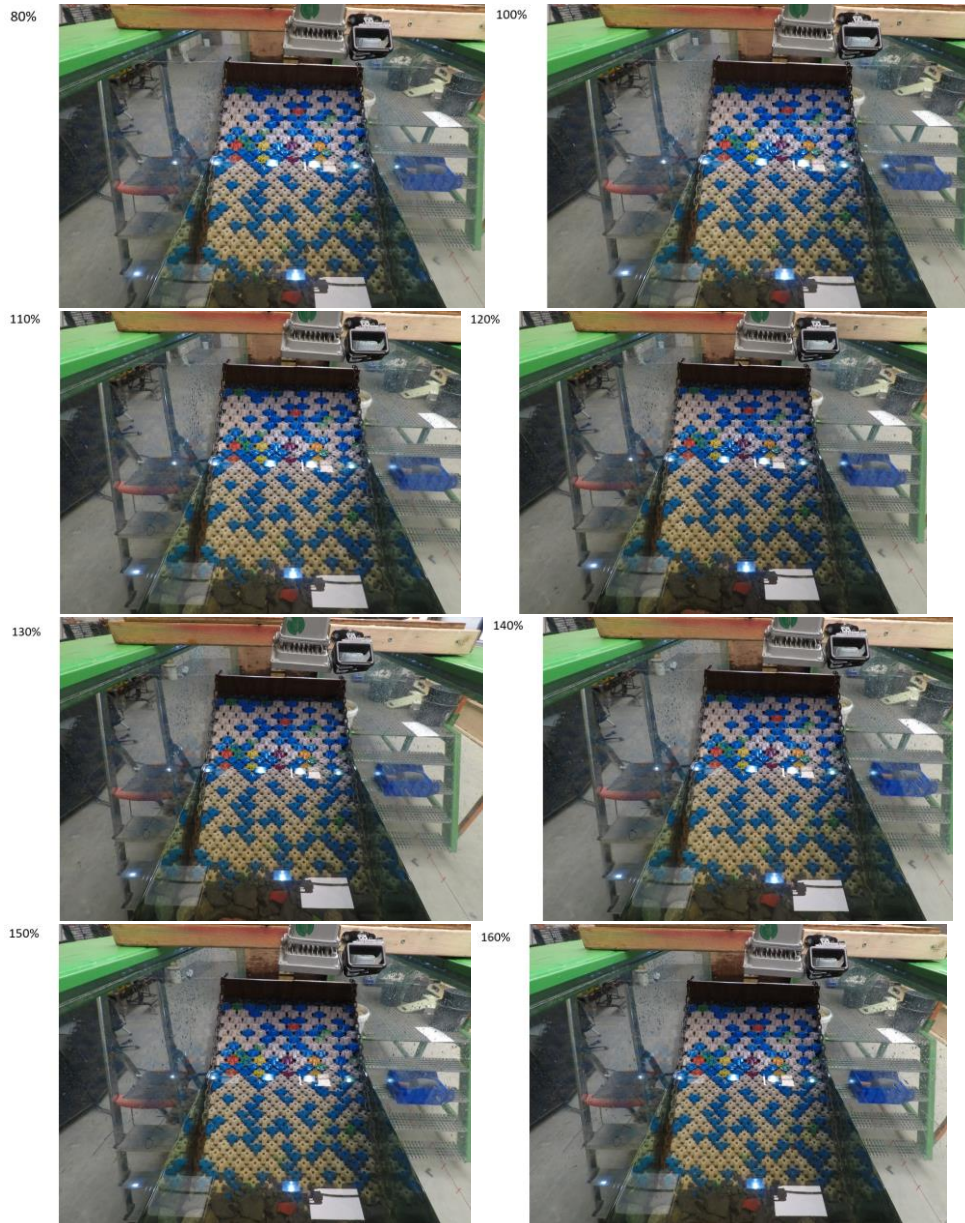
0-meting met 4% golfsteilheid en een met 10 centimeter verhoogde waterstand.



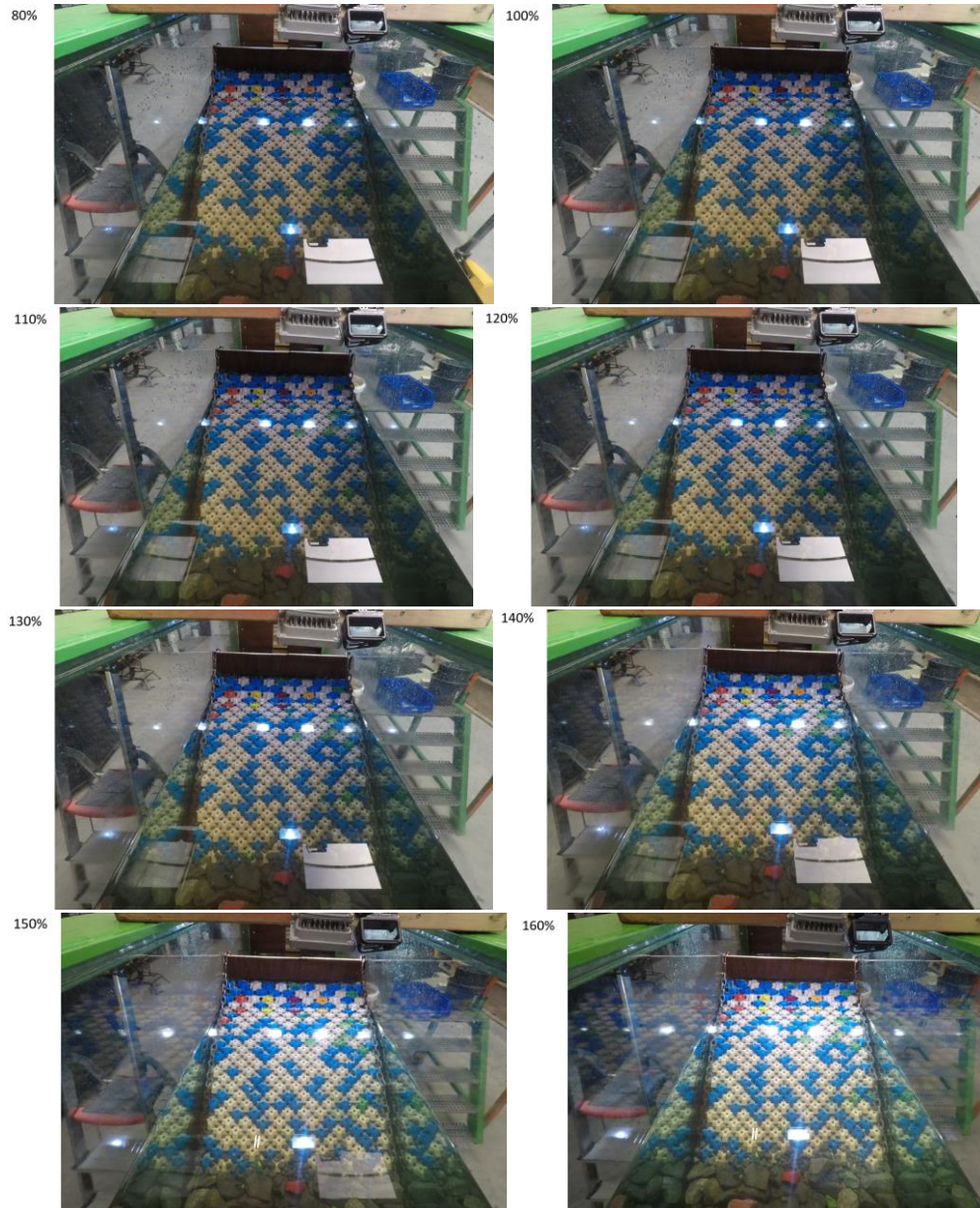
EcoblocPlus met 2% golfsteilheid en een normale waterstand van 39 cm.



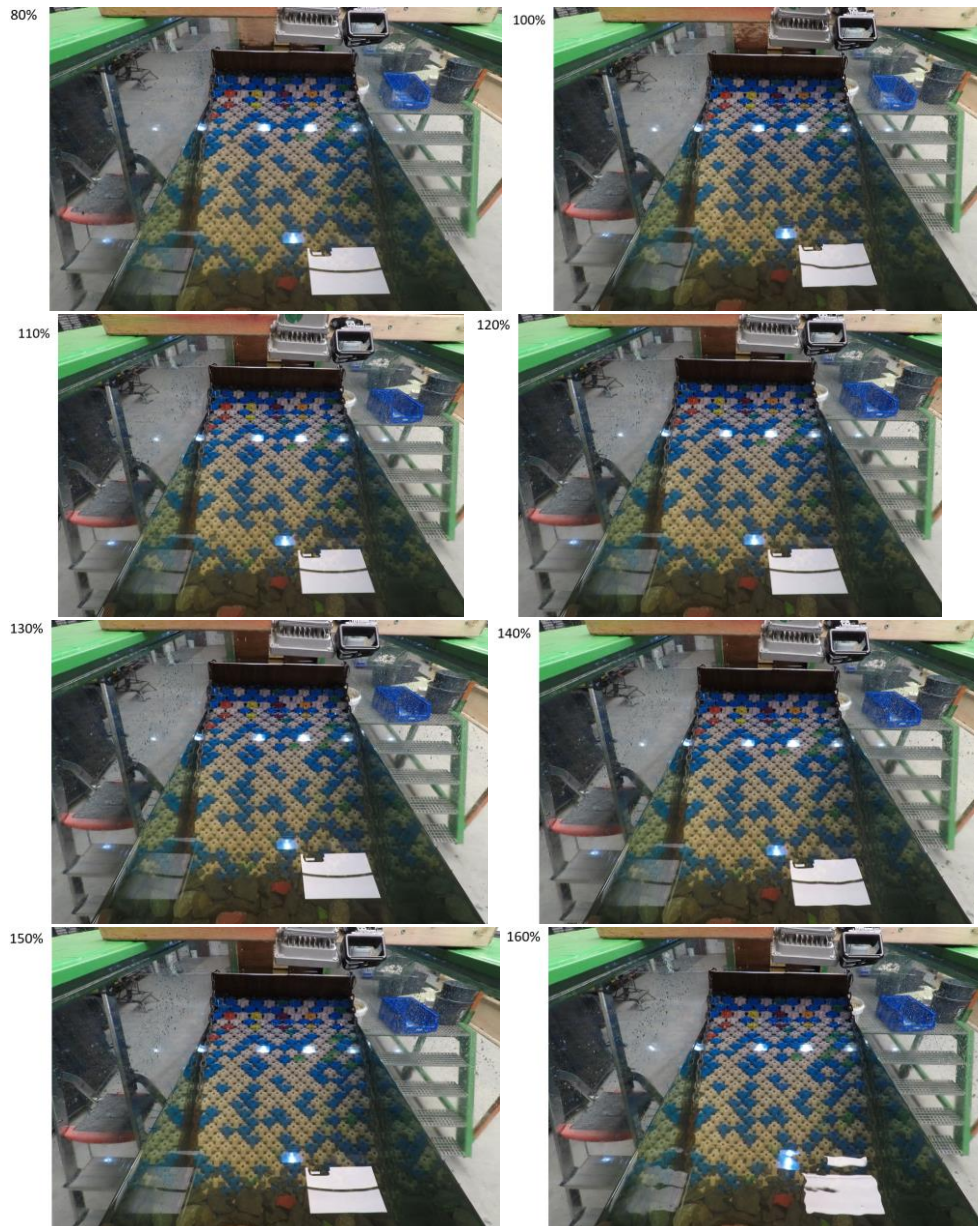
EcoblocPlus met 4% golfsteilheid en een normale waterstand van 39 cm.



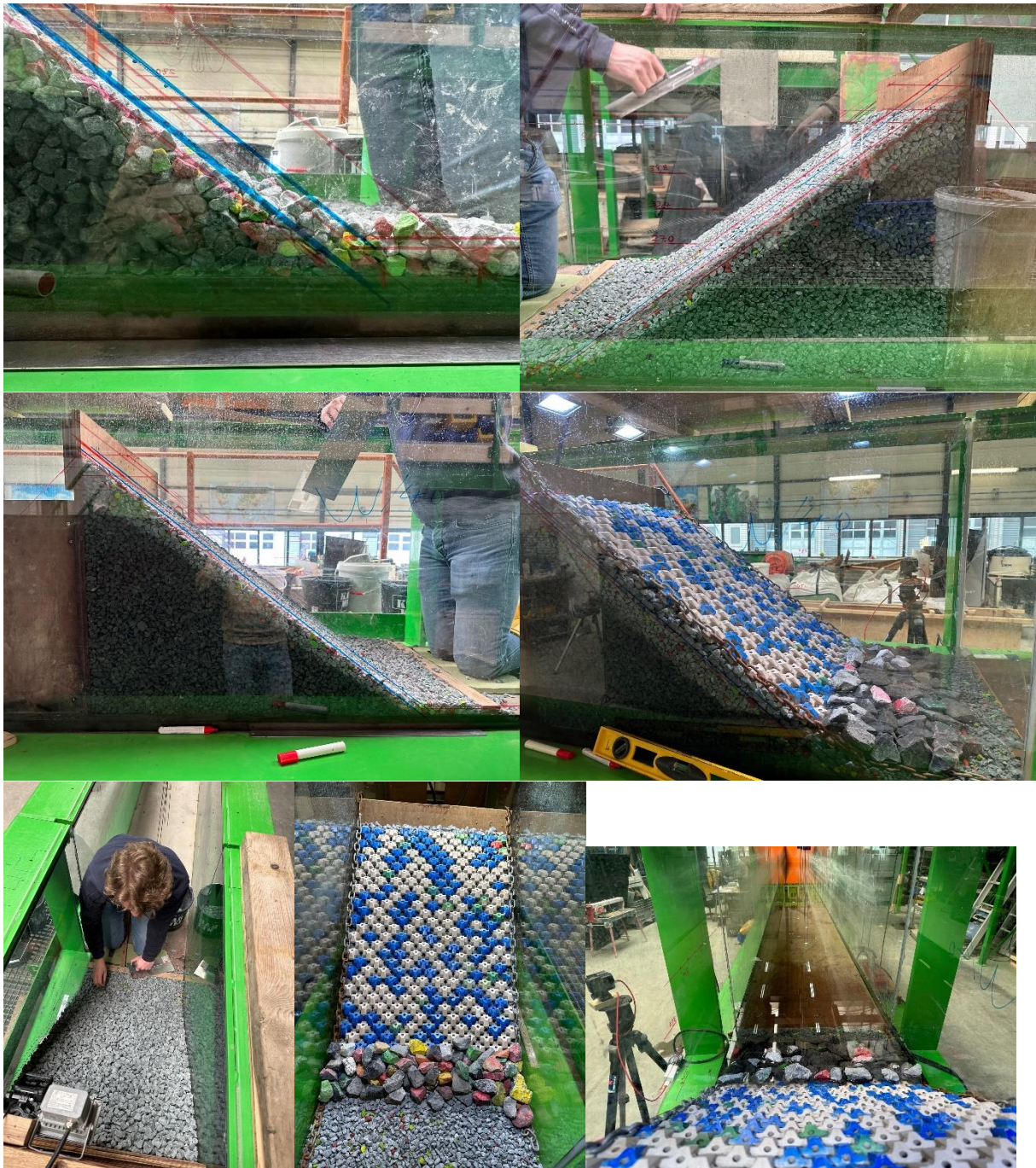
EcoblocPlus met 2% golfsteilheid en een met 10 centimeter verhoogde waterstand.

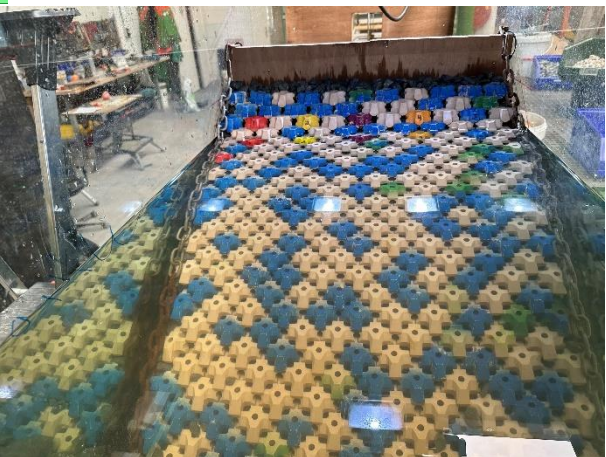
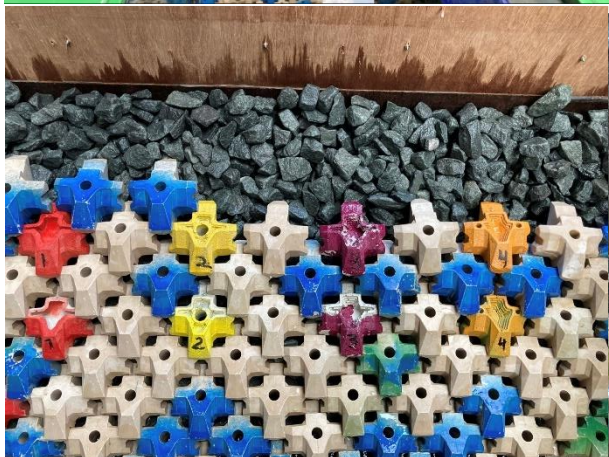


EcoblocPlus met 4% golfsteilheid en een met 10 centimeter verhoogde waterstand.



Bijlage E: Fotoverslag van het opzetten van de proefopstelling en het maken van de schaalmodellen





Bijlage F gegevens Wavelab

Gegevens 0-meting 2%

File name	Dir.	Amp. refl. coef.	Hm0	Tp
D:\2023-04-24_0-meting_2%\2023-04-24_0-meting_2%_80%.txt	Incident	0.4858	0.07947	1.561
D:\2023-04-24_0-meting_2%\2023-04-24_0-meting_2%_100%.txt	Incident	0.5261	0.09813	1.778
D:\2023-04-24_0-meting_2%\2023-04-24_0-meting_2%_110%.txt	Incident	0.5307	0.1035	1.829
D:\2023-04-24_0-meting_2%\2023-04-24_0-meting_2%_120%.txt	Incident	0.5397	0.1218	1.939
D:\2023-04-24_0-meting_2%\2023-04-24_0-meting_2%_130%.txt	Incident	0.5479	0.1225	2
D:\2023-04-24_0-meting_2%\2023-04-24_0-meting_2%_140%.txt	Incident	0.5578	0.1348	2.133
D:\2023-04-24_0-meting_2%\2023-04-24_0-meting_2%_150%.txt	Incident	0.5732	0.1373	2.207
D:\2023-04-24_0-meting_2%\2023-04-24_0-meting_2%_160%.txt	Incident	0.5861	0.153	2.286

Gegevens 0-meting 4%

File name	Dir.	Amp. refl. coef.	Hm0	Tp
D:\2023-04-20_0-meting_4%\2023-04-20_0-meting_4%_80%.txt	Incident	0.3431	0.07753	1.164
D:\2023-04-20_0-meting_4%\2023-04-20_0-meting_4%_100%.txt	Incident	0.3856	0.09952	1.28
D:\2023-04-20_0-meting_4%\2023-04-20_0-meting_4%_110%.txt	Incident	0.4066	0.1054	1.333
D:\2023-04-20_0-meting_4%\2023-04-20_0-meting_4%_120%.txt	Incident	0.4302	0.1196	1.362
D:\2023-04-20_0-meting_4%\2023-04-20_0-meting_4%_130%.txt	Incident	0.4461	0.1211	1.455
D:\2023-04-20_0-meting_4%\2023-04-20_0-meting_4%_140%.txt	Incident	0.4734	0.1399	1.524
D:\2023-04-20_0-meting_4%\2023-04-20_0-meting_4%_150%.txt	Incident	0.4802	0.1393	1.561
D:\2023-04-20_0-meting_4%\2023-04-20_0-meting_4%_160%.txt	Incident	0.5038	0.1583	1.641

Gegevens 0-meting 2% + 10cm

	Dir.	Amp. refl. coef.	Hm0	Tp
%\2023-05-01_0-meting+10cm_2%_80%.txt	Incident	0.4594	0.07214	1.561
%\2023-05-01_0-meting+10cm_2%_100%.txt	Incident	0.5268	0.08605	1.778
%\2023-05-01_0-meting+10cm_2%_110%....	Incident	0.604	0.1084	2
%\2023-05-01_0-meting+10cm_2%_120%....	Incident	0.5902	0.1197	1.939
%\2023-05-01_0-meting+10cm_2%_130%.txt	Incident	0.6137	0.1253	2
%\2023-05-01_0-meting+10cm_2%_140%.txt	Incident	0.6193	0.1387	2.133
%\2023-05-01_0-meting+10cm_2%_150%.txt	Incident	0.6283	0.143	2.207

Bij deze test zijn de gegevens na het verwerken niet juist opgeslagen. Bij het maken van deze tabellen zijn hierdoor de gegevens van de 160% test-run verloren gegaan.

Gegevens 0-meting 4% + 10cm

File name	Dir.	Amp. refl. coef.	Hm0	Tp
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_80%_echt.txt	Incident	0.3	0.07864	1.123
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_100%.txt	Incident	0.3575	0.102	1.255
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_110%.txt	Incident	0.3848	0.107	1.333
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_120%.txt	Incident	0.4176	0.1227	1.391
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_130%.txt	Incident	0.4344	0.1254	1.455
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_140%.txt	Incident	0.4591	0.1415	1.524
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_150%.txt	Incident	0.4746	0.1459	1.561
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_160%.txt	Incident	0.4918	0.1666	1.641

Gegevens EcoblocPlus 2%

	Dir.	Amp. refl. coef.	Hm0	Tp
04_EcoblocPlus_2%\2023-05-04_EcoblocPlus_2%_80%.txt	Incident	0.4761	0.07856	1.561
04_EcoblocPlus_2%\2023-05-04_EcoblocPlus_2%_100%.txt	Incident	0.5314	0.09964	1.778
04_EcoblocPlus_2%\2023-05-04_EcoblocPlus_2%_110%.txt	Incident	0.5481	0.1094	1.882
04_EcoblocPlus_2%\2023-05-04_EcoblocPlus_2%_120%.txt	Incident	0.5661	0.1204	1.939
04_EcoblocPlus_2%\2023-05-04_EcoblocPlus_2%_130%.txt	Incident	0.5818	0.1314	2.065
04_EcoblocPlus_2%\2023-05-04_EcoblocPlus_2%_140%.txt	Incident	0.5838	0.1472	2.133
04_EcoblocPlus_2%\2023-05-04_EcoblocPlus_2%_150%.txt	Incident	0.5938	0.149	2.207
04_EcoblocPlus_2%\2023-05-04_EcoblocPlus_2%_160%.txt	Incident	0.6163	0.1639	2.286

Gegevens EcoblocPlus 4%

	Dir.	Amp. refl. coef.	Hm0	Tp
05-04_EcoblocPlus_4%_80%.txt	Incident	0.3547	0.07706	1.123
05-04_EcoblocPlus_4%_100%.txt	Incident	0.3929	0.09932	1.28
05-04_EcoblocPlus_4%_110%.txt	Incident	0.4132	0.1084	1.333
05-04_EcoblocPlus_4%_120%.txt	Incident	0.437	0.1193	1.362
05-04_EcoblocPlus_4%_130%.txt	Incident	0.46	0.1277	1.455
05-04_EcoblocPlus_4%_140%.txt	Incident	0.4867	0.1392	1.524
05-04_EcoblocPlus_4%_150%.txt	Incident	0.5017	0.1453	1.561
05-04_EcoblocPlus_4%_160%.txt	Incident	0.5216	0.158	1.641

Gegevens EcoblocPlus 2% + 10cm

	Dir.	Amp. refl. coef.	Hm0	Tp
02_EcoblocPlus+10cm_2%_80%.txt	Incident	0.4695	0.07615	1.561
02_EcoblocPlus+10cm_2%_100%.txt	Incident	0.5494	0.09773	1.778
02_EcoblocPlus+10cm_2%_110%.txt	Incident	0.5789	0.1067	1.882
02_EcoblocPlus+10cm_2%_120%.txt	Incident	0.6035	0.1161	1.939
02_EcoblocPlus+10cm_2%_130%.txt	Incident	0.6185	0.1289	2
02_EcoblocPlus+10cm_2%_140%.txt	Incident	0.6246	0.1359	2.133
02_EcoblocPlus+10cm_2%_150%.txt	Incident	0.629	0.1465	2.207
02_EcoblocPlus+10cm_2%_160%.txt	Incident	0.6409	0.1572	2.286

Gegevens EcoblocPlus 4% + 10cm

File name	Dir.	Amp. refl. coef.	Hm0	Tp
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_80%_echt.txt	Incident	0.3182	0.07798	1.123
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_100%.txt	Incident	0.3845	0.1006	1.255
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_110%.txt	Incident	0.4092	0.1056	1.333
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_120%.txt	Incident	0.4402	0.1209	1.391
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_130%.txt	Incident	0.4557	0.1236	1.455
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_140%.txt	Incident	0.486	0.139	1.524
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_150%.txt	Incident	0.5021	0.1432	1.561
D:\2023-05-02_0-meting+10cm_4%\2023-05-02_0-meting+10cm_4%_160%.txt	Incident	0.5202	0.1633	1.641

Bijlage G Literatuurstudie

Wat is ecologisch ontwerpen en hoe pas je het toe.

Ecologisch ontwerpen is een breed concept waarbij over de exacte definitie nog twijfel is wat er allemaal wel niet onder valt. Ecologisch ontwerpen kan als volgt worden gedefinieerd: 'ecological engineering is the design of sustainable systems, consistent with eco-logical principles, which integrate human society with its natural environment for the benefit of both (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001).' Dit wil zeggen dat ecologisch ontwerpen zijn eigen discipline is binnen de techniek waarbij op basis van ecologische wetenschap ontwerpen gemaakt worden die rekening houden met ecologische principes en ecosystemen om zo een ontwerp te creëren waarbij de menselijke maatschappij samenvloeit met de natuurlijke omgeving waarin het zich begeeft.

Ecologisch ontwerpen wordt gedaan vanuit 5 principes die opgesteld zijn door Bergen et al. (2001) op basis van hun eigen ondervinden en die van voorgaande studies. Deze principes zijn bedoeld als richtlijnen voor ecologische ontwerpen die uitgevoerd worden om ervoor te zorgen dat er rekening wordt gehouden met de ecologische principes en ecosystemen waarin het ontwerp wordt uitgevoerd op dusdanige wijze dat deze kernwaarde niet verloren gaat. Het gaat om de volgende principes:

1. Het ontwerp is consistent met de ecologische principes.

Dit principe gaat over het gebruik maken van het natuurlijke gedrag van de natuurlijke omgeving waarin het ontwerp zich bevindt, dit kan door natuurlijke structuren na te bootsen en door met de natuur samen te werken in plaats van het te zien als een barrière waar je overheen moet. De natuur heeft namelijk het vermogen om zichzelf te organiseren zolang daar de ruimte voor is. Als een ontwerp te simpel is en te weinig mogelijkheden biedt voor zelforganisatie zal het niet kunnen floreren. Om hiervoor te zorgen heeft een ecosysteem complexiteit en diversiteit nodig wat in huidige ontwerpen nog veelal mist. Deze complexiteit en diversiteit is nodig binnen het gebied waarin het ecosysteem fungeert om ervoor te zorgen dat het gezond en levend blijft. Bergen et al. (2001) refereert naar Holling, 1996 over de 'veerkracht' van het systeem en dat er verschil zit tussen het technische en het ecologische aspect hiervan. Hierin wordt benoemd dat 'Engineering resilience measures the degree to which a system resists moving away from its equilibrium point and how quickly it returns after a perturbation. Ecological resilience reflects how large a disturbance an ecosystem can absorb before it changes its structure and function by changing the underlying variables and processes that control behavior (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001).' Deze veerkrachten werken elkaar tegen, technische veerkracht zorgt voor een verlies van ecologische veerkracht. In het ontwerp zal er een harmonie tussen de twee gevonden dienen te worden anders kan het leiden tot het verlies van één van de twee. Diversiteit kan ervoor zorgen dat een ecosysteem veerkrachtiger is, dit wordt ook wel 'functionele diversiteit' genoemd (Holling, 1996). Functionele diversiteit houdt in dat een systeem zo divers is aan soorten en variaties binnen die soorten dat de één de functie van een ander kan overnemen mocht deze om wat voor reden dan ook wegvallen, hierdoor wordt het systeem nog wel in stand gehouden. Deze natuurlijke karaktereigenschappen van de natuurlijke omgeving waarbinnen het systeem opereert kunnen op deze manieren benut worden om zo ecosystemen te laten floreren. (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001)

2. Het ontwerp houdt rekening met locatie specifieke eigenschappen.

Zoals hierboven al besproken is elk ecosysteem complex en divers, deze diversiteit en complexiteit moet dan ook behouden worden om de flora en fauna binnen dit ecosysteem te laten floreren. In dit principe wordt besproken hoe de locatie specifieke eigenschappen dient te gebruiken in je ontwerp om deze complexiteit en diversiteit van het ecosysteem te behouden. Het belangrijkste onderdeel binnen

dit principe is dan ook zoveel mogelijk informatie vergaren over de locatie waar het ontwerp uitgevoerd wordt zodat er een locatie specifieke oplossing gevonden kan worden. Volgens Bergen et al. (2001) leidt deze kennis van een locatie tot een holistisch ontwerp waarin dus rekening wordt gehouden met alle factoren. Bij ecologisch ontwerpen wordt dan ook niet alleen met de bovenstroomse effecten zoals rekening houden met wat voor materialen je gebruikt en importeert voor je ontwerp maar ook dus de benedenstroomse effecten zoals rekening houden met de omgeving en wat voor invloed je ontwerp daarop heeft. Hiernaast speelt het sociale aspect ook een rol in het slagen van een project, lokale gemeenschappen weten namelijk veel van de omgeving en als hun kennis betrokken wordt bij het ontwerpsproces kan dit leiden tot vollediger ontwerpen. Wel is in deze situaties belangrijk dat het gesprek goed wordt begeleidt om conflicten te voorkomen. (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001)

3. Het ontwerp dient niet te complex te zijn.

Doordat ecosystemen complex zijn en veel dingen in verbinding staan met elkaar is het lastig om van elkaar te onderscheiden en maakt het dus onzeker, het ontwerp wat je binnen het ecosysteem toepast dient dan simpel in ontwerp en uitvoering te zijn om het realiseerbaar te houden. Een te ingewikkeld ontwerp om aan de randvoorwaarden te voldoen zorgt ervoor dat het ontwerp niet goed met deze onzekerheden van het ecosysteem om kan gaan met als gevolg dat er functieverlies kan optreden. In het ontwerp moet juist gebruik gemaakt worden van de complexiteit van het ecosysteem ten behoeve van het ontwerp. (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001)

4. Ontwerp dient efficiënt te zijn in energieverbruik.

Dit principe gaat over gebruik maken van het systeem en het minimaliseren van invloeden van buitenaf binnen in het ontwerp zodat er een zelfvoorzienend systeem ontstaat waarin zo min mogelijk grondstoffen van buitenaf nodig zijn om het draaiende te houden. Daarbij hoort ook het minimaliseren van het gebruik van fossiele brandstoffen in het draaiende houden van het systeem en juist gebruik maken van hernieuwbare energiebronnen. (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001)

5. Erken de waarden en doelen die het ontwerp bevestigen.

In de definitie van ecologisch ontwerpen is opgenomen dat naast de maatschappij dienen ook de natuur en haar natuurlijk omgeving gediend moet worden in het ontwerp in tegenstelling tot technisch ontwerpen waarbij dit niet hoeft. Op deze manier houdt ecologisch ontwerp ook rekening met de onzekere en niet rationele aspecten van de mens en natuur. Hierbij worden doelen zoals verbinding met de natuur, gelijkheid tussen natuur en mens, duurzaamheid en esthetica net zo belangrijk geacht als materiele output. Volgens Bergen et al. (2001) kunnen de meeste technische ontwerp keuzes afgeleid worden van wat wordt omschreven als hybris. De term hybris wordt gebruikt omdat het naast hoogmoed ook nog betekent dat er vergelding kan optreden als het resultaat ervan. De reden voor deze terminologie is dat het proberen te controleren van complexe systemen zoals de natuur door de mens meestal leidt tot onverwachte resultaten die van tevoren niet te overzien zijn. Hierom wordt in het derde principe ook aangeraden om rekening te houden met deze vorm van onzekerheid in het ontwerpproces. Handelen vanuit een voorzorgsprincipe is dan ook essentieel om te voorkomen dat het leidt tot

onverwachte resultaten die zowel mens als natuur zouden kunnen schaden, hierom is het belangrijk om de ontwerpen te benaderen vanuit zowel 'failsafe' als 'safefail'. Failsafe is een bekend begrip binnen de civiele techniek waarbij bij eventueel falen het object nog steeds veilig is. De benadering safefail houdt rekening mee dat niet aan de van tevoren bepaalde voorwaarden wordt voldaan in het ontwerp of dat hierin onverwachtse resultaten optreden waarbij falen niet tot een ramp zal leiden. (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001)

Bij handelen vanuit het voorzorgsprincipe wordt de prioriteit verschoven van het minimaliseren van 'type-I' fouten naar het minimaliseren van 'type-II' fouten. Een type-I fout betekent dat een gestelde hypothese een foutief-positief resultaat heeft, wat wil betekenen dat de gevonden resultaten als significant worden bestempeld terwijl in werkelijkheid deze resultaten door toeval en niet-gerelateerde factoren zijn teweeggebracht. Een Type-II fout betekent dat de gestelde hypothese een foutief-negatief resultaat heeft, wat wil betekenen dat de gevonden resultaten als niet significant worden bestempeld oftewel geen effect terwijl in werkelijkheid dit echter wel het geval is (Bhandari, 2021).

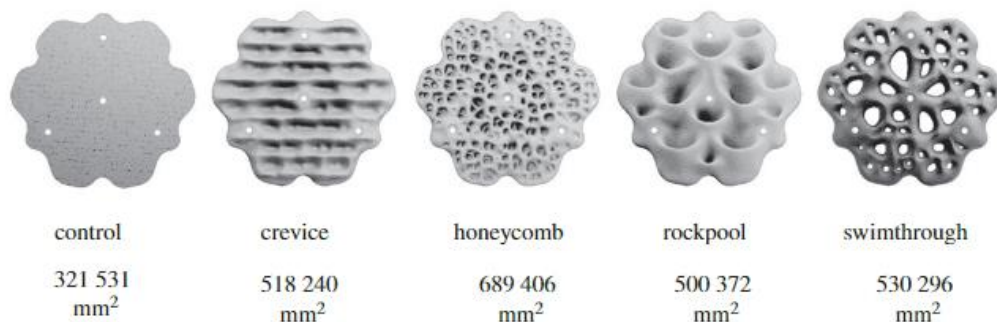
In het geval van ecologisch ontwerpen zou het proberen te minimaliseren van type-I fouten betekenen dat een hypothese over ecologische schade als gevolg van technische ontwerpen zowat volledig zeker moet zijn voordat deze geaccepteerd kan worden. Door de prioriteit te verschuiven naar het minimaliseren van type-II fouten zou het feit dat er geen schade optreedt de bewijslast zijn voor de hypothese. Hierdoor zou er ook rekening worden gehouden met concepten zoals intergenerationele gelijkheid, billijke verdeling van risico's en de zorg voor niet menselijke soorten (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001).

Onderzoek naar structuur en getijdenpoelen

Er zal gekeken moeten worden naar verschillende klimaten en landen over de wereld om te kijken naar welke structuren, vormen en afmetingen van getijdenpoelen goed werken. Er wordt gekeken naar gebieden waar deze zeeweringsblokken ook daadwerkelijk toegepast zouden kunnen worden en waar er veel vraag naar is. Denk hierbij aan Europa, Australië, Azië, Afrika, Midden-Oosten en Zuid-Amerika. De drie klimaten die in deze gebieden voorkomen zijn gematigd (zee)klimaat, tropisch klimaat en droog klimaat. In dit gedeelte van de literatuurstudie zal dan ook focust worden op onderzoeken uit deze drie klimaten vanuit verschillende landen op de wereld om zo een breedbeeld te krijgen van wat waar werkt.

Onderzoek uit gematigd klimaat

Door Bishop et al. (2022) is 2 jaar lang een onderzoek gedaan in een gematigd klimaat waarin verschillende soorten panelen op een kademuur in de haven van Sydney uitgetest worden om te kijken welke van deze panelen het best flora en fauna kunnen onderbrengen. Deze vijf panelen bestaan uit: een controlepaneel zonder aanpassingen, een paneel met horizontale spleten, een paneel met honinggraat structuur, een paneel met kleine poelen en een paneel met verschillende vormen waar organisme doorheen kunnen zwemmen. De resultaten tussen deze panelen worden met elkaar vergeleken welk het meest effect heeft en vergeleken met twee controle kademuren waar niks op is aangebracht en twee referentie locaties waar rotsachtige golfbrekers liggen (Bishop, Vozzo, Mayer-Pinto, & Dafforn, 2022).



Figuur 1: De vijf type panelen met respectievelijk oppervlakte in mm² (Bishop, Vozzo, Mayer-Pinto, & Dafforn, 2022)

In totaal zijn in gedurende de twee jaar dat het onderzoek is uitgevoerd 115 soorten gevonden, waarbij 33 van deze soorten uniek waren aan een bepaald paneel. 22 van deze soorten waren uniek aan het paneel met de poelen, 9 aan die met de horizontale spleten en 2 aan die waar organisme doorheen konden zwemmen. In eerste instantie na het plaatsen (na 4 maanden) van de panelen waren het aantal soorten op elk van de 4 unieke panelen dusdanig meer dan het controlepaneel, echter na 6 maanden was het honinggraat paneel statistisch gezien niet meer te onderscheiden van het controlepaneel in aantal soorten en overvloed aan flora en fauna op het paneel. Voor de rest van de panelen geldt dat tussen 12 en 24 maanden na het starten van het onderzoek het aantal soorten per paneel stabiliseert en niet verder ontwikkeld. Er is hierna dan ook weinig verschil meer te onderscheiden tussen de 4 unieke panelen en het controlepaneel op basis van aantal soorten aanwezig en overvloed aan flora en fauna dat op de panelen aanwezig is. Na deze periode is het effect dat de panelen gehad hebben dan ook weg, echter wordt er wel gesuggereerd dat door soorten zich snel nestelen op deze panelen na 24 maanden er een 'volwassen' ecosysteem is ontstaan waarin oesters zich nestelen waardoor er weer een dynamische structuur ontstaat waarin andere soorten zich nestelen in en om de oesters heen. Dit wordt echter enkel gesuggereerd en is nog geen bewijs om deze hypothese te bevestigen.

Na 24 maanden onderzoek bleek dan wel dat alleen de panelen met poelen erin verwerkt en in wat mindere mate panelen met horizontale spleten een dusdanig significant verschil te hebben in aantal (unieke) soorten en overvloed aan flora en fauna in vergelijking met de controlepanelen en controle/referentie locaties. De reden dat de panelen met poelen het zo goed deden is omdat het de enige van de panelen is die bij laagtij water vast kon houden, dit is een belangrijk aspect aangezien een van de grootste limitatie voor soorten die willen groeien in de bovenste limiet van de getijdenzone uitdroging is. Wat de poelen ook uniek maakt is dat er in de poelen een microklimaat ontstaat waarin de temperatuur tot wel 10 °C koeler was ten opzichte van de buitenkant van het paneel. Voor het paneel met horizontale spleten geldt dat de beschermde functie de waarschijnlijke verklaring is voor het kunnen onderbrengen van (unieke) soorten en een overvloed aan flora en fauna. De spleten zorgen voor een beschermende functie waarbij roofdieren moeilijker flora en fauna kunnen komen. Het toepassen van poelen in het getijdengebied blijkt dus te werken en in een beperkte mate horizontale spleten ook (Bishop, Vozzo, Mayer-Pinto, & Dafforn, 2022).

In 2014 is door Browne & Chapman (2014) ook nog een onderzoek gedaan in de haven van Sydney waarbij ze zogenaamde 'flowerpots' van verschillende maten aan kademuuren hadden bevestigd op verschillende hoogten in de getijdenzone. Deze flowerpots hebben als functie dat na hoog tij er water in blijft staan hetzelfde als bij getijdenpoelen. Deze flowerpots hadden dezelfde diameter bovenop (360 mm) maar varieerde in diepte (380 mm en 220 mm respectievelijk). Deze flowerpots werden op midden- en hoog in het getijdengebied geplaatst op twee locaties in de haven van Sydney voor 7 maanden lang (Browne & Chapman, 2014).

Uit de resultaten is te zien dat er midden in de getijdenzone een significant ander ecosysteem zich in de verschillende maten potten nestelt, dit effect was echter niet te zien hoog in de getijdenzone. Er was wel een significant verschil tussen de het aantal soorten algen op de muur en tussen de potten maar niet tussen de potten zelf terwijl er wel meer bedekking was in de grote potten. Er waren ook significant meer soorten sessiele dieren in de potten dan op de muur waarbij er midden in de getijdenzone significant meer waren dan hoger in de getijdenzone. Er was echter geen significant verschil in het aantal soorten weekdieren en kreeftachtigen tussen de potten en de muur waarbij er wel significant meer weekdieren en kreeftachtigen midden in getijdenzone waren dan hoger in de getijdenzone. Het toevoegen van deze potten aan de kademuur heeft dus geleid tot dat er meer soorten flora en fauna op de kademuur aanwezig zijn midden en hoog in de getijdenzone in vergelijking met wat er op de kademuur aanwezig is. Het toevoegen van kleinere spleten en gaten in de potten had maar gelimiteerde lange termijn effecten op de biodiversiteit omdat ze snel gekoloniseerd werden en er dus ook geen ruimte was voor soorten die hier langer over doen (Browne & Chapman, 2014).

In 1996 is door Underwood & Skilleter (1996) gedaan naar verschillende diameters en dieptes voor getijdenpoelen om te onderzoeken wat voor effect dit heeft op overvloed aan soorten en soorten rijkheid van de flora en fauna in het gebied. Er werd onderzoek gedaan naar 3 verschillende diameters poelen (15, 30 en 50 cm respectievelijk) met 2 verschillende dieptes (5 en 30 cm). Uit de resultaten blijkt dat er significante effecten zijn voor de diameter van de poel, echter zijn deze niet consistent en zijn er geen patronen in te vinden waardoor deze effecten niet bevestigd kan worden. Als er naar soorten rijkheid gekeken wordt geldt dat er in de 5 cm diepe poelen er gangbaar meer soorten aanwezig waren in de poelen met een breedte van 30 en 50 cm dan die van 15 cm. Voor de diepere poelen geldt dat er altijd meer soorten aanwezig waren in de 50 cm brede poelen dan in de 30 cm brede poelen, dit effect was meestal significant. Hoewel er dus beperkte significante effecten zijn betekent het dat de diameter van de poel niet belangrijk is voor de soorten rijkheid van de voorkomende soorten in het gebied die aanwezig zijn in de poelen. Grotere poelen zou wel kunnen zorgen voor een grotere overlevingskans voor de soorten aanwezig in de poel doordat grotere poelen voor meer variatie in habitat zorgen en er meer variatie is in populaties die in de poel aanwezig zijn waardoor deze een kleinere kans hebben op uitsterven. Door de mogelijke effecten van de diameters van de poelen kan niet bevestigd worden of diepere poelen zorgen voor meer soorten. Wel wordt gesuggereerd dat diepere poelen leiden tot meer soorten in de poel doordat diepte voor een groter oppervlakte zorgt maar ook voor complexiteit van de habitat (Underwood & Skilleter, 1996).

Peter Paalvast (2011) heeft in zijn pilotstudie naar de aangroei van wieren en macrofauna doormiddel van verschillende texturen, structuren en materialen gekeken naar wat de ecologische meerwaarde is van het toepassen van deze zogenaamde ecoblokken bij zeeweringen in verschillende hoogtes en dynamische zones in de getijdenzone. Waarbij uit de studie blijkt dat fijne- en middelfijne textuur snelle kolonisatie bevordert maar dat echter na enkele maanden dit verschil al niet meer te zien is in vergelijking met gladde textuur, ook voor de kolonisatie van zeepokken lijkt er geen dusdanig positief effect te zijn bij toepassen van textuur. Voor het aanbrengen van structuren geldt er een dusdanig positief effect is op de kolonisatie van blaaswier en mosselen waarbij horizontale spleten de meeste

voorkeur hebben, dit komt overeen met wat naar voren kwam in de studie van Bishop et al. (2022). Er was geen significant positief effect in het toepassen van ander materiaal op het gebied van kolonisatie van wieren en macrofauna (Paalvast, 2011).

Onderzoek uit tropisch klimaat

Getijdenpoelen

In Townsville, Queensland Australië is onderzoek gedaan naar het plaatsen van getijdenpoelen in een gebied met een tropisch klimaat waarbij de getijdenpoelen in het midden van de getijdenzone geplaatst zijn in drie verschillende oriëntaties (landinwaarts, zeewaarts en naar boven), deze poelen hebben de afmeting 400 mm x 350 mm x 200 mm.



Figuur 2: Gebruikte poelen voor dit experiment met daarbij één gericht landwaarts (links) en één gericht zeewaarts (rechts) (Waltham & Sheaves, 2018)

Uit de resultaten van dit onderzoek komt naar voren dat er significante verschillen zitten in de oriëntatie van de poelen en tussen de binnen- en buitenkant van de poelen waarbij aan de binnenkant van de poelen soorten zoals oesters, baardwormen, crustose algen en weekdieren zich voornamelijk nestelde terwijl aan de buitenkant vooral schaalhoren, zeepokken en epipelithische algen voorkwamen. Voor de oriëntatie gelde dat er tussen de land- zeewaartse gerichte poelen geen significant verschil was maar wel met de naar boven gerichte poelen, dit verschil werd benadrukt met een hogere dekking aan oesters, zeeslakken, baardwormen en crustose algen aan de binnenkant van de overhangende muren van beide gekantelde poelen in vergelijking met de naar boven gerichte poelen. Een mogelijke oorzaak hiervoor zou kunnen zijn is de schaduwplekken binnen de poel die hierdoor ontstaan (Waltham & Sheaves, 2018).

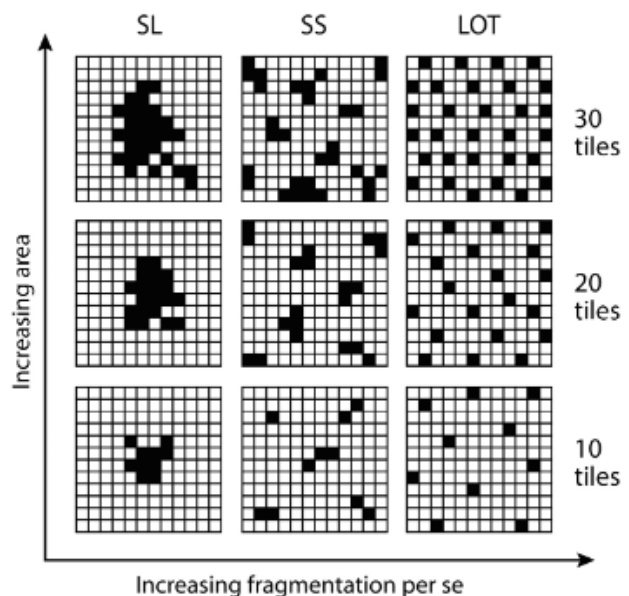
Sedimentvorming

In dit onderzoek is ook onderzoek gedaan naar snelheid van sedimentatie die vormt in de poelen, het onderzoek is uitgevoerd in nabij de uitmonding van rivieren en delta's op de lagune van het Groot Barrièrerif in dit gebied is gekenmerkt door sediment dat hoog in het water zweeft. Gedurende de twee jaar dat het onderzoek gelopen heeft, heeft sedimentatie zich opgebouwd in de poelen met een snelheid van 17,5 mm/jaar tot 22,5 mm/jaar de oriëntatie van de poelen had hier geen invloed op. Nog geen andere studies hebben in hun onderzoek naar getijdenpoelen sedimentvorming gemeten, er kan dan ook niet bepaald worden of deze waarden ongewoon zijn maar wel kan dit dienen als indicatie waar rekening mee gehouden kan worden. (Waltham & Sheaves, 2018)

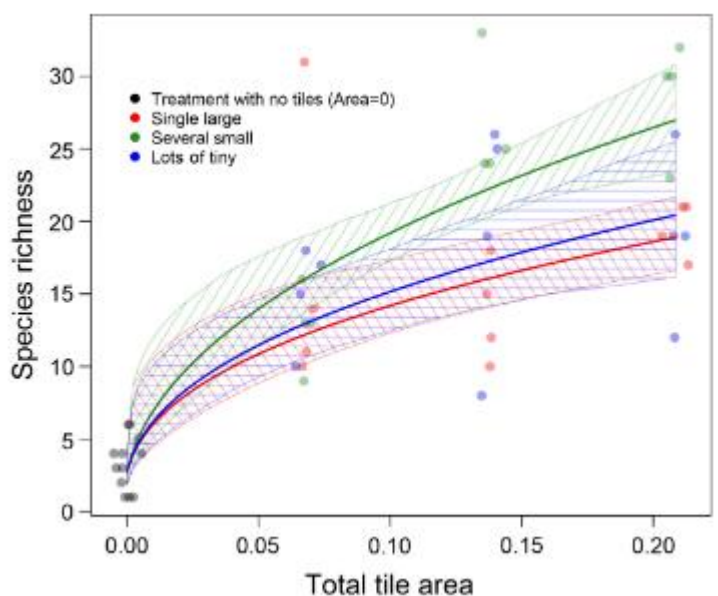
Structuur op harde ondergrond

Op Pulau Hantu, Singapore is onderzoek gedaan naar het plaatsen van tegels (200 mm x 200 mm x 60 mm) met daarop structuur aangebracht binnen kavels van (2,4m x 2,4m) om te kijken of deze in het gebied de lokale diversiteit aan flora en fauna kan verbeteren op basis van voorgaand onderzoek van Loke et al. (2019) op dezelfde locatie. In dat onderzoek is er gekeken naar als je tegels met structuur aanbrengt binnen bepaalde kavels of het uitmaakt hoeveel tegels je plaatst en of fragmentatie van de tegels verschil uitmaakt op de invloed van biodiversiteit. Voor dit onderzoek hebben ze op kavels van 2,4 m bij 2,4 m gepakt waarin ze in verschillende variaties en hoeveelheden tegels (200 mm x 200 mm x 60 mm) (Loke, Chisholm, & Todd, 2019).

Figuur 3: Verdeling van de tegels (zwart) over de gebieden van 2,4m x 2,4m. Waarbij er variatie is in aantal tegels is aangegeven in de rijen (10 tegels = 7% gedekt; 20 tegels = 14% en 30 tegels = 21%) en waarbij fragmentatie aangegeven is in de kolommen (SL, enkel groot; SS, meerdere klein; LOT, velen hele kleine) (Loke, Chisholm, & Todd, 2019).



Uit dit onderzoek blijkt dat kavels met 20 of 30 tegels significant meer soorten konden onderbrengen dan kavels met 10 tegels. Ook tussen de verschillende variaties zitten significante verschillen, kavels met de variatie SS (meerdere klein) kon significant meer soorten onderbrengen dan de variaties SL (enkel groot) en LOT (meerdere hele kleine). Echter hadden de variaties geen invloed bij weinig tegels aangezien er bij 10 tegels (7% dekking) er geen significante verschillen waren tussen de verschillende variaties. Kavels met geen tegels konden ook significant minder soorten onderbrengen dan kavels met tegels (Loke, Chisholm, & Todd, 2019).



Figuur 4: Grafiek aantal soorten uitgezet tegenover totale oppervlakte tegels. (Loke, Chisholm, & Todd, 2019)

Op basis van deze ondervindingen zijn Taira et al. (2020) verder onderzoek gaan doen 11 maanden lang naar of deze toepassingen ook positieve effecten hebben op vissen die over het algemeen niet gebruik kunnen maken van functies die de tegels te bieden hebben. Dit is onderzocht doormiddel van 6 kavels (2,4m x 2,4m) te maken waarop geen tegels geplaatst zijn en 6 kavels met 20 tegels (200 mm x 200 mm x 60 mm) in de configuratie SS (meerdere klein) zoals naar voren was gekomen uit het onderzoek van Loke et al. (2020). Resultaten werden verzameld doormiddel van foto's te maken van de kavels om de soorten te kunnen herkennen die zich genesteld hadden op de tegels, voor de vissen zijn onderwatercamera's geplaatst die filmen zodat de hoeveelheid, soorten en de aantal beten per kavel van de vissen gemeten kon worden. (Taira, et al., 2020)

Na 11 maanden was een totaal oppervlakte van 10,4% van het geopserveerde oppervlakte bezet met Epibenthose biota. Het percentage biota aanwezig was significant meer op de betegelde kavels ($17,0 \pm 1,8 \%$) dan op de niet betegelde kavels ($3,7 \pm 0,6\%$). Dit verschil is dan ook ongeveer evenveel als het oppervlakte van de tegels op de betegelde kavels ($\approx 14\%$) die veelvuldig bezet waren door biota. Het betegelen en de hoeveelheid aanwezige biota hadden beide significante positieve effecten op de rijkdom aan vissen, daarnaast was er ook nog een significante interactie tussen deze twee factoren. Ook het aantal soorten was significant groter bij de betegelde kavels in vergelijking met kavels waar dit niet was gebeurd en nam toe bij aanwezige biota, echter was er hierbij geen interactie tussen deze twee factoren. Ook het aantal beten per kavel was significant groter op de betegelde kavels in vergelijking met de kavels waar dit niet was, binnen de betegelde kavels werden 88,2% van de beten genomen van de tegels. De aanwezige samenstelling van vissen werd ook significant beïnvloed door betegeling van de kavels, aanwezigheid biota en tijd (Taira, et al., 2020).

Onderzoek uit het 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) geven in hun onderzoek aan dat veel van de toepassingen die gedaan worden in de onderzoeken die uitgevoerd zijn in een gematigd 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 een gebied is met verhoogde saliniteit van het water zijn er weinig soorten die voor komen in de hoog- en midden 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 zouden getijdenpoelen in dit gedeelte van de getijdenzone niet goed werken omdat er een grote kans is dat verdamping ervoor zal zorgen dat het water in de poelen te warm en een te hoge saliniteit krijgt om flora en fauna te kunnen laten koloniseren. Echter in de lageregelegen 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 lageregelegen getijdenzone leven (Burt & Bartholomew, 2019).

In hun onderzoek verwijzen Burt & Bartholomew (2019) ook naar Waltham & Sheaves (2018) die bewezen hebben met hun onderzoek in tropisch klimaat dat door poelen schuin te oriënteren er meer flora en fauna aanwezig is in de poelen met name in de stukken waar schaduw is. Burt & Bartholomew (2019) suggereren dan ook dat grotere getijdenpoelen die ook voor schaduw zorgen wellicht wel effectief kunnen zijn in de Golf.

Bevindingen

Na een tal van onderzoeken vergeleken te hebben, met ecologen gesproken te hebben en gekeken te hebben naar de resultaten die naar voren komen in deze onderzoeken komt er een rode draad te ontstaan in wat wel (significant) effect heeft en wat misschien wel beter buiten beschouwing gelaten kan worden. In de beginfase van ons onderzoek wilden we ons toespitsen op zowel getijdenpoelen als structuur/textuur aanbrengen op XblocPlus blokken. Echter naarmate we steeds verder in dit onderzoek komen blijkt dat structuur/textuur een kortetermijnoplossing blijkt te zijn voor snelle kolonisatie dat na ongeveer twee jaar statistisch gezien geen dusdanige positieve effecten met zich meebrengt op lange termijn vergeleken met een glad oppervlakte volgens Bishop et al. (2022) en dit is wat ook in andere onderzoeken doorschemerde.

We hebben dan ook besloten om structuur/textuur aanbrengen op XblocPlus blokken buiten beschouwing te laten voor het ontwerpen van de blokken. Hiervoor is gekozen omdat deze blokken binnen een systeem worden toegepast dat een omlooptijd van 100 jaar heeft waarbij dus snelle kolonisatie met een beperkt langdurig effect niet kan afwegen tegen de extra kosten die nodig zijn om dit op de blokken aan te brengen. Er is wel besloten om de bevindingen hierover hieronder wel te benoemen ter onderbouwing van dit argument. Getijdenpoelen hebben echter wel dusdanige significante effecten en zorgen voor kolonisatie van unieke soorten die anders dit niet zouden doen op beton. Over de lange termijneffecten van getijdenpoelen is niet veel bekend aangezien de meeste onderzoeken een omlooptijd van maximaal twee jaar hebben. Echter als er wordt gekeken naar natuurlijke getijdenpoelen blijkt dat de soorten die zich hierin nestelen hier voor lange periodes zitten mits deze poelen groot genoeg zijn om genoeg variatie te bieden in het habitat.

Soort klimaat	Structuur/Vormen	Hoogte in getijdenzone
------------------	------------------	------------------------

Tropisch	Verschillende vormen op meerdere plekken over het blok verspreid heeft het meesten effect (Loke, Chisholm, & Todd, 2019).	Onderzoeken hebben plaatsgevonden midden in de getijdenzone waar de soortenrijkheid het hoogst is.
Gematigd	Horizontale spleten bieden bescherming en bevorderen vestiging van mossels, deze resultaten zijn echter minimaal (Bishop, Vozzo, Mayer-Pinto, & Dafforn, 2022) en (Paalvast, 2011). Voor andere structuren geldt dat de effecten niet dusdanig zijn doordat er snelle kolonisatie plaatsvindt waarna structuur en vormen geen ruimte meer hebben voor andere soorten dat het niet als een lang termijn optie gezien kan worden (Bishop, Vozzo, Mayer-Pinto, & Dafforn, 2022).	Onderzoeken hebben plaatsgevonden midden in de getijdenzone waar de soortenrijkheid het hoogst is.
Droog	Aanhouden wat er naar voren komt uit onderzoeken uit andere klimaten (Burt & Bartholomew, 2019).	Laag in getijdenzone waar omstandigheden gunstiger zijn voor flora en fauna (Burt & Bartholomew, 2019).

Tabel 1: Bevindingen structuur en vormen op blokken uit diverse onderzoeken

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 niks is hier niet in onderzocht. Echter leidt een schuine vorm tot meer biodiversiteit doordat er schaduwplekken ontstaan in de poel (Waltham & Sheaves, 2018).	Onderzoeken hebben plaatsgevonden midden en hoog in de getijdenzone, waarbij midden in de getijden zone er meer soorten aanwezig zijn (Waltham & Sheaves, 2018).
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 in het aantal soorten voor 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 het 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 2: Bevindingen getijdenpoelen uit diverse onderzoeken

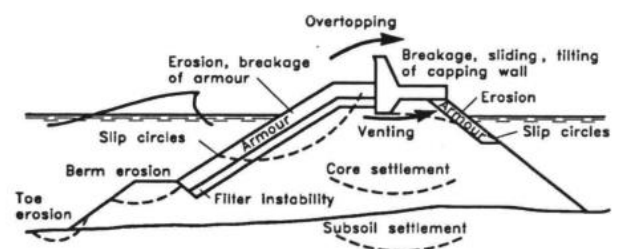
Onderzoekdeel XblocPlus

Inleiding

In 2018 bracht DMC het dochterbedrijf van BAM de XblocPlus op de markt. Dit zijn armour blokken die in patroon worden aangebracht op een dijk. De blokken zijn voor het eerst toegepast op de Afsluitdijk. Het voordeel van deze blokken is dat ze minder beton gebruiken dan concurrerende blokken en ook zijn ze makkelijker te vervangen. De XblocPlus is van beton gemaakt met een vlak oppervlakte, dit zorgt ervoor dat de blokken wel een golf brekende functie hebben maar geen ecologische waarde hebben. In deze scriptie worden zoals eerder aangegeven aanpassingen gedaan aan de XblocPlus waardoor deze wel een ecologische waarde krijgt. Het creëren van deze ecologische waarde mag echter niet de primaire functie van de XblocPlus hinderen, om te controleren of de ecologische XblocPlus wel zijn primaire functie behouden worden er testen gedaan in het water laboratorium van BAM. De blokken worden in het laboratorium op schaal na gemaakt en getest in een golfgoot. In dit hoofdstuk worden de volgende faalmechanismen omschreven die tijdens de testen kunnen op treden en wordt er omschreven hoe het verschalen van een groot blok naar model berekend wordt.

Faalmechanismes

In figuur 5 zijn de faalmechanismen, die volgens Burcharth (1992), bij een golfbreker plaats kunnen vinden schematisch weergegeven. De XblocPlus is in dit figuur de armourlaag en verschillende faalmechanisme kunnen zorgen voor het falen van de armourlaag. In dit onderzoek worden echter alleen de faalmechanismen die direct in verband staan met de armourlaag behandeld, het falen van de armourlaag door bijvoorbeeld erosie in de teen wordt hier dus niet behandeld maar het falen door hydraulische instabiliteit wel (Burcharth, Reliability Evaluation of a Structure at Sea, 1992).



Figuur 5: Faalmechanisme voor een golfbreker (Burcharth, Reliability Evaluation of a Structure at Sea, 1992)

Golfbelasting

Wanneer golven de golfbreker bereiken ontstaat er een interactie tussen de golfbreker en het water. De golven breken op de helling van de golfbreker en stroomt de helling op en vervolgens stromen de gebroken golven terug de helling af. De stroming de golfbreker op en af worden de golfoploop en golfneerloop genoemd en volgens Jensen (1984) hangt het breken van de golven af van vier factoren:

1. De geometrie van de zeebodem
2. De geometrie van de golfbreker
3. De waterdiepte
4. Golfslagkarakteristieken zoals golfhoogte en golfperiode

De interactie tussen de golfbreker en golven kunnen voor instabiliteit zorgen in de armourlaag. In dit deel van het onderzoek worden de processen die plaats vinden tijdens deze interactie nader toegelicht (de Raad, 2021).

Reflectie

Wanneer golven een constructie bereiken kunnen de golven breken of er kan reflectie optreden. Voor constructies met een niet-poreuze, steile en gladde helling zal zo goed als de gehele golf reflecteren. Golfbrekers met stortsteen zijn opgebouwd met uit permeabele hellingen op de golfenergie op te nemen en reflecteren om deze reden in het algemeen minder energie dan de niet-poreuze gladde hellingen (de Raad, 2021).

Golfoploop en golfneerloop

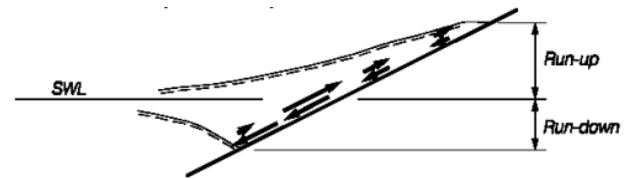
Zoals hierboven onder het stuk golfbelasting omschreven staat zijn de golfoploop en golfneerloop de stroming van het water uit een golf op een hellend talud. Hierbij is de golfoploop (R_u) het maximale hoogteverschil met het zeewaterpeil zonder invloed van wind ook wel 'still-water level' (SWL) genoemd en de golfneerloop (R_d) het minimale verschil met de SWL. De golfoploop en golfneerloop zijn afhankelijk van de talud helling, ruwheid van de oppervlakte, de permeabiliteit en porositeit van het

talud, hoogte en steilheid van de golf en de interactie met de voorgaande golven (US Army Corps of Engineers, 2011). Volgens (CIRIA; CUR; CETMEF, 2007) resulteren constante golven in een enkele waarde van de maximale golfoploop in tegenstelling te de onregelmatige golven waarbij een statische spreiding ontstaat. Hierbij is de meest gebruikelijke parameter $R_{u2\%}$ en deze parameter geeft aan het aantal oplopen gerelateerd aan de golfhoogte dat het niveau van 2% overstijgt. Deze parameter wordt gegeven met de volgende formule:

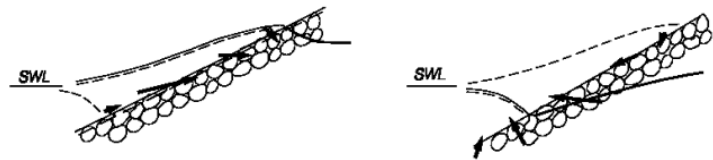
$$\frac{R_{u2\%}}{H_{m0}} = 1.75 * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta * \xi m - 1,0$$

Waarbij H_{m0} staat voor significantie golfhoogte, γ_b staat voor correctiefactor berm, γ_f staat voor correctiefactor ruwheid van het talud, γ_β staat voor correctiefactor voor schuine golven en $\xi m - 1,0$ staat voor de brekerparameter gebaseerd op $Tm - 1,0$ (spectrale golfperiode).

In figuur 7 zijn de stroomsnelheidsvectoren langs een impermeabel talud te zien en in figuur 8 zijn de stroomsnelheidsvectoren langs een permeabel talud te zien. De grootte van deze vectoren is, net als de richting, belangrijk voor de stabiliteit van de armourlaag. Over het algemeen treedt het meest kritische stromingsveld op in een zone rond en net onder de SWL waarbij de golfneerloop normaliter voor de grootste destabiliserende effecten zorgt. Uitzonderingen hiervoor zijn hellingen flauwe dan 1:3,5 waarbij de oploop kritieker is (US Army Corps of Engineers, 2011).



Figuur 7: Oploop en neerloop op een impermeabel talud (US Army Corps of Engineers, 2011).



Figuur 6: oploop en neerloop op een permeabel talud (US Army Corps of Engineers, 2011)

De permeabiliteit van een golfbreker is gerelateerd aan de onderlaag en de kern. Een permeabel talud laat de golven meer de golfbreker indringen en vermindert de stroomsnelheid langs het talud. De impact van golven wordt opgenomen bij het indringen van de golfbreker. Een doorlatende kern kan meer energie afvoeren door tubelente stromingen te creëren en hiermee vermindert deze de reflectie, dit vermindert de aantasting van de armourlaag. Bij golfbrekers waarbij de armourlaag uit één laag bestaat speelt de permeabiliteit van de golfbreker een grotere rol dan golfbrekers met meerdere armourelagen. Hier is namelijk de toplaag minder dik en dit resulteert in een grotere stroomsnelheid langs de armourlaag, dit zorgt voor grotere destabiliserende krachten (de Raad, 2021).

Breaken

Om de verschillende manieren van het golven breken te omschrijven moet de brekerparameter, het Iribarrengetal, worden gebruikt. Het Iribarrengetal is een functie van de taludhelling en de golfsteilheid en wordt als volgt geformuleerd:

$$\xi_p = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_{op}}}$$

Met daarbij de golfsteilheid die als volgt bepaald wordt:

$$S_{op} = \frac{H_s}{L_{op}} = \frac{2\pi H_s}{gT_p^2}$$

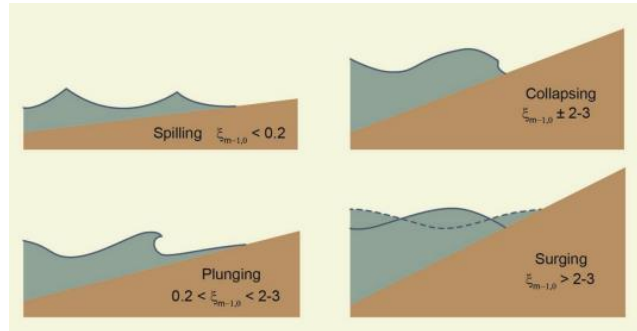
Bij deze benadering is de verhouding tussen de golfhoogte en diepwater golflengte, en daarmee de golfsteilheid, fictief maar wordt in die rapport gebruikt voor het bepalen van de golfsteilheid. Volgens (Det Norske Veritas AS, 2011) zijn er op zee twee soorten golven, de zeegang (wind seas) en zee deining (swell). Zeegang zijn, zoals de Engelse benaming aangeeft, golven ontstaan door de wind en

zee deining zijn golven die zich buiten het gebied waar ze begonnen zijn hebben voortgeplant, op deze golven heeft de wind geen invloed meer (EurOtop, 2018).

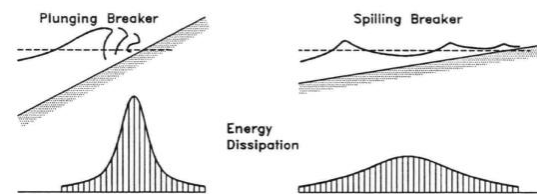
Over het algemeen duidt een steilheid van $S_{op} = 0,01$ op een typische zee deining en een steilheid van $S_{op} = 0,04$ tot $0,06$ een typische zeegang. Zee deining worden vaak geassocieerd met golven van een lange periode, waarbij de periode de belangrijkste parameter wordt die van invloed is voor overslag (EurOtop, 2018).

De combinatie tussen het talud waar een golf op breekt en de golfsteilheid geeft de soort breking aan. In de figuur 4 is te zien welke soorten breken er zijn.

De golven waarbij $\xi_m - 1,0 > 2-3$ zijn deinende golven. Deze golven kenmerken zich met een langere golf periode waardoor een meer oscillerende stroming ontstaat. Deze stroming zorgt voor een hogere golfoploop. Doordat deze soort golven niet breken verliezen zij minder energie (EurOtop, 2018).



De golven waarbij $0,2 < \xi_m - 1,0 < 2-3$ zijn brekende golven. Deze golven kenmerken zich met een brekertong die klappt op de golfbreker (EurOtop, 2018). Wanneer de golf breekt zorgt dit voor snelle turbulente stroming en een grote hydraulische druk op een relatief klein oppervlakte. Hierdoor vindt er zoals figuur 5 aangeeft hoge dissipatie plaats (Schierreck & Verhagen, 2012), bij deze golven vindt wel relatief weinig golfoploop en golfneerloop plaats.



Figuur 9: Verschil in energie dissipatie (Schierreck & Verhagen, 2012)

De golven waarbij $\xi_m - 1,0 \pm 2-3$ zijn stortende golven. Deze hebben de onder in de kenmerken van een brekende golf wat zorgt voor een 'golfklap' op de golfbreker en bovenin hebben ze de kenmerken van een deinende golf waardoor golfoploop ontstaat. Bij dit type golf wordt daarom de meeste schade aan een golfbreker verwacht (Schierreck & Verhagen, 2012).

De golven waarbij $0,2 < \xi_m - 1,0$ zijn golven die breken op een zachte vooroever. Dit zijn golven die men veel al op het strand tegenkomt.

Overslag

Overslag is afhankelijk van de kruinhoogte ten opzichte van de SWL, de het talud, de kruinconfiguratie, bermbreedte en de golfconditie. Overslag treedt op wanneer het golfoplooppniveau zo dusdanig hoog wordt dat het de kruinhoogte overstijgt. De overslag kan worden uitgedrukt in een specifiek overslagdebiet (q in $m^3/s/m$). Het maximale overslagdebiet is afhankelijk van de functie van de golfbreker. Wanneer er wegen en constructies zich achter de golfbreker bevinden is er weinig tot geen overslag toelaatbaar.

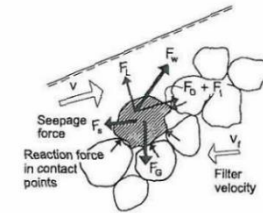
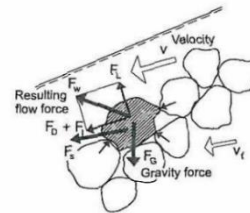
Wanneer overslag wel toelaatbaar is kan een grotere overslag zorgen voor een lagere golfbelasting op de armourlaag. Bijkomend verhoogd een grotere overslag ook de kans op installatie aan de lijzijde (CIRIA; CUR; CETMEF, 2007).

Destabiliserende krachten

De voorgaande paragrafen hebben aangetoond dat de interactie tussen golven en golfbrekers zorgen voor stroming over het talud van de golfbreker. Als gevolg van deze stroming over het talud variëren, met tijd, de grootte en richting van de krachten werkend op de armourlaag. Volgens (Vos, 2017) bestaan de krachten op de armourlaag uitgeoefend door golven uit:

1. De quasi-hydrostatische belasting: de aanwezigheid van water op het talud, deze belasting neemt toe voor iedere golftop en neemt af voor iedere golfdal. De kracht is naar binnen gericht.
2. Golfsnelheid: de snelheid oefent weerstandskrachten en liftkrachten uit tijdens oploop en neerloop.
3. De golfslag: de kracht die de golf uitoefent bij het breken op de helling. Een korte maar hoge naar binnen gerichte druk.
4. Uplift: kracht door het verschil in waterpeil binnen en buiten de golfbreker. De permeabiliteit van de armourlaag, onderlaag en kern bepalen de krachtgrootte. Deze kracht is naar buiten gericht.

(Hald, 1998) Stelt dat er met behulp van de Morison-vergelijking externe krachten gedefinieerd kunnen worden. De werking van deze krachten werken verschillend afhankelijk van of er golfoploop of golfneerloop plaats vindt. De externe krachten die op de armourlaag werkt zijn:



- Sleepkracht (F_D), het gevolg van stroming op het talud en werkt in de richting van deze stroming. De kracht is grotendeels afhankelijk van de stroomsnelheid (V) en het aangestroomde oppervlak (A) (Ruwiel, 2020).

$$F_D \approx C_D * \rho_w * A * v|v|$$

- Liftkracht (F_L) staat haaks op de stroming van water. Het stromende water verplaatst zich langs de krommingen van het blok met als resultaat een overdruk onder het blok en een overdruk boven het blok dat omhooggerichte liftkracht veroorzaakt. Net als de sleepkracht is de liftkracht grotendeels afhankelijk van de stroomsnelheid (V) en het aangestroomde oppervlak (A) (Ruwiel, 2020).

$$F_L \approx C_L * \rho_w * A * v|v|$$

- Traagheidskracht (F_I) wordt veroorzaakt door de verandering in stroomsnelheid over tijd.

$$F_I \approx C_I * \rho_w * v * \frac{dv}{dt}$$

De vectorsom van F_D , F_L en F_I wordt gezien als de totale kracht die het water uitoefent op de armourlaag. De grootte van deze kracht hangt af van de empirische coëfficiënten C_D , C_L en C_I en deze coëfficiënten kunnen worden beïnvloed door (Ruwiel, 2020):

- Het Reynoldsgetal, dit getal geeft aan of de stroming laminair of turbulent is. Een lager Reynolds getal zorgt voor een hogere kracht en daarmee een hogere coëfficiënt.
- De vorm van het de armour blokken. Des te gestroomlijnder het blok is des te makkelijker het water om het blok stroomt des te lager de coëfficiënt is.
- Het getal van Keulegan-Carpenter geeft iets aan over de relatieve invloed van de sleepkracht en traagheidskracht voor objecten in een oscillerende stroming.

De kwelkracht (F_s) is gerelateerd aan de interne stromingskrachten. De naar buiten gerichte kwelkracht is de vectorsom van de interne stromingskracht (F_f) en de drukopbouw in de kern van de constructie (F_p) (Hald, 1998). Voor de hydraulische gradiënt wordt de uitgebreide Forchheimer-vergelijking gebruikt. Barends en Hölscher concluderen dat het element in de initiële faalfase wordt opgetild door de kwelkracht en vervolgens wordt het element verplaatst door andere stromingsmechanismen (Ruwiel, 2020).

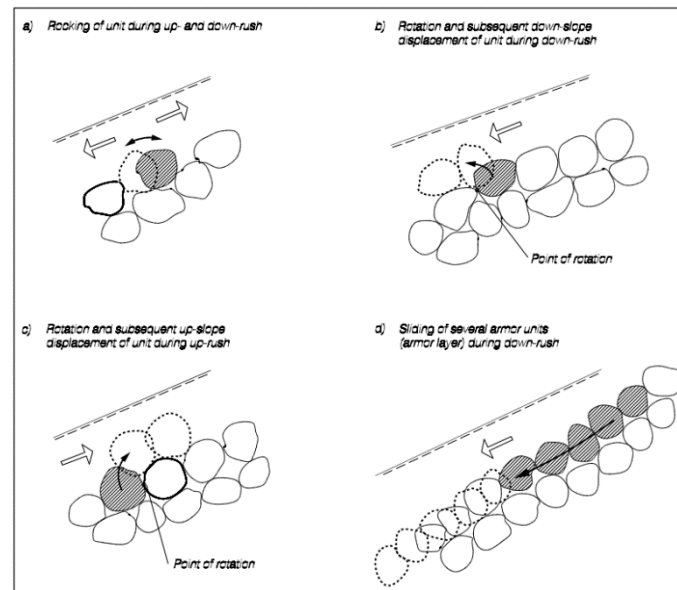
$$F_p \approx \frac{V}{1-n} * \frac{dp}{dx}$$

$$F_f \approx \rho_w * g * \frac{V}{1-n} * i$$

$$i = C_a * v_f + C_b * v_f |v_f| + C_c * \frac{\delta v_f}{\delta t}$$

Kenmerkende faalmechanisme voor een armourlaag

De in voorgaande paragrafen genoemde destabiliserende krachten zorgen verschillende faalmechanismen in de armourlaag. Figuur 7 geeft een overzicht over welke faalmechanismen er in de armourlaag kunnen optreden met deze destabiliserende krachten.



of Engineers, 2011)

Schommel tijdens golfoploop en golfneerloop.

Tijdens de golfoploop en golfneerloop kantelt het blok naar voor en naar achter omdat de blokken niet goed tegen elkaar aanliggen. De blok verandert normaliter tijdens het schommelen niet van positie. Schommeling kan echter wel leiden tot verplaatsing of het breken van de blokken en dus wordt dit als faalmechanisme gezien (US Army Corps of Engineers, 2011).

Draaiing en verplaatsing van het blok.

Zoals de naam aangeeft verandert het armourblok hier wel van positie door de werking van zwaartekracht en de stroming van het water. Het verplaatsen van het blok zorgt voor schade aan de constructie en aan andere blokken wanneer het verplaatste blok interactie heeft met deze desbetreffende blokken (US Army Corps of Engineers, 2011).

Glijden of afschuiving.

Vind 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).

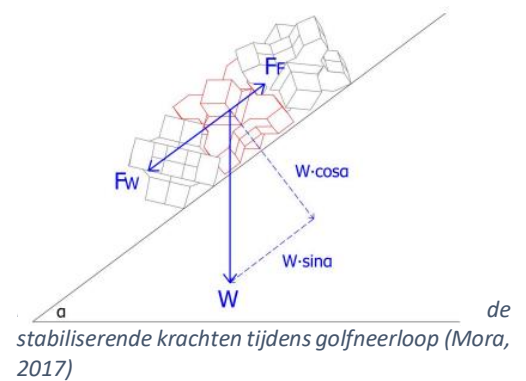
Uplift

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).

Stabiliserende krachten

Zoals in het vorige hoofdstuk aangegeven kunnen externe krachten destabiliserend werken. Om deze tegen te gaan en de werking van de armourlaag en daarmee de golfbreker te behouden dient de armourlaag voldoende stabiliserende krachten te hebben. In figuur 8 staat een vereenvoudigde schematische weergave van de krachten werkend op de armourblokken met F_W als totale golfkracht. De stabiliserende krachten ontstaan uit de volgende drie componenten:

1. Het eigen gewicht van het blok.
2. Frictie tussen de blokken onderling en frictie tussen het blok en de onderlaag.
3. Interlocking onderling tussen de blokken.



Stabiliteit door eigen gewicht en frictie

Hoeveel deze componenten bijdrage aan de stabiliteit van een armourblok is afhankelijk van de vorm van het armourblok, het aantal contactpunten tussen de blokken en de taludhelling. De bijdrage van deze componenten zijn alle drie een functie van de taludhelling. Een steilere helling zorgt voor minder invloed van het eigen gewicht van de blokken. Bij bijvoorbeeld een talud van 1:0 werkt het eigen gewicht alleen verticaal naar beneden en is de stabiliserende kracht in zijdelingse richting nihil (de Raad, 2021).

Om stabiliteit te bereiken moeten de golfkrachten (F_W) kleiner zijn de evenwichtskrachten, dit zou betekenen dat het blok bewegingsloos is. Hierom kan, ondanks dat het een versimpelde weergave is, met de krachten uit figuur 8 de worden verkregen uit de volgende formule:

$$F_W < K_D [F_F + W]$$

Waarbij golfkrachten (F_W), frictie (F_F) en het eigen gewicht (W) als volgt bepaald worden:

$$F_W = \rho_w * g * (D_{n50})^3 * H$$

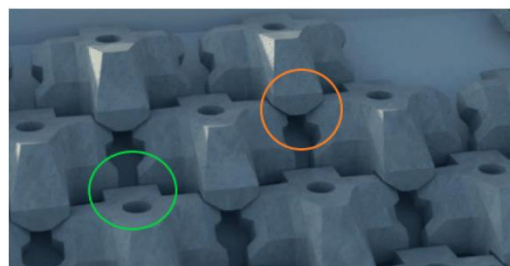
$$W = (\rho_c - \rho_w) * (D_{n50})^3 * g$$

$$F_F = W * \mu$$

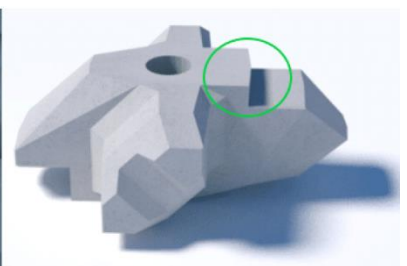
Hierbij is K_D empirische stabiliteit coëfficiënt (Mora, 2017).

Werking van interlocking

De bijdrage aan de stabiliteit van de armourlaag door interlocking is afhankelijk van de hellingshoek van het talud. Bij de XblocPlus is er in het ontwerp rekening gehouden met interlocking. De blokken dienen om deze reden op een specifieke manier geplaatst te worden en zo de invloed van interlocking zoveel mogelijk te vergroten. In figuur 9 is te zien dat de vleugels van blokken ingesloten worden door verlaging in het midden van het blok (groene cirkel). Daarnaast wordt de neus van het blok door de inkepingen op de vleugels ingesloten (oranje cirkel).



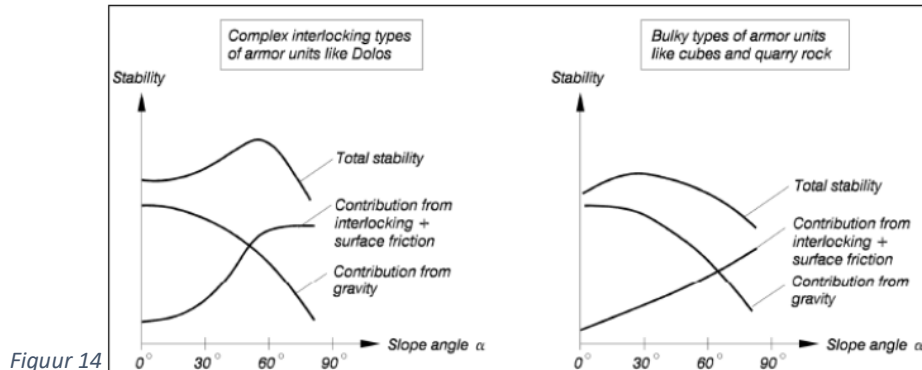
Figuur 13: Interlocking mechanisme (Ruwiel, 2020)



Invloed hellingshoek talud

Zoals eerder aangegeven is een grotere hellingshoek van het talud van belang voor de werking van interlocking en het vergroten van de invloed van frictie maar zorgt het ook voor een mindere werking van het eigen gewicht. Enkel laags armourblokken zijn in de meeste gevallen groter en zwaarder dan de dubbel laags armourblokken, die meer op interlocking vertrouwen. (Price, 1979) Was de eerste die hier onderzoek naar deed. In zijn test keek Price naar de benodigde normaalkracht op een helling voor

het verwijderen van een blok uit de armourlaag. In de resultaten toonde Price aan dat blokpositie geen positieve invloed heeft op het inklemmende vermogen maar dat de taludhelling, pakkingsdichtheid en verdichting dit wel hebben. Verder concludeerde hij dat voor de grotere en zwaardere enkel laags armourblokken de totale stabiliteit bij een talud hellingshoek tussen de 30° en 60° het grootst is. In figuur 10 is zijn de onderzoeksresultaten van Price te zien.



Waar Price dus concludeerde dat de totale stabiliteit van een enkel laags armourblok tussen 30° en 60° het grootst is heeft (Delta Marine Consultants, 2023) onderzocht en bepaald dat de XblocPlus het meest stabiel is op een helling van 37° of een talud van 3:4.

Hydraulische stabiliteit

De in de vorige paragrafen genoemde stabiliteit is gebaseerd op empirische waarden uit schaalmodeltesten. Voor het doen van deze schaalmodeltesten dient het stabiliteitsgetal (N_s) bepaald te worden. Bij het bepalen van stabiliteitsgetal wordt er in de berekeningen geen rekening gehouden met interlocking en frictie, om deze reden worden de onderstaande formules slechts gebruikt voor het schaalmodelontwerp. Dit ontwerp dient door middel van fysische testen getest te worden om het stabiliteitsgetal te bevestigen (CIRIA; CUR; CETMEF, 2007).

Om het stabiliteitsgetal (N_s) te kunnen bepalen moet er worden aangenomen dat de stroming quasi-stationair is en de vorm van het blok gekarakteriseerd kan worden met de nominale diameter (D_n) (Schierck & Verhagen, 2012). De nominale diameter kan met de volgende formule worden bepaald:

$$D_n = \sqrt[3]{V} = \left(\frac{M}{\rho_s}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Door aan te nemen dat op het moment dat instabiliteit optreedt de sleepkracht en liftkracht de overhand hebben op de traagheidskracht kan er bij een versimpeling van de krachten de volgende conventionele stabiliteitsverhouding worden bepaald (Hudson & (U.S.), 1958):

$$\frac{F_D + F_L}{F_G} \approx \frac{\rho_w v^2 D_n^2}{g(\rho_s - \rho_w) D_n^3} = \frac{v^2}{g \Delta D_n}$$

Met:

$$\Delta = \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w}$$

$$v = \sqrt{g * H_s}$$

Doordat de meeste golfbrekers een taludhelling tussen de 2:3 en 3:4 hebben kan de vergelijking van Hudson worden versimpeld tot het stabiliteitsgetal de relatie tussen de golfbreker en golfcondities geeft. De formule kan als volgt worden herleid (Delta Marine Consultants, 2023):

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n}$$

Het ontwerpstabieleitsgetal is voor de XblocPlus in 2018 door Delta Marine Consultants berekend en zij hebben toen bepaald dat deze 2,5 dient te zijn.

Fysische schaalmodeltesten

Om een fysiek model experiment te maken moet het model en de situatie waarin deze getest wordt zoveel mogelijk op de echte situatie lijken. Wanneer dit niet het geval is zijn de resultaten niet representatief en wordt de test als ongeldig gezien (Mora, 2017). Om deze reden zijn er verschillende soorten overeenkomsten vereist.

Geometrische gelijkheid

Dit is wanneer alle geometrische lengtes een constante verhouding hebben met de verwante lengtes in het model. De verhouding moet onafhankelijk zijn van de bewegingen en helpt met het waarnemen van de processen die plaatsvinden in de test (Wolters, Allsop, van Gent, & Muhlestein, 2007).

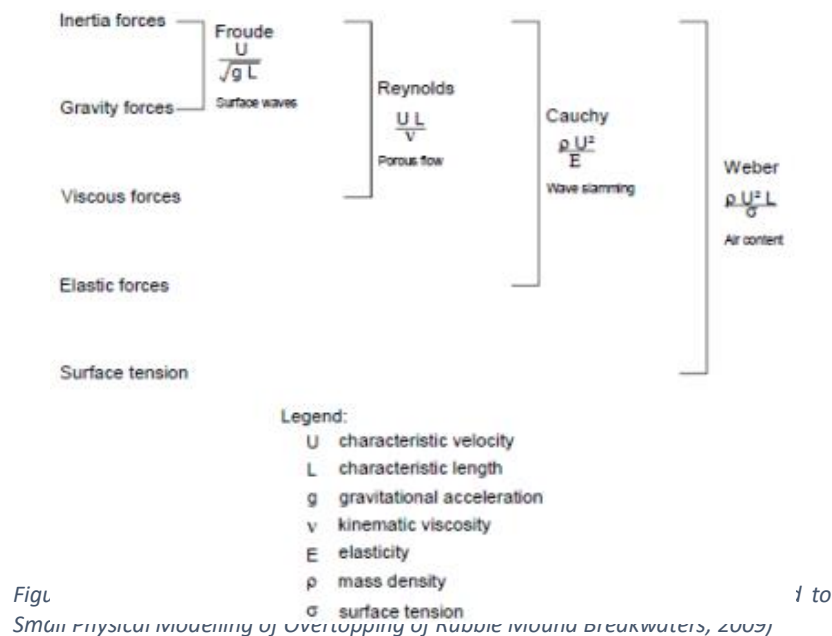
Kinematische

gelijkheid

Dit bestaat als de tijdsafhankelijke processen in de test een constante verhouding hebben met de tijdsafhankelijke processen in de test (Wolters, Allsop, van Gent, & Muhlestein, 2007).

Dynamische gelijkheid

Dit wil zeggen dat er een constante verhouding is tussen de krachten in de test en het schaalmodel (Wolters, Allsop, van Gent, & Muhlestein, 2007). In figuur 11 zijn de belangrijkste constanten en bijbehorende krachten voor dynamische gelijkheid weergegeven.



Het is niet mogelijk volledige dynamische gelijkheid te creëren omdat sommige constanten elkaar tegenwerken. Een voorbeeld is de lengteschaal die als noemer in het getal van Froude staat en als teller in het getal van Reynolds. Dit maakt het perfect schalen van zowel het getal van Froude als het getal van Reynolds onmogelijk (Ruijter, 2020). Volgens (Wolters, Allsop, van Gent, & Muhlestein, 2007) mag er wanneer er, zoals bij dit onderzoek, ingegaan wordt op oppervlakte golven geschaald worden aan de hand van het getal van Froude, zo wordt er een nauwkeurig golfmodel gecreëerd met daarin acceptabele fouten. Het resultaat hiervan is dat er niet juist geschaald wordt voor de viscositeit, elasticiteit en oppervlaktetension. Om deze fouten zo klein mogelijk te maken worden er limieten gesteld aan het getal van Reynolds en het getal van Weber.

De formule voor de gestelde limieten aan het getal van Reynolds:

$$Re_{armour} = \frac{\sqrt{g * H_s} * D_n}{\nu} > 30.000$$

De effecten van oppervlaktetension zijn verwaarloosbaar klein als het getal van Weber groot genoeg is en er aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

$$h > 2cm$$

$$H_s > 5cm$$

$$L \gg 2cm$$

$$T > 0.35s$$

Stabiliteitsschaling

Het schalen op stabiliteit is een belangrijke link tussen dynamische en geometrische gelijkheid. Om deze reden is het juist schalen van belang. Er moet worden gezorgd dat voor zowel het ontwerp als het schaalmodel het stabiliteitsgetal (N_s) hetzelfde is. In de parameter (N_s) zitten de verschillende dichtheden opgenomen (Wolters, Allsop, van Gent, & Muhlestein, 2007).

(Wolters, Allsop, van Gent, & Muhlestein, 2007) Stelt dat als het stabiliteitsgetal juist wordt toegepast de verhoudingen voor zoals de armour diameter (D) en de verhouding voor het gewicht (W) als volgt zijn:

$$n_D = \frac{n_L}{n_\Delta} = n_L * \frac{\Delta_{model}}{\Delta_{prototype}} \text{ (voor de armour diameter D)}$$

$$n_W = n_p * n_D^3 = n_p * \left(\frac{n_L}{n_\Delta}\right)^3 \text{ (voor het gewicht W)}$$

Hier dient wel opgemerkt te worden dat de absolute geometrische gelijkheid van de afmetingen van het armourblok niet per definitie worden gehandhaafd. Dit resulteert in kleine verschillen in de geometrie van de armourlaag ten opzichte van de werkelijkheid. Kleine verschillen hebben geen significante invloed op het resultaat (effecten op stabiliteit en overslag zijn over het algemeen minder dan 5-10%) zolang de armour geometrie juist wordt gereproduceerd. Dit kan betekenen dat het schaalmodel een dikkere of dunnere onderlaag zal hebben (Wolters, Allsop, van Gent, & Muhlestein, 2007).

Permeabiliteitschaling

De afmeting van de golfbreker moeten geometrisch worden geschaald. Dit kan zorgen voor problemen in de onderlaag en in de kern van de golfbreker. Het verscalen kan zorgen voor een te kleine sortering op deze plekken, hierdoor wordt de doorlaatbaarheid van de onderlaag en kern dusdanig klein dat de stroming laminair wordt. De in- en uitstroom in de onderlaag en/of kern neemt af waardoor de aanloophoogte en de aanloopsnelheid toe nemen. Met een oplopende aanloophoogte en aanloopsnelheid neemt de stabiliteit van de armourblokken af (Vanneste & Troch, 2015). Om deze fout te minimaliseren kunnen de filtersnelheden in het prototype en model worden geschaald door de Froudiaanse gelijkenis. Schalen volgens de Froudiaanse gelijkenis resulteert in gelijke hydraulische gradiënten in het model en in het prototype. Wanneer het getal van Reynolds in de kern groter is dan 300 wordt de stroming als turbulent beschouwd (Burcharth & Andersen, On the one-dimensional steady and unsteady porous flow equations, 1995).

Bibliografie

- Baptist, M., van der Meer, J., & de Vries, M. (2006). *De Rijke Dijk*. Rijkswaterstaat WaterINNovatiebron, Port Delta Research Centre.
- 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
- Bhandari, P. (2021, November 9). *Hoe voorkom je Type I- en Type II-fouten?* Opgeroepen op Maart 9, 2023, van Scribbr: <https://www.scribbr.nl/statistiek/type-i-en-type-ii-fouten/>
- Bishop, M., Vozzo, M., Mayer-Pinto, m., & Dafforn, K. (2022). *Complexity-biodiversity 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>
- Burcharth, H. (1992). *Reliability Evaluation of a Structure at Sea*. Aalborg, Denenmarken: Aalborg University, Department of Civil Engineering. Opgehaald van <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:22243a72-a728-4649-97c1-bd1013d7f876/datastream/OBJ/download+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=nl>
- Burcharth, H., & Andersen, O. (1995). *On the one-dimensional steady and unsteady porous flow equations*. Elsevier. doi:[https://doi.org/10.1016/0378-3839\(94\)00025-S](https://doi.org/10.1016/0378-3839(94)00025-S)
- Burcharth, H., & Andersen, T. (2009). *Scale Effects Related to Small Physical Modelling of Overtopping of Rubble Mound Breakwaters*. Venetië, Italië: Aalborg University, Department of Civil Engineering. doi:https://doi.org/10.1142/9789814282024_0135
- 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>
- 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>
- de Raad, O. P. (2021). *Onderzoek naar de toepassing van de XblocPlus op een golfbrekerkop*. Haagse Hogeschool.
- de Vries, M. (2009). *Harde werken met zachte trekken*. Rijkswaterstaat.
- 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>
- Det Norske Veritas AS. (2011). *Modelling and Analysis of Marine Operations*. Det Norske Veritas AS. Opgehaald van

https://home.hvl.no/ansatte/tct/FTP/H2021%20Marinteknisk%20Analyse/Regelverk%20og%20standarder/DnV_documents/RP-H103.pdf

EurOtop. (2018). *Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application.* EurOtop. Opgehaald van www.overtopping-manual.com.

Grehan, J., Janssen, S., & Schokker, A. (2022). *A Hard Rock Life*. BAM.

Hald, T. (1998). *Wave Induced Loading and Stability of Rubble Mound Breakwaters*. Aalborg University: Hydraulics & Coastal Engineering Laboratory, Department of Civil Engineering. Opgehaald van https://vbn.aau.dk/files/316397182/Wave_Induced_Loading_and_Stability_of_Rubble_Mound_Breakwaters.pdf

Holling, C. (1996, --). Engineering Resilience versus Ecological Resilience. (P. Schulze, Red.) *Engineering Within Ecological Constraints*, pp. 31-43. Opgehaald van <https://nap.nationalacademies.org/catalog/4919/engineering-within-ecological-constraints>

Hudson, R., & (U.S.), W. E. (1958). *Design of Quarry-stone Cover Layers for Rubble-mound Breakwaters*. Vicksburg, Mississippi: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Corps of Engineers. Opgehaald van <http://hdl.handle.net/11681/3282>

Janssen, S. (2022). *A Hard Rock Life*. BAM.

Jensen, O. (1984). *A Monograph on Rubble Mound Breakwaters*. Hørsholm: Danish Hydraulic Institute.

Loke, L., Chisholm, R., & Todd, P. (2019). *Effects of habitat area and spatial configuration on biodiversity in an experimental intertidal community*. Singapore: Ecological society of america. doi:e02757. 10.1002/ecy.2757

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+ Armour Unit*. Delft: TU Delft. Opgehaald van <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:fbe797ef-5944-4bc1-9d25-e7448dce3d1b/datastream/OBJ/download>

Morelissen, R., & Verbruggen, W. (2016, 5). *Researchgate*. Opgehaald van Innovative opportunities in the designs of intake and outfall systems: https://www.researchgate.net/publication/315051139_Innovative_opportunities_in_the_designs_of_intake_and_outfall_systems

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

- Paalvast, P. (2015, 1). *Artificial Reefs*. Opgehaald van Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/272823458_The_role_of_geometric_structure_and_texture_on_concrete_for_algal_and_macrofaunal_colonization_in_the_marine_and_estuarine_intertidal_zone_Proceedings_of_RECIF_Conference_on_artificial_reefs_from_mate
- Paalvast, P. (2017, 1). *Researchgate*. Opgehaald van Natuurkansenkaarten hardsubstraat Rotterdams havengebied. In opdracht van het Havenbedrijf Rotterdam NV. ecoconsult rapport nr. 201701: https://www.researchgate.net/publication/324808354_Natuurkansenkaarten_hardsubstraat_Rotterdams_havengebied_In_opdracht_van_het_Havenbedrijf_Rotterdam_NV_ecoconsult_rapport_nr_201701
- Price, W. (1979). *Static stability of rubble mound breakwaters*. Delft: TU Delft.
- Projectbureau Zeeweringen. (2009). *Deltaexpertise*. Opgehaald van PBZ onderzoek en innovatie Rijke Dijken: https://www.deltaexpertise.nl/wiki/index.php/PBZ_onderzoek_en_innovatie_Rijke_Dijken
- 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>
- Schiereck, G., & Verhagen, H. (2012). *Introduction to bed, bank and shore protection*. Delft: TU Delft, Department Hydraulic Engineering. Opgehaald van <http://resolver.tudelft.nl/uuid:8341e6f2-5582-4920-8b7d-9e037f090a96>
- Schokker, A. (2022). *A Hard Rock Life*. BAM.
- Taira, D., Heery, E., Loke, L., Teo, A., Bauman, A., & Todd, P. (2020, December 10). Ecological engineering across organismal scales: trophic-mediated positive effects of microhabitat enhancement on fishes. *Marine Ecology Progress Series*, pp. 181-192. Opgehaald van https://www.int-res.com/articles/meps_oa/m656p181.pdf
- 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>
- Vanneste, D. F., & Troch, P. (2015). *A Revision of the Scaling Method for Core Material in Rubble-mound Breakwaters*. Gent: Ghent University, Department of Civil Engineering. Opgehaald van https://www.researchgate.net/publication/279175446_A_Revision_of_the_Scaling_Method_for_Core_Material_in_Rubble-mound_Breakwaters
- 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=B5A141B9EBD6D5DE>

0E5FF15AAD254CC2B57203C67AF7E24E519CC75FB8E8D9FBD0892A9436BF58FFC2966188D
E33D26B&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230313090032

- Wolters, G., Allsop, W., van Gent, M. R., & Muhlestein, D. (2007, 8). *Researchgate*. Opgehaald van Guidelines for physical model testing of breakwaters: Rubble mound breakwaters: https://www.researchgate.net/publication/301298828_Guidelines_for_physical_model_testing_of_breakwaters_Rubble_mound_breakwaters
- 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