

Invloed van afwijkingen op stabiliteit van steenzettingen

Trekproeven voor Basalton en Hydroblocks



enabling delta life

Invloed van afwijkingen op stabiliteit van steenzettingen

Trekproeven voor Basalton en Hydroblocks

Auteur(s)

Nova Huppes

Tijl Wijnants

Modeltechnicus

Danny van Doeveren

Met dank aan het Waterschap Scheldestromen voor het beschikbaar stellen van hun dijk.

Foto voorblad gemaakt door Guus Schoonewille.

Invloed van afwijkingen op stabiliteit van steenzettingen
Trekproeven voor Basalton en Hydroblocks

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Myron van Damme
Referenties	SITO-PS Versterking Onderzoek Waterveiligheid
Trefwoorden	Steenzettingen, klemming, trekproeven, afwijkingen

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	20-12-2024
Projectnummer	11210365-005
Document ID	11210365-005-ZWS-0002
Pagina's	71
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)		
	Nova Huppes	
	Tijl Wijnants	

Samenvatting

Nederlandse steenzettingen op primaire waterkeringen dienen aan strenge eisen te voldoen. Voordat een nieuw type steenzetting op primaire waterkeringen gebruikt mag worden, dient de stabiliteit volgens de NEN7024 op grote schaal vastgesteld te worden met experimenteel onderzoek. Hiervoor is een strikt protocol opgesteld om te zorgen dat alle steenzettingen op gelijke wijze worden beproefd. Doorgaans wordt onder toezicht van de producent de steenzetting erg netjes aangebracht in de Deltagoot. Echter, in de praktijk worden steenzettingen doorgaans slordiger aangebracht en kan in de loop der tijd de steenzetting verzwakt raken door allerlei processen, zoals het uitspoelen van inwasmateriaal, verzakkingen en vegetatie.

Door de mogelijke mismatch tussen hoe de bekledingen in de Deltagoot worden getest en hoe deze er in het veld bij liggen is het denkbaar dat we de stabiliteit overschatten. Er is zeer beperkt inzicht beschikbaar in hoe afwijkingen in de manier van aanleg of tijdsafhankelijke veranderingen van invloed zijn op de stabiliteit van steenzettingen. Daarom is in opdracht van Rijkswaterstaat onderzoek uitgevoerd. Binnen dit onderzoek is in 2023 naar de inventarisatie en kwantificatie gekeken van afwijkingen die voor kunnen komen bij steenzettingen in de praktijk. In 2024 (het voorliggende onderzoek) zijn trekproeven uitgevoerd op een bestaande dijk.

Het einddoel van het onderzoek is om beheerders handelingsperspectief te bieden voor hoe ze (semi-) probabilistisch de vermindering van de stabiliteit van steenzettingen mee kunnen nemen, zowel in hun risico gestuurd B&O aanpak, als tijdens de beoordeling van hun keringen. Om uiteindelijk tot een probabilistische benadering voor het ontwerp en de beoordeling van steenzettingen te komen, dienen de volgende stappen te worden doorlopen:

- Stap 1. Inventariseren van zaken/afwijkingen die van invloed kunnen zijn op de stabiliteit van een steenzetting.
- Stap 2. Bepalen van een methodiek om de invloed van deze afwijkingen te kwantificeren.
- Stap 3. Het toepassen van de methodiek voor verscheidene afwijkingen en op verschillende situaties.
- Stap 4. Het begrijpen en kwantificeren van de fysische processen.
- Stap 5. Resultaten van de eerdere stappen vertalen naar een probabilistische benadering.

Voorliggende studie is onderdeel van stap 3. Op een dijk van het Waterschap Scheldestromen zijn uitspoelings- en trekproeven uitgevoerd op twee verschillende steenzettingen (Basalton en Hydroblocks) die in het beheer zijn van het waterschap Scheldestromen. De testen zijn uitgevoerd op twee delen binnen dezelfde steenzetting: één deel waar de steenzetting er goed bij ligt, en één deel waarbinnen afwijkingen aanwezig zijn. Om het effect van toeval te beperken zijn er per deel acht trekproeven uitgevoerd.

Uit de trekproeven blijkt dat de stijfheid van Basalton veel hoger is dan die van Hydroblocks. Dat komt overeen met de resultaten uit Deltagootproeven, waar Basalton een hogere stabiliteitsfactor heeft gekregen dan Hydroblocks. De verhouding tussen de initiële stijfheid van Basalton met en zonder afwijkingen is ruim een factor 2,1, terwijl dit bij Hydroblocks slechts een factor 1,3 is. De verwachting is dat dit door de mate van klemming komt. De klemming is bij Basalton beter dan bij Hydroblocks, waardoor er een groter verschil is tussen de goede zettingen en de matige zettingen. Hieruit volgt dat de Basalton weliswaar een hogere stijfheid heeft dan Hydroblocks, maar anderzijds wel kwetsbaarder is voor afwijkingen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
2	Doel	8
2.1	Eerdere studies	8
2.2	Stabiliteit van steenzettingen	8
3	Methode	10
3.1	Proeflocaties	10
3.1.1	Basalton	10
3.1.2	Hydroblocks	13
3.2	Materieel	14
3.2.1	Uitspoelingsproeven	14
3.2.2	Trekproeven	15
3.3	Werkwijze	17
3.3.1	Procedure uitspoelingsproeven	17
3.3.2	Trekproefprocedure	17
3.4	Modeleffecten	19
4	Proevenprogramma en resultaten	21
4.1	Proevenprogramma	21
4.2	Resultaten uitspoelingsproeven	21
4.3	Resultaten trekproeven Basalton	23
4.4	Resultaten trekproeven Hydroblocks	26
5	Analyse van de metingen	30
5.1	Ervaring met meetopstelling en meetmethode	30
5.2	Stijfheid van de steenzettingen	30
6	Conclusies en aanbevelingen	35
6.1	Conclusies	35
6.2	Aanbevelingen	36
	Literatuur	37
A	Proeflocaties	38
B	Metingen uitspoeling	52
C	Metingen trekproeven	55
C.1	Basalton goed	55

C.2	Basalton matig	57
C.3	Hydroblocks goed	59
C.4	Hydroblocks matig	62
D	Foto's modelopstelling	65

1 Inleiding

Nederlandse steenzettingen op primaire waterkeringen dienen aan strenge eisen te voldoen. Voordat een nieuw type steenzetting op primaire waterkeringen gebruikt mag worden, dient de stabiliteit volgens de NEN7024 op grote schaal vastgesteld te worden met experimenteel onderzoek. Hiervoor is een strikt protocol opgesteld om te zorgen dat alle steenzettingen op gelijke wijze worden beproefd. Doorgaans wordt onder toezicht van de producent de steenzetting erg netjes aangebracht in de Deltagoot. Echter, in de praktijk worden steenzettingen doorgaans slordiger aangebracht en kan in de loop der tijd de steenzetting verzwakt raken door allerlei processen, zoals het uitspoelen van inwasmateriaal, verzakkingen en vegetatie.

Door de mogelijke mismatch tussen hoe de bekledingen in de Deltagoot worden getest en hoe deze er in het veld bij liggen is het denkbaar dat we de stabiliteit overschatten. Er is zeer beperkt inzicht beschikbaar in hoe afwijkingen in de manier van aanleg of tijdsafhankelijke veranderingen van invloed zijn op de stabiliteit van steenzettingen. Er is daarom de wens ontstaan om op basis van eenvoudige beproevingsmethoden (bijvoorbeeld trekproeven) te kwantificeren wat het verschil is tussen een erg netjes aangelegde steenzetting in de Deltagoot en de werkelijke stabiliteit op een dijk. Dergelijke metingen zouden dan ook gebruikt kunnen worden als opleveringseis voor nieuw aangelegde steenzettingen waar discussie over de kwaliteit is ontstaan. Daarom is in opdracht van Rijkswaterstaat onderzoek uitgevoerd. Binnen dit onderzoek is in 2023 naar de inventarisatie en kwantificatie gekeken van afwijkingen die voor kunnen komen bij steenzettingen in de praktijk. In 2024 (het voorliggende onderzoek) zijn trekproeven uitgevoerd op een bestaande dijk.

Het einddoel van het onderzoek is om beheerders handelingsperspectief te bieden voor hoe ze (semi-) probabilistisch de vermindering van de stabiliteit van steenzettingen mee kunnen nemen, zowel in hun risico gestuurd B&O aanpak, als tijdens de beoordeling van hun keringen. Om uiteindelijk tot een probabilistische benadering voor het ontwerp en de beoordeling van steenzettingen te komen, dienen in de komende jaren de volgende stappen te worden doorlopen:

- Stap 1. Inventariseren van zaken/afwijkingen die van invloed kunnen zijn op de stabiliteit van een steenzetting.
- Stap 2. Bepalen van een methodiek om de invloed van deze afwijkingen te kwantificeren.
- Stap 3. Het toepassen van de methodiek voor verscheidene afwijkingen en op verschillende situaties.
- Stap 4. Het begrijpen en kwantificeren van de fysische processen.
- Stap 5. Resultaten van de eerdere stappen vertalen naar een probabilistische benadering.

De verwachting is dat na elke stap nuttige informatie beschikbaar komt die gebruikt kan worden bij de beoordeling en beheer en onderhoud van steenzettingen.

Dit rapport bevat de tussentijdse resultaten van stap 3 van het totale onderzoek, waarvoor het vervolg gepland staat voor 2025. In voorliggend onderzoek zijn trekproeven uitgevoerd op twee verschillende steenzettingen van het Waterschap Scheldestromen, waarbij voor elke steenzetting goede en matige plekken beproefd zijn. Hoofdstuk 2 bevat het doel van voorliggende studie, binnen het grotere geheel van het meerjarige onderzoek. In Hoofdstuk 3 worden de proeflocaties en gebruikte opstelling toegelicht. Vervolgens wordt in Hoofdstuk 4 toegelicht welke proeven zijn uitgevoerd en wat de resultaten waren. Hoofdstuk 5 bevat de analyse van de proeven, en Hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen.

2 Doel

Het doel van het onderzoek is het verschil in stabiliteit bepalen van een goed gezette steenzetting en een matige steenzetting, met afwijkingen. De verwachting is dat dit kan door middel van uitspoelings- en trekproeven waarmee een last-verplaatsingsdiagram bepaald kan worden. Hieruit volgt de stijfheid van een steenzetting, die vervolgens naar een stabiliteit vertaald kan worden.

2.1 Eerdere studies

Tijdens het vooronderzoek uit 2023 (Deltares, 2023) zijn mogelijke afwijkingen geïnventariseerd en geprioriteerd. Hieruit zijn onderstaande afwijkingen geprioriteerd die vaak voorkomen, met een grote verwachte invloed op de stabiliteit, of waarvan het verschil tussen de theorie en de praktijk naar verwachting groot is:

- Kammende zetstenen (zaagtandpatroon langs het talud)
- Vegetatie (niet houtvormend), waarbij riet, bramen en zeekool veel worden genoemd
- Te weinig inwasmateriaal aanwezig
- Wijkende zetstenen

In voorliggende studie zijn afwijkingen beproefd die in 2023 hoog zijn geprioriteerd, namelijk kammende zetstenen en wijkende zetstenen, waar grote spleten tussen de stenen aanwezig zijn.

Om de verminderde stabiliteit van kammende en wijkende zetstenen te bepalen is in Deltares (2023a) een combinatie van uitspoelingsproeven en trekproeven voorgesteld:

- Eerst de brandslang toepassen om te kijken hoeveel steenslag uit de steenzetting is te spuiten.
- Daarna trekproeven uitvoeren om de stijfheid van de steenzetting te bepalen.
- Deze proeven uitvoeren op een locatie met afwijkingen en zo dicht mogelijk daarbij op dezelfde steenzetting op een locatie waar de afwijkingen niet aanwezig zijn als referentie.

Na het uitvoeren van de proeven verwachten we inzicht te hebben in de reproduceerbaarheid van de proeven, en of deze inzicht kunnen geven in verminderde stabiliteit bij schadebeelden aan steenzettingen in de praktijk.

2.2 Stabiliteit van steenzettingen

Voor het doel van het onderzoek is het nodig om de stabiliteit van de steenzetting te bepalen bij diverse afwijkingen. Het is echter onhaalbaar om de stabiliteit van verschillende steenzettingen diverse malen met behulp van grootschalig modelonderzoek (Deltagoot) te bepalen. Daarom is gezocht naar een andere methode om een verandering in de stabiliteit van de steenzetting vast te stellen.

De stijfheid van de steenzetting heeft waarschijnlijk een sterke relatie met de stabiliteit in golfaanval. Tijdens extreme golfaanval, als de steenzetting maximaal wordt belast, zien we namelijk dat de steenzetting plaatselijk een beetje in beweging komt. Naarmate de golfbelasting langer aanhoudt of sterker wordt, ontstaat er een steeds grotere bolling in de steenzetting, met een kuil iets hoger op het talud. Deze vervorming wordt een kattenrug genoemd, en groeit steeds verder totdat de steenzetting bezwijkt. Hoe stijver een steenzetting

is, des te kleiner zullen de bewegingen tijdens extreme golfaanval zijn, en des te beter kan de steenzetting zo'n belasting weerstaan.

Het bovenstaande kan gebruikt worden in het huidige onderzoek. Bij de afwijkingen die beproefd worden (kammende en wijkende zetstenen) ontstaan spleten tussen de zetstenen. waardoor het inwasmateriaal minder effectief wordt. Gezien de ervaring met de meer en minder ingewassen steenzettingen, is de verwachting dat dit een effect zal hebben op de stijfheid van de steenzetting. Naarmate het inwasmateriaal minder effectief wordt door het wijken van het teenschot, zal de stijfheid minder worden.

Met dit in gedachte is er gekozen voor het bepalen van de stijfheid van de steenzetting als maat voor de stabiliteit van de steenzetting. De proeven zijn erop gericht om vast te stellen in hoeverre de stijfheid vermindert bij afwijkingen. Hierdoor was het niet nodig om de steenzetting in de Deltagoot te bouwen en te belasten met echte golven, maar kon in het veld op een bestaande steenzetting worden getest. Bijkomend voordeel is dat het onderzoek geen last had van schaal- of modeffecten van de steenzetting zelf. Dit was namelijk een bestaande steenzetting van het Waterschap Scheldestromen die functie doet als primaire waterkering.

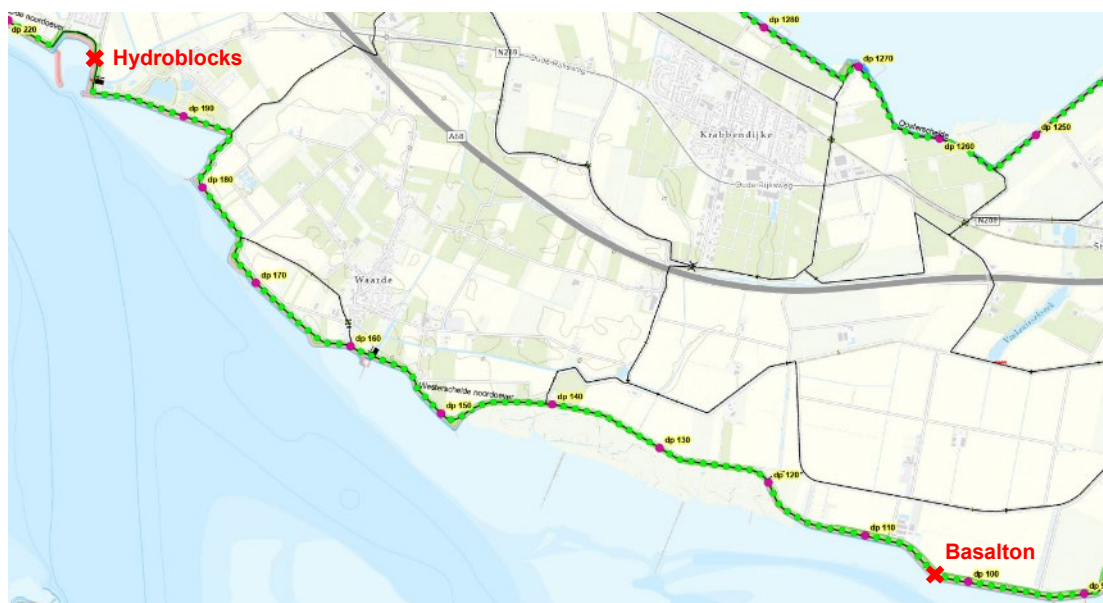
Door het uitvoeren van de proeven op een bestaande steenzetting, in plaats van deze bijvoorbeeld op schaal na te bouwen, is dat er hard aan de stenen getrokken moest worden. Recente trekproeven van Deltares (2024) ten behoeve van het opstellen van een last-verplaatsingsdiagram bij een nagebouwde steenzetting schaal 1:2, lieten zien dat een trekkracht van wel 900 kgf nodig was. Hierbij werd aan 5 stenen tegelijk getrokken om de krachten te verdelen. Er is daarom, rekening houdend met schaaleffecten en zuilhoogtes e.d., een modelopstelling uitgewerkt waarmee met 10.000 kgf aan drie zetstenen tegelijk getrokken kon worden.

Bovenstaande aanname dat de stijfheid een grote invloed heeft op de stabiliteit van de steenzetting bij zware golfaanval is een belangrijke aanname voor dit onderzoek. Dit is bovenstaand aannemelijk gemaakt, maar overwogen kan worden om dit te verifiëren met Deltagootproeven.

3 Methode

3.1 Proeflocaties

Binnen het onderzoek zijn twee verschillende steenzettingen beproefd die in het beheer zijn van het waterschap Scheldestromen, namelijk een stuk dijk waar Basalton aanwezig was, en een stuk dijk met Hydroblocks. De proeven zijn uitgevoerd op twee steenzettingen langs traject 31-1, zie Figuur 3-1. Op beide locaties zijn steenzettingen aanwezig die goed gezet zijn en secties die afwijkend zijn.



Figuur 3-1, Proeflocaties langs traject 31-1, één met Hydroblocks en één met Basalton.

3.1.1 Basalton

De locatie onderin Figuur 3-1 bevat op het ondertalud een steenzetting bestaande uit Basalton met een zuilhoogte van 45 cm. Bijzonder aan deze locatie is dat de zuilen lokaal in een afwijkend patroon zijn gezet. Hierdoor zijn lokaal gaten van zo'n 8 cm aanwezig tussen de afzonderlijke zuilen, zie Figuur 3-2. De rest van de steenzetting is goed gezet en vertoont geen grote afwijkingen.



Figuur 3-2, Basalton met deels een afwijkend patroon, waardoor lokaal grote gaten aanwezig zijn.

Binnen een vak van circa 150 meter zijn 8 plekken gekozen waar de stenen goed gezet zijn, en 8 plekken waar grote gaten tussen sommige stenen aanwezig zijn. De proeflocaties werden hierbij zo dicht mogelijk bij elkaar gekozen, zodat de eigenschappen van de steenzetting zo uniform mogelijk waren, maar met ten minste 3, en waar mogelijk 5 zetstenen tussenruimte om onderlinge beïnvloeding te voorkomen. Zie overzichtsfoto van de resulterende proeflocaties in Figuur 3-3.

Figuur 3-4 geeft voorbeelden van een goede (links) en matige (rechts) proeflocatie voor Basalton. In de linker afbeelding is te zien dat de zetstenen allemaal contact met elkaar maken, en in de rechter afbeelding zijn er grote gaten zichtbaar tussen de stenen, waardoor de verwachting is dat deze minder goed klemmt, en er daardoor minder kracht nodig is om de stenen omhoog te trekken.

Een totaaloverzicht van de beproefde locaties is opgenomen in Bijlage A. Hierin zijn onder andere de aanlegtekeningen (verstrekkt door Waterschap Scheldestromen), foto's van de locaties en maten van de gevonden afwijkingen opgenomen. De gaten tussen de stenen waren voor de Basaltonlocaties met afwijkingen groter dan 5 cm. Op basis van de Digigids (2019) vallen deze locaties daarom in de categorie 'slecht'. Echter worden omwille van de eenduidigheid door het gehele rapport de locaties met afwijkingen als 'matig' aangeduid, zowel voor de Basalton als voor Hydroblocks.

In Bijlage A zijn ook de afstanden van de locaties tot de overgang naar de berm opgenomen. Op basis hiervan is te zien dat de matige locaties gemiddeld lager liggen dan de goede locaties. Het was niet mogelijk om alle locaties op min of meer dezelfde hoogte te kiezen, omdat deze dan in langsrichting te ver uit elkaar gekozen zouden moeten worden. Alle locaties zijn tenminste enkele meters onder de overgang naar de berm gekozen, zodat er voldoende rijen zetstenen op de zetstenen van de proeflocatie drukken, en de stabiliteit niet beïnvloed wordt door afwezigheid van druk van boven.



Figuur 3-3, Proeflocaties werden zo dicht mogelijk bij elkaar gekozen, maar met ten minste 3, en waar mogelijk 5 zetstenen tussenruimte om onderlinge beïnvloeding te voorkomen.



Figuur 3-4, Voorbeelden van een goede (links) en matige (rechts) proeflocatie voor Basalton.

3.1.2 Hydroblocks

De locatie onderin Figuur 3-1 bevat op het ondertalud een steenzetting bestaande uit Hydroblocks met een zuilhoogte van 50 cm. De zuilen staan ongeveer 7 cm gekamd, waardoor in het bovenste deel spleten van zo'n 6 cm zijn ontstaan, Zie Figuur 3-5.



Figuur 3-5, Kammende Hydroblocks, waardoor lokaal brede spleten ontstaan.

Binnen een vak van circa 100 meter zijn 8 plekken gekozen waar de stenen goed gezet zijn, en 8 plekken waar grote spleten tussen de rijen Hydroblocks aanwezig zijn. Net als bij Basalton werden de proeflocaties hierbij zo dicht mogelijk bij elkaar gekozen, zodat de eigenschappen van de steenzetting zo uniform mogelijk waren. Bij de Hydroblocks was het mogelijk om overal ten minste 5 zetstenen tussenruimte aan te houden om onderlinge beïnvloeding te voorkomen.

Figuur 3-6 geeft voorbeelden van een goede (boven) en matige (onder) proeflocatie voor Hydroblocks. In de bovenste afbeelding is te zien dat de zetstenen allemaal contact met elkaar maken, en in de onderste afbeelding zijn er grote gaten zichtbaar tussen de stenen, waardoor de verwachting is dat deze minder goed klemmt, en er daardoor minder kracht nodig is om de stenen omhoog te trekken. Een totaaloverzicht van de beproefde locaties is opgenomen in Bijlage A.

Een totaaloverzicht van de beproefde locaties is opgenomen in Bijlage A. Hierin zijn onder andere de aanlegtekeningen (verstrekkt door Waterschap Scheldestromen), foto's van de locaties en maten van de gevonden afwijkingen opgenomen. Op basis van de Digigids (2019)

zouden gaten tussen de stenen als 'redelijk', 'matig' en 'slecht' beoordeeld worden, afhankelijk van de proeflocatie. De kamming valt voor alle locaties in de categorie 'matig'. Er is binnen de Digigids geen mogelijkheid om een gecombineerd oordeel te vellen bij combinaties van afwijkingen. Omwille van de eenduidigheid worden door het gehele rapport de locaties met afwijkingen als 'matig' aangeduid, zowel voor de Basalton als voor Hydroblocks.

In Bijlage A zijn ook de afstanden van de locaties tot de overgang naar de berm opgenomen. Op basis hiervan is te zien dat de matige locaties gemiddeld lager liggen dan de goede locaties. Het was niet mogelijk om alle locaties op min of meer dezelfde hoogte te kiezen, omdat deze dan in langsricting te ver uit elkaar gekozen zouden moeten worden. Alle locaties zijn tenminste enkele meters onder de overgang naar de berm gekozen, zodat er voldoende rijen zetstenen op de zetstenen van de proeflocatie drukken, en de stabiliteit niet beïnvloed wordt door afwezigheid van druk van boven.



Figuur 3-6, Voorbeelden van een goede (boven) en matige (onder) proeflocatie voor Hydroblocks.

3.2 Materieel

Zoals te lezen in paragraaf 3.1 zijn twee verschillende steenzettingen beproefd, met voor elke steenzetting 8 proeflocaties die er goed bij liggen, en 8 proeflocaties met afwijkingen. In totaal zijn er dus 32 proeven uitgevoerd. Dit hield in dat het materieel makkelijk van locatie naar locatie verplaatst moest kunnen worden.

3.2.1 Uitspoelingsproeven

De uitspoelingsproef bestaat uit het inwasmateriaal proberen uit de steenzetting te spuiten. Met dit onderdeel van de proeven is het uitspoelen van inwasmateriaal tijdens een storm nagebootst. In Deltares, 2023 is op het Deltagootterrein getest of het uitspoelen het meest

effectief is met een hoge drukspuit of brandslang. Op basis van de resultaten is een brandslang toegepast tijdens de proeven.

Het inwasmateriaal is tussen de zetstenen uitgespoeld met behulp van een brandslang aangesloten op een waterwagen die op druk gezet kon worden. Figuur 3-7 laat zien hoe dit in zijn werk ging.



Figuur 3-7, Uitspoelen van inwasmateriaal met een brandslang.

3.2.2

Trekproeven

Voordat proeven uitgevoerd konden worden, zijn de gekozen locaties voorbereid. De stenen waar aan getrokken werd zijn als voorbereiding voorzien van een chemisch anker. Dit werd gedaan door met een holle boor, aangedreven door een aggregaat gaten te boren in de stenen waar aan getrokken zou worden, zie Figuur 3-8. In deze gaten werden vervolgens ankerstangen aangebracht. Dit alles is een aantal dagen voor de trekproeven uitgevoerd, zodat de ankers goed uitgehard en voldoende sterk zouden zijn tijdens de trekproeven.



Figuur 3-8, Boren van de gaten waarin chemisch anker en vervolgens ankerstangen werden aangebracht.

De trekproeven zijn uitgevoerd met een driepoot, waaraan opvolgend een takel, unster, evenaar (om de krachten te verdelen) en tenslotte met hijsogen aan de zetstenen zijn bevestigd, zie Figuur 3-9. De trekkracht is in stapjes opgevoerd. Na elke stap is met behulp van een kruislijnlaser en baak de verplaatsing van de steen ten opzichte van de omliggende stenen gemeten. De baak heeft een waterpas om er zeker van te zijn dat de afstand altijd op dezelfde manier gemeten wordt. Verder is een kraan gehuurd om de opstelling te verplaatsen.



Figuur 3-9, Driepoot met takel, unster, evenaar en hijsogen aan de zetstenen.

3.3 Werkwijze

De werkwijze was als volgt:

1. Eerst zijn chemische ankers aangebracht in de zetstenen waaraan getrokken werd tijdens de trekproeven.
2. Vervolgens is het eerste onderdeel van de test uitgevoerd: uitspoelen van het inwasmateriaal rond de stenen waar de chemische ankers in zijn aangebracht, en rond de stenen er omheen.
3. Vervolgens is het tweede onderdeel van de test uitgevoerd: de trekproef. Het frame is boven de te trekken zetstenen geplaatst, waarna aan drie stenen tegelijk is getrokken, totdat deze maximaal 3 cm zijn opgelicht. Na afloop is de aangebrachte schade in overleg met de beheerder hersteld.
4. Na de proef zijn de aangebrachte chemische ankers afgeslepen zodat deze gelijk waren met de bovenzijde van de zetsteen (niet meer uitsteken).

3.3.1 Procedure uitspoelingsproeven

Tijdens de testen op het Deltagootterrein (Deltares, 2023) is de meest effectieve methode bepaald voor het uitspoelen van inwasmateriaal. Hieruit bleek dat een brandslag de meest effectieve methode was. Ook is gekeken naar de afstand en de hoek van de straal op de steenzetting. Dit bleek een hoek van 45 graden en een belastingduur van 60 seconden te zijn. Na ongeveer 45 seconden spoelt er doorgaans geen extra inwasmateriaal meer uit de steenzetting en daarom is 60 seconden aangehouden om er zeker van te zijn dat alle steentjes die uitgespoeld kunnen worden uit de spleet zijn. De beste afstand tussen de spuitmond en de stenen was 80 centimeter voor de brandslag. Deze methode is overgenomen tijdens de veldproeven.

3.3.2 Trekproefprocedure

Voor het uitvoeren van de trekproeven zijn er hijsogen vastgemaakt aan een aantal zetstenen. Die zijn met een bepaalde kracht, haaks op het talud, belast. Door de onderlinge wrijving van de zetstenen komen dan niet alleen de stenen waaraan getrokken wordt omhoog, maar ook de rondom gelegen zetstenen. Zo ontstaan er een bolling in de steenzetting.

Om goed aan te sluiten op de wijze waarop golven tijdens een golfklap aan een steenzetting trekken, is getrokken aan een rijtje van drie naast elkaar gelegen zetstenen. Het trekken aan de zetstenen is uitgevoerd met behulp van een evenaar. De zetstenen waren met harpen en hijsogen vastgemaakt aan ogen aan de evenaar. De ogen zaten aan de evenaar vast met een draadeind dat door de evenaar heen was gestoken en met een bout bovenop was bevestigd, zie Figuur 3-10. Dit gaf de mogelijkheid om elk hijsogen zo te stellen dat aan alle drie de stenen ongeveer even hard werd getrokken. Aan het begin van de test is steeds een klein beetje spanning op de trekconstructie gezet, en zijn de draadeinden zo gesteld dat alle drie even hard trekken.

De maximale verplaatsing van de zetstenen, in de richting haaks op het talud, werd beperkt gehouden tot maximaal 3 centimeter, zodat de steenzetting grotendeels intact blijft.



Figuur 3-10, Bevestiging van de hijsconstructie aan de zetstenen (foto van Guus Schoonewille).

Een trekproevenserie bestond uit een serie trekproeven met een stap voor stap oplopende verplaatsing (haaks op het talud), waarbij in elke stap de trekkracht en de verplaatsing is gemeten. Door in minimaal 4 stappen de verplaatsing te vergroten, is de relatie tussen de verplaatsing en de trekkracht, en daarmee de stijfheid van de steenzetting, vastgesteld.



Figuur 3-11, Verplaatsing van de zetstenen is per stap gemeten met een kruislijnlaser die op een baak werd gericht.

De totale trekkracht aan de 3 zetstenen is gemeten met een unster. De unster werd tijdens het trekken afgelezen, en er stond een camera op de unster gericht om de maximale trekkracht terug te kunnen kijken mocht deze worden gemist. De verplaatsing van de zetstenen is gemeten met een kruislijnlaser en een baak, zie Figuur 3-11. Zo is de verplaatsing met een nauwkeurigheid van een millimeter vastgesteld.

3.4 Modeleffecten

Bij golfaanval op een steenzetting gebeurt er natuurlijk nog veel meer dan alleen het uitspoelen van inwasmateriaal en trekken van de golven aan een steenzetting. Dat maakt dat de gekozen wijze van uitvoeren van dit onderzoek zijn beperkingen kent. Er zijn een aantal belangrijke processen die relevant zijn voor de stabiliteit van steenzettingen die plaatsvinden tijdens zware golfaanval:

1. De golf trekt zich diep terug (golfneerloop), waarbij er ruim onder de stilwaterlijn een opwaartse verschuldruk ontstaat die zetstenen eruit wil drukken.
2. Tijdens de golfneerloop is er een hoge stroomsnelheid over de steenzetting naar beneden die inwasmateriaal kan doen uitspoelen en wegvoeren en die een schuifspanning uitoefent op de steenzetting, langs het talud naar beneden.
3. Kort na de golfneerloop treedt er een golfklap op, met in het centrum een hele hoge piekdruk die doorgegeven wordt via het filter naar de zones naast de golfklap. Naast de golfklap ontstaat er zo een naar buiten gericht drukverschil die zetstenen eruit wil lichten.
4. Tijdens de golfklap is er sprake van hoge turbulentie en hoge stroomsnelheid op de steenzetting, die kan leiden tot het uitspoelen van inwasmateriaal.
5. Tijdens de golfklap komt de hele steenzetting in trilling, waardoor zetstenen kunnen lostrillen. Verder kan de wrijving met de ondergrond worden verbroken en de zetstenen naar beneden kunnen gaan schuiven, ware het niet dat ze door de teen worden tegengehouden.
6. Tijdens golfoploop is er een hoge stroomsnelheid die inwasmateriaal kan doen uitspoelen en wegvoeren.

Bij steenzettingen met afwijkingen, die daardoor grote gaten of spleten hebben, kan het inwasmateriaal mogelijk makkelijker uitgespoeld worden. Verder kunnen er golfklappen op de brede spleten neerkomen die vervolgens gemakkelijker dan bij smalle spleten kunnen doordringen tot in het filter.

De hoge stroomsnelheid over de steenzetting naar beneden tijdens golfneerloop zou kunnen bijdragen aan de onderlinge wrijving tussen de stenen, waardoor de steenzetting stabiel wordt dan in de situatie die tijdens de trekproeven gecreëerd is.

Zo is er een complex samenspel van diverse fysische processen tijdens golfaanval op een steenzetting. In het huidige onderzoek hebben we ervoor gekozen om een deel uit te lichten, namelijk het feit dat de golven inwasmateriaal uitspoelen (punt 4 en 6) en dat er een opwaartse kracht op de stenen is (punt 1 en 3).

De langs het talud naar beneden gerichte krachten (punt 2 en 5) worden voor het voorliggende onderzoek van ondergeschikt belang geacht. De spleten en gaten waren voor de afwijkende steenzettingen namelijk zo groot (orde 4 à 8 cm) dat het niet de verwachting is dat deze gedurende een storm wel contact gaan maken door de krachten die langs het talud werken. Dit zou nog een significante toename in sterkte kunnen betekenen voor de matige steenzettingen, maar dat wordt dus niet verwacht. Bij de goede steenzettingen zouden wel extra klemming aanwezig kunnen zijn tijdens een storm, ten gevolge van de langs het talud naar beneden gerichte krachten. Echter is de verwachting dat deze bijdrage voor goed gezette steenzettingen relatief klein is ten opzichte van de klemming die aanwezig is zonder aanwezigheid van golfbelasting.

Verder zijn de proeven vooral gebruikt om resultaten onderling te vergelijken. Doordat ze allemaal op dezelfde wijze zijn uitgevoerd, levert zo'n onderlinge vergelijking naar verwachting goed bruikbare resultaten.

4 Proevenprogramma en resultaten

In dit onderzoek worden de volgende benamingen gebruikt voor de bij elkaar horende trekproeven en metingen:

- **Proevenprogramma:** het totale programma van alle uitspoelings- en trekproeven die zijn uitgevoerd.
- **Proevenserie:** acht bij elkaar horende uitspoelings- en trekproeven. Waarbij het inwasmateriaal is uitgespoeld en de verplaatsing van de zetstenen stap voor stap is toegenomen. Dit levert een krachtverplaatsingsdiagram waaruit de stijfheid kan worden afgeleid voor een bepaalde steenzetting met bepaalde afwijkingen.
- **Uitspoelingsproef:** het uitspoelen van het inwasmateriaal rondom de stenen waaraan getrokken gaat worden, en de stenen daaromheen.
- **Trekproef:** het in stappen trekken aan drie zetstenen tot een bepaalde totale verplaatsing van de zetstenen is gerealiseerd. Dit levert stapsgewijs de trekkracht bij een specifieke verplaatsing.
- **Meetpunt:** per trekproef zijn steeds acht zetstenen uitgekozen die 'gevolgd' werden. Deze stenen werden voorzien van een stip. De verplaatsing van deze stip werd na elke stapsgewijze krachtverhoging gemeten en worden meetpunten genoemd.

4.1 Proevenprogramma

Er zijn twee verschillende steenzettingen beproefd: Basalton en Hydroblocks. De testen zijn uitgevoerd op twee delen binnen dezelfde steenzetting: één deel waar de steenzetting er goed bij ligt, en één deel waarbinnen afwijkingen aanwezig zijn. Om de reproduceerbaarheid van de testen te waarborgen zijn er per deel acht trekproeven uitgevoerd.

Het proevenprogramma bestond uit de volgende onderdelen:

- **Uitspoelingsproeven:** Voor elk van de acht sets van drie zetstenen waar een trekproef op uitgevoerd werd is eerst het inwasmateriaal rond de drie te trekken stenen, en de stenen die eromheen liggen, zo veel mogelijk uitgespoeld.
- **Trekproeven Basalton:** Het frame is boven de te trekken zetstenen geplaatst, waarna een trekproef is uitgevoerd op elk van de acht geselecteerde sets zetstenen op goede plekken van de bekleding, en de acht geselecteerde sets zetstenen op matige plekken van de bekleding (dus 16 in totaal). De trekproeven hadden als doel om de trekkrachten na te bootsen die grote golven tijdens een storm op het talud veroorzaken. Op basis hiervan kan het verschil in stijfheid tussen een goed gezette steenzetting en een steenzetting met afwijkingen worden gekwantificeerd.
- **Trekproeven Hydroblocks:** Herhaling van de trekproeven die bij Basalton zijn uitgevoerd (dus ook 16 in totaal).

4.2 Resultaten uitspoelingsproeven

Het doel van de uitspoelingsproeven was om een storm na te bootsen, die ook al een deel van het inwasmateriaal uitspoelt voordat de piek van de storm (met de grootste golven) bereikt wordt. Bijlage B geeft een overzicht van de gemeten uitspoeling voor alle proeven. De resultaten zijn samengevat in Tabel 4-1, waarin de gemiddelde extra spleetdiepte zonder inwasmateriaal is gegeven die uitgespoeld is met de brandslang. Verder is de uiteindelijke gemiddelde spleetdiepte zonder inwasmateriaal gegeven, als percentage van de totale zuilhoogte, voordat aan de trekproeven werd begonnen.

Tabel 4-1, Resultaten uitspoelingsproeven, met de spleetdieptes voor en na het uitspoelen, de diepte die uitgespoeld is met de brandslang, en de uiteindelijke spleetdiepte zonder inwasmateriaal, als percentage van de totale zuilhoogte.

Proeven-serie	Gemiddelde spleetdiepte zonder inwasmateriaal voor uitspoelen (cm)	Gemiddeld uitgespoeld met de brandslang (cm)	Uiteindelijke gemiddelde spleetdiepte zonder inwasmateriaal (cm)	Uiteindelijke gemiddelde spleetdiepte zonder inwasmateriaal (%)
Basalton goed	4	4	8	18
Basalton matig	10	1	11	26
Hydroblocks goed	0	3	3	6
Hydroblocks matig	8	0	8	16

Er is gemiddeld weinig extra inwasmateriaal uitgespoeld met de brandslang. Voorliggende resultaten laten zien dat wanneer het inwasmateriaal initieel al deels uitgespoeld is, het lastiger is om extra inwasmateriaal eruit te spoelen. Dit is logisch omdat de natuur zijn werk op deze locaties al heeft gedaan, al het inwasmateriaal wat er makkelijk uitspoelt is al verdwenen. Wat verder opviel was dat er veel grassen aanwezig waren op het bovenste deel van het talud van de Hydroblocks, zie Figuur 4-1. Dit was met name voor proeflocaties goed met gezette Hydroblocks. De grassen leken het inwasmateriaal op zijn plek te houden. De grassen zijn verwijderd voordat het inwasmateriaal werd uitgespoeld.

Er is maximaal 26% van het inwasmateriaal tussen de stenen uitgespoeld bij 'Basalton matig'. Op basis van de bestaande literatuur wordt er vanuit gegaan dat er minder klemming is wanneer gemiddeld meer dan 2/3 van de totale hoogte van de zetsteen niet meer is ingewassen. Vanaf een uitspoeling van 1/3 van de totale hoogte wordt geadviseerd om opnieuw in te wassen tijdens het lopend onderhoud. Dit is een indicatie dat tot 33% uitspoeling de stabiliteit nog niet is aangetast. Bij alle locaties was het minder. Geconcludeerd kan worden dat Waterschap Scheldestromen het beheer en onderhoud van de dijk goed heeft uitgevoerd.



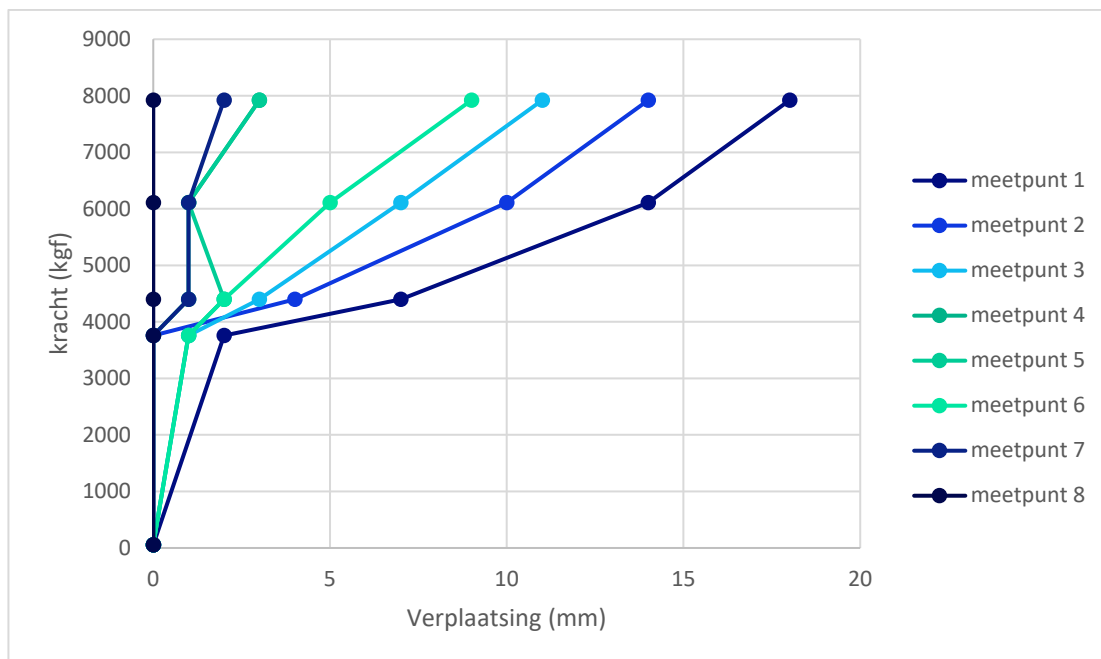
Figuur 4-1, Voorbeeld van grassen op het bovenste deel van het talud van de locaties met goed gezette Hydroblocks.

4.3 Resultaten trekproeven Basalton

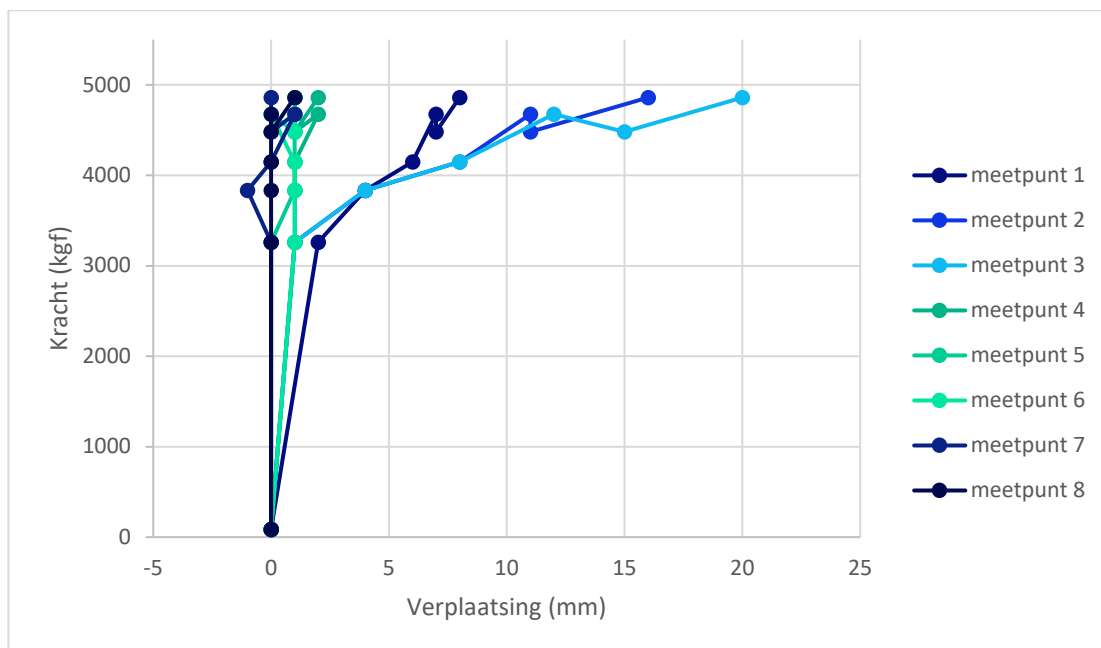
Per trekproef zijn steeds acht zetstenen uitgekozen die 'gevolgd' werden. Deze stenen werden voorzien van een stip. De verplaatsing van deze stip werd na elke stapsgewijze krachtverhoging gemeten. Deze metingen zijn opgenomen in Bijlage C.1 en C.2. Deze paragraaf geeft de visualisaties van de metingen.

Figuur 4-2 en Figuur 4-3 laten de resultaten van één trekproef zien, waarbij elke lijn het traject voorstelt wat een steen met bijbehorend meetpunt tijdens een proef heeft afgelegd. In de figuren is steeds één proef weergegeven om de resultaten overzichtelijk en interpreteerbaar te houden. Beide proeven geven een goede representatie van de totale proevenserie. In beide figuren is te zien dat er steeds drie meetpunten de meeste verplaatsing laten zien, dit zijn de stenen waaraan werd getrokken. Verder valt voor beide proeven op dat er in de eerste stap vaak relatief veel kracht nodig is om weinig verplaatsing te veroorzaken (alle lijnen lopen steil omhoog). Daarna is er minder extra kracht nodig om relatief veel extra verplaatsing te veroorzaken.

Wanneer naar de verschillen tussen Figuur 4-2 en Figuur 4-3 wordt gekeken valt te zien dat bij de goede Basalton de omliggende stenen mee verplaatsen met de stenen waaraan getrokken wordt. Dit geldt ook voor de matige Basalton proef, maar in mindere mate. De maximale trekkracht is voor de matige steenzetting ook lager dan voor de goede steenzetting (zie ook totaaloverzicht verderop in Figuur 4-6). Dit is in de lijn der verwachting, omdat verwacht werd dat bij steenzettingen met afwijkingen de stenen minder goed samenwerken. Verder verplaatst er voor de matige Basalton steenzetting ook een steen naar beneden, in plaats van dat deze mee omhoog komt. Dit werd vaker gezien tijdens de proeven. Mogelijk heeft dit te maken met de meetnauwkeurigheid ($\pm 0,5$ mm), maar kan ook door het verschuiven van het inwasmateriaal tussen de stenen komen, waardoor de stenen zich schikken. Dit hoeft niet altijd omhoog te zijn, maar kan ook naar beneden zijn.



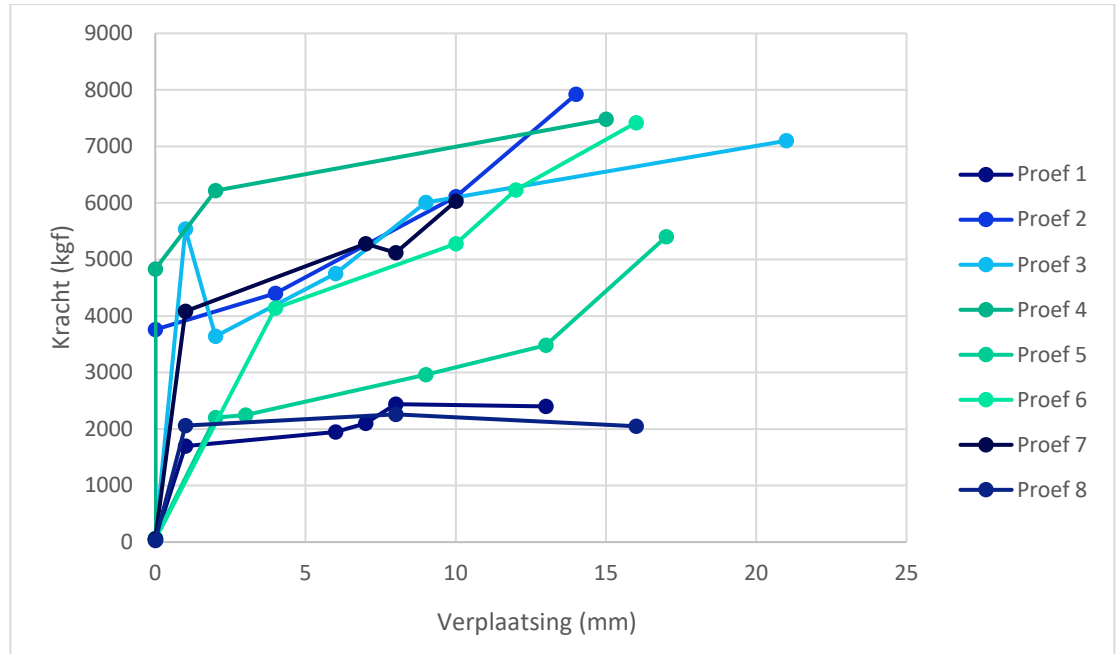
Figuur 4-2, Metingen van de stapsgewijze verplaatsing met toenemende trekkracht voor alle de 8 meetpunten van 'Basalton goed' proef 2.



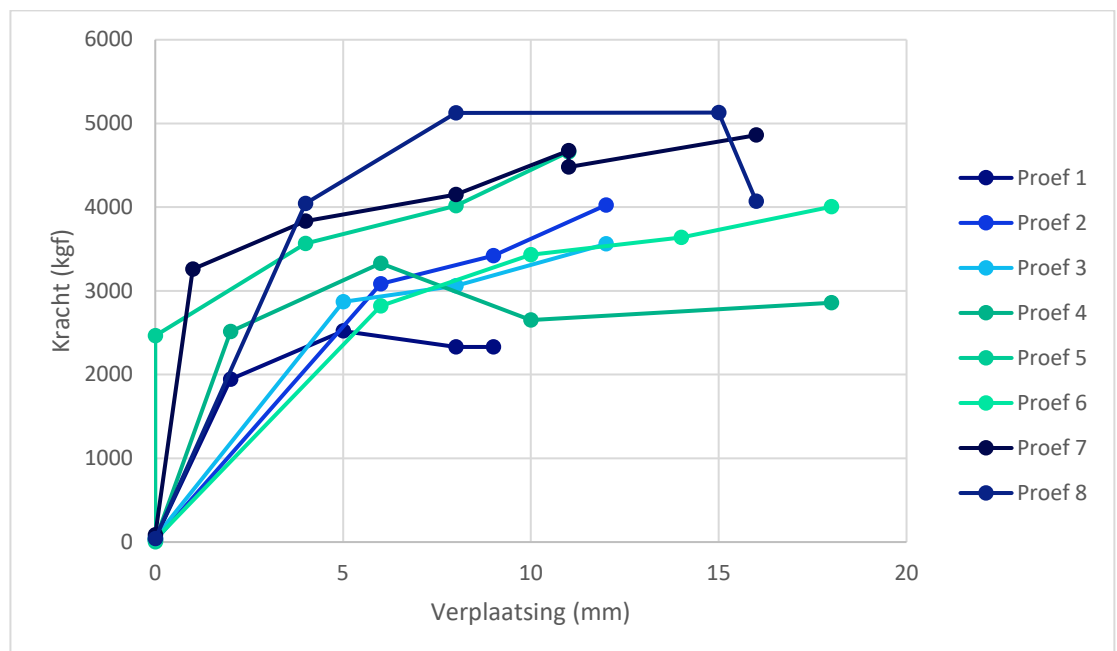
Figuur 4-3, Metingen van de stapsgewijze verplaatsing met toenemende trekkracht voor alle de 8 meetpunten van 'Basalton matig' proef 7.

Figuur 4-4 en Figuur 4-5 laten de gemeten verplaatsing zien van de middelste steen waaraan getrokken werd voor alle proeven in een serie. De figuren laten zien dat bij de goede Basalton gemiddeld meer kracht nodig was om een ongeveer gelijke verplaatsing te veroorzaken dan op matige plekken. Voor de matige plekken was de maximale trekkracht voor alle trekproeven iets meer dan 5000 kgf, waar 6 van de 8 goede plekken een dergelijke of hogere trekkracht werd gemeten. Verder valt op te maken dat de spreiding van de resultaten van de goed gezette proevenserie groter was dan voor de matige proevenserie.

In zowel Figuur 4-4 als Figuur 4-5 zijn er lijnen tussen opvolgende punten die niet allemaal een positieve gradiënt hebben. Dit betekent dat tussen twee opvolgende metingen er minder trekkracht nodig was om toch extra verplaatsing te verkrijgen. Dit wordt verklaard doordat de kracht wat terugliep tijdens het uitvoeren van de metingen, waarschijnlijk omdat de stenen zich herschikten, waardoor er minder kracht nodig was om ze op hun plek te houden. Als vervolgens de kracht weer werd opgevoerd, bewogen de stenen door het herschikken makkelijker ten opzichte van elkaar. Wanneer er tussen twee metingen ongeveer dezelfde of zelf minder kracht nodig was om de stenen verder te verplaatsen werd de proef gestopt.

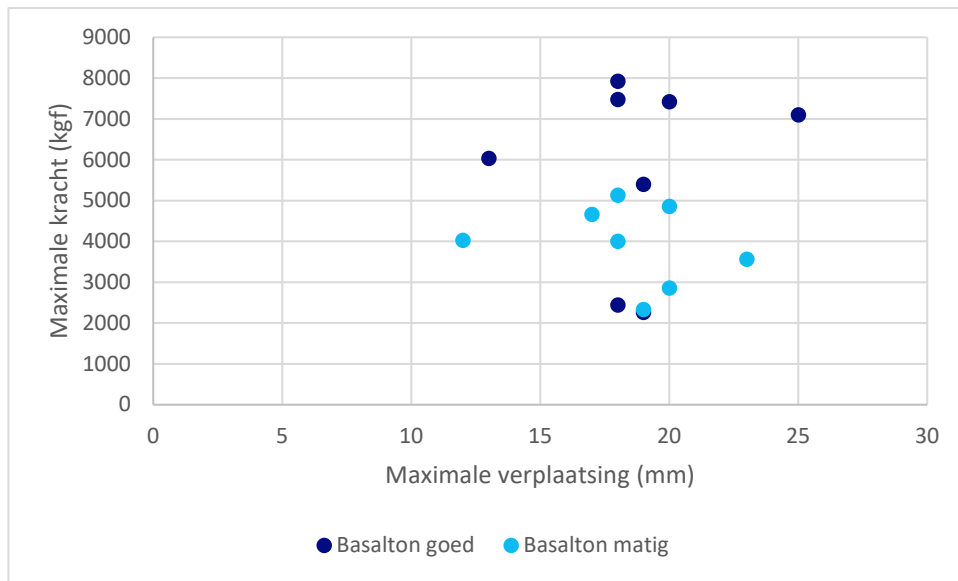


Figuur 4-4, Metingen van de stapsgewijze verplaatsing met toenemende kracht voor meetpunt 2 (middelste steen waaraan werd getrokken) voor alle 'Basalton goed'-proeven.



Figuur 4-5, Metingen van de stapsgewijze verplaatsing met toenemende kracht voor meetpunt 2 (middelste steen waaraan werd getrokken) voor alle 'Basalton matig' proeven.

Figuur 4-6 geeft een overzicht van de maximale trekkracht (kgf) en verplaatsing (mm) van elke trekproef uit de proevenseries Basalton 'goed' en 'matig', samen in één figuur. Er is een groepje 'goed' met hoge trekkracht en een groepje 'matig' met lage trekkracht te zien. Dit is in lijn met de verwachting dat een matige steenzetting minder stijf is dan een goede steenzetting.

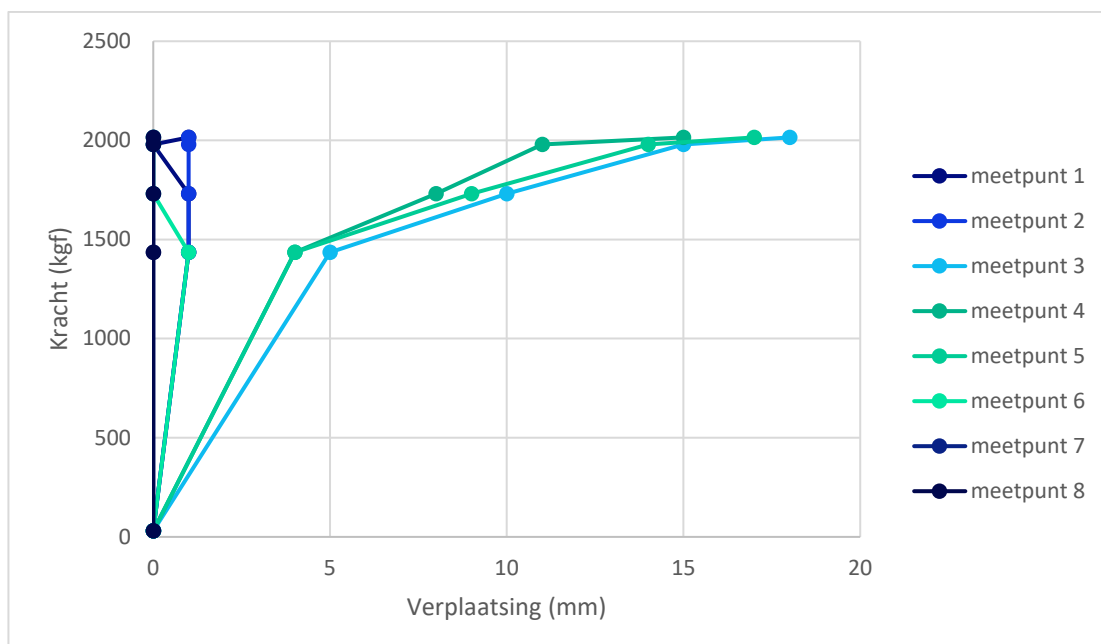


Figuur 4-6, Overzicht van maximale trekkracht (kgf) en verplaatsing (mm) voor alle Basalton proeven (goed en matig).

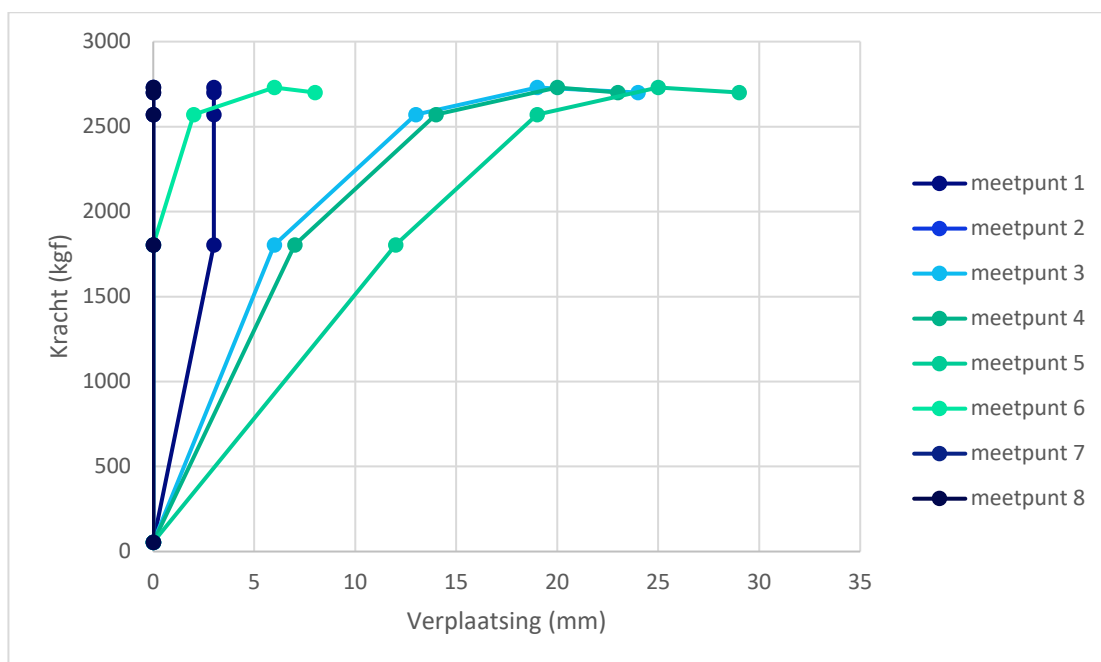
4.4 Resultaten trekproeven Hydroblocks

Op gelijke wijze als voor de proevenseries op Basalton, zijn de proevenseries op Hydroblocks weergegeven. Figuur 4-7 en Figuur 4-8 laten de resultaten van één trekproef zien, waarbij elke lijn het traject voorstelt wat een steen met bijbehorend meetpunt tijdens een proef heeft afgelegd. In de figuren is één proef weergegeven om de resultaten overzichtelijk en interpreteerbaar te houden. Beide proeven geven een goede representatie van de totale proevenserie. In beide figuren is te zien dat er steeds drie meetpunten de meeste verplaatsing laten zien, dit zijn de stenen waaraan werd getrokken. Verder valt voor beide proeven op dat er in de eerste stap vaak relatief veel kracht nodig is om weinig verplaatsing te veroorzaken (alle lijnen lopen steil omhoog). Daarna is er minder extra kracht nodig om relatief veel extra verplaatsing te veroorzaken.

In tegenstelling tot de proeven voor Basalton, verplaatsen de omliggende stenen bij Hydroblocks minder mee met de stenen waaraan getrokken wordt. Verder is de maximale trekkracht voor de goede steenzetting niet hoger (en in onderstaande voorbeelden zelfs lager) dan voor de matige steenzetting, zie ook het totaaloverzicht verderop in Figuur 4-11. Dit gaat tegen de verwachting in dat voor steenzettingen met afwijkingen de stenen minder goed samenwerken, en dus minder sterk zijn.



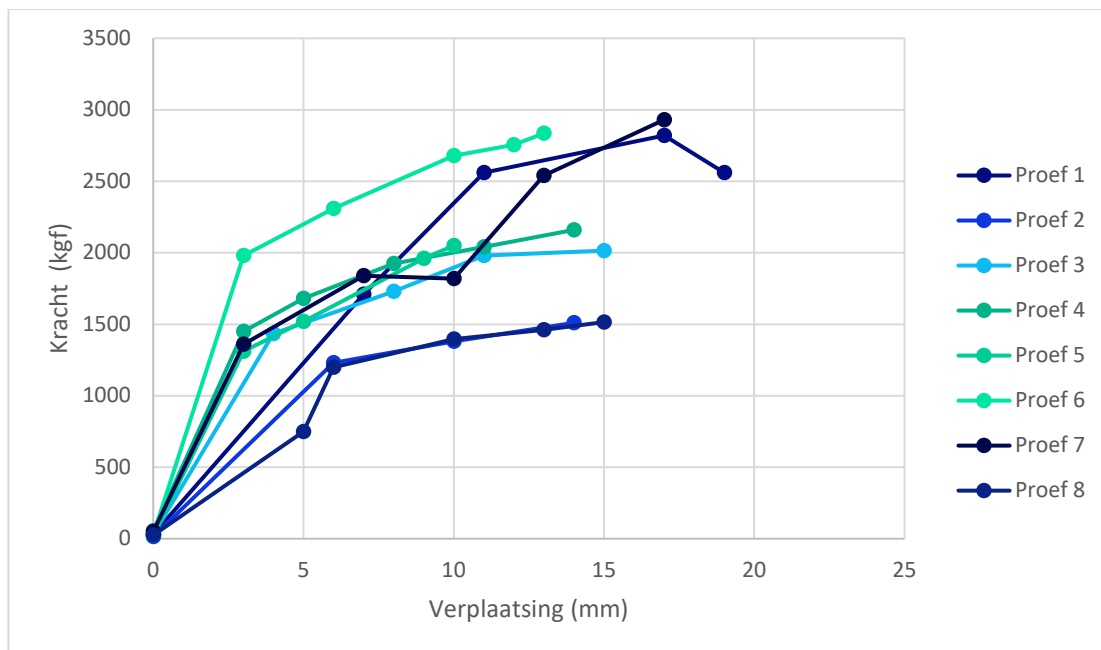
Figuur 4-7, Metingen van de stapsgewijze verplaatsing met toenemende trekkracht voor alle de 8 meetpunten van 'Hydroblocks goed' proef 3.



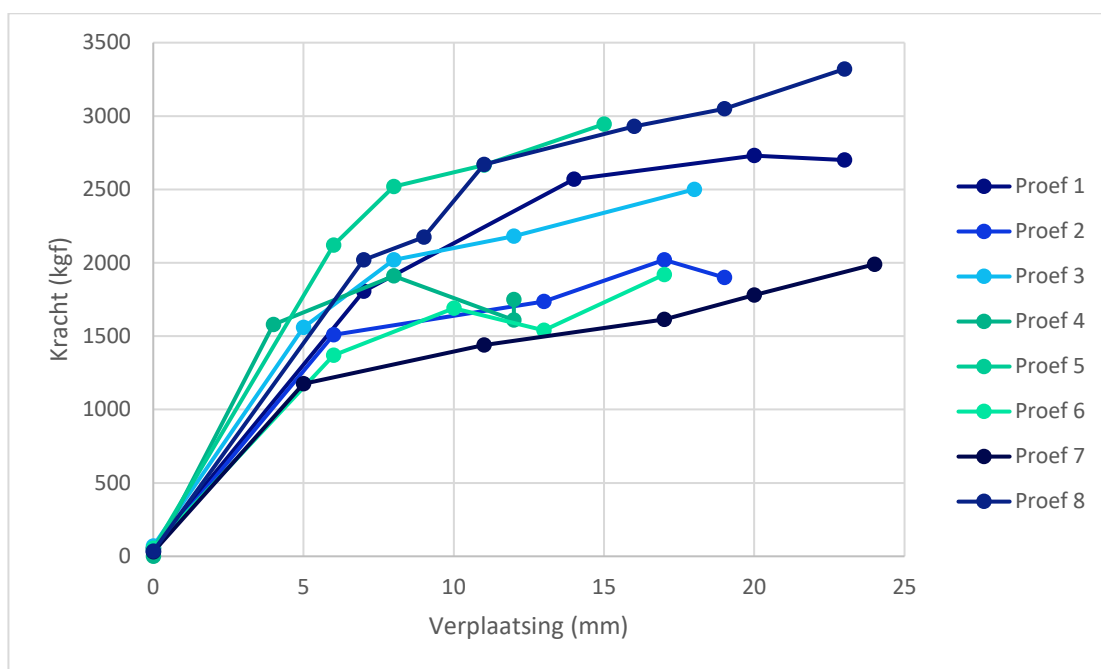
Figuur 4-8, Metingen van de stapsgewijze verplaatsing met toenemende trekkracht voor alle de 8 meetpunten van 'Hydroblocks matig' proef 1.

Figuur 4-9 en Figuur 4-10 laten de gemeten verplaatsing zien van de middelste steen waaraan getrokken werd voor alle proeven in een serie. Het verschil in benodigde kracht om de zetstenen te verplaatsen is aanzienlijk kleiner dan bij Basalton. De matige steenzetting lijkt zelfs sterker doordat er hogere kracht is gemeten, maar de verplaatsingen waren ook groter. Het uiteindelijke verschil in stijfheid is nihil, zie analyse verderop in paragraaf 5.2. Verder valt op te maken dat de spreiding van de resultaten van beide proevenseries vergelijkbaar was. Net als voor de proevenseries van de Basalton steenzetting zijn er opvolgende punten die niet

allemaal een positieve gradiënt hebben. Hiervoor wordt verwezen naar de uitleg in paragraaf 4.3.

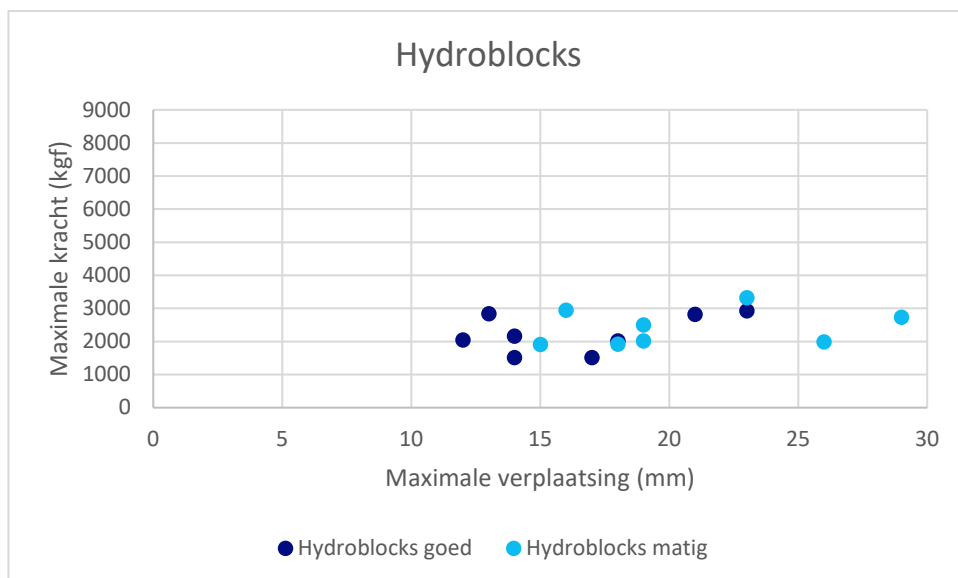


Figuur 4-9, Metingen van de stapsgewijze verplaatsing met toenemende kracht voor meetpunt 4 (middelste steen waaraan werd getrokken) voor alle 'Hydroblocks goed' proeven.



Figuur 4-10, Metingen van de stapsgewijze verplaatsing met toenemende kracht voor meetpunt 4 (middelste steen waaraan werd getrokken) voor alle 'Hydroblocks matig' proeven.

Figuur 4-11 geeft een overzicht van de maximale trekkracht (kgf) en verplaatsing (mm) van elke trekproef uit de proevenseries Hydroblocks 'goed' en 'matig', samen in één figuur. In tegenstelling tot de trekproeven voor Basalton is er geen duidelijk onderscheid in de ligging van de goede en matige proeven. Dit gaat tegen de verwachting in dat een matige steenzetting minder sterk is dan een goede steenzetting. De punten liggen véél lager dan bij Basalton.



Figuur 4-11, Overzicht van maximale trekkracht (kgf) en verplaatsing (mm) voor alle Hydroblocks proeven (goed en matig).

5 Analyse van de metingen

5.1 Ervaring met meetopstelling en meetmethode

Er zijn in dit onderzoek 32 uitspoelings- en trekproeven uitgevoerd die een schat aan informatie hebben opgeleverd. Er is gebruik gemaakt van een innovatief materieel en een innovatieve werkwijze en daarom wordt er eerst stilgestaan bij de ervaring die hiermee is opgedaan.

In de stenen waaraan getrokken werd werden ankerstangen aangebracht met behulp van chemisch ankers. De gaten hiervoor zijn geboord door een extern bedrijf en dat is goed bevallen, gezien het speciale materieel en de expertise van de medewerkers.

Tijdens de trekproeven is gebruik gemaakt van een driepoot met takel, unster, evenaar en hijsogen aan de zetstenen. De verplaatsing werd gemeten met een kruislijnlaser in combinatie met een baak met waterpas. Het ontwerp van de driepoot was goed en handig in gebruik. Door de unster en handmatige hoogtemetingen was de opstelling (vrijwel) onafhankelijk van een stroomaansluiting. Verder was de kruislijnlaser door de zon soms lastig te zien.

Bij het uitvoeren van de proeven werd een handmatige takel gebruikt om de trekkracht op de zetstenen op te voeren. Deze takel was gekeurd voor 10 ton, maar bij 8 ton lukte het niet om de kracht verder op te voeren. Daarnaast werd waargenomen dat na elke stapsgewijze verhoging van de kracht, de kracht weer terugliep terwijl de meting werd uitgevoerd. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door de relaxatie (verdere respons op de opgelegde kracht) van de steenzetting tussen de meetstapjes. Dit zou mogelijk verbeterd kunnen worden door een elektrisch aangestuurde kracht die langzaam maar continue wordt verhoogd en automatische uitlezing van de data. De verwachting is niet dat de resultaten hier sterk door beïnvloed zullen worden, en of het dus de moeite waard is om op deze manier de proeven uit te voeren.

De opstelling werd vervoerd met een vrij kleine wagen met open laadbak van Deltares (zie foto's in bijlage D). Deze wagen was wendbaar op de (lokaal) smalle dijk, en daardoor handig voor het vervoer. De wagen had ook een kraan om de opstelling op zijn plaats te zetten, maar dit was in de praktijk lastig. Er is daarom een 2 tons kraan gehuurd om de opstelling voor elke proef van één type steenzetting te verplaatsen, dit werkte handig. Hier was tevens een kraanmachinist bij aanwezig, waardoor de proeven met in totaal 3 personen werden uitgevoerd. Dit was een goed aantal.

Tijdens de uitspoelingsproeven is er weinig extra inwasmateriaal uitgespoeld. Dit is logisch omdat de natuur zijn werk op deze locaties al heeft gedaan, al het inwasmateriaal wat er makkelijk uitspoelt was al verdwenen. Gezien de beperkte meerwaarde van de uitspoelingsproeven zou dit onderdeel bij herhaling van dergelijke proeven achterwege gelaten kunnen worden.

5.2 Stijfheid van de steenzettingen

De invloed van afwijkingen op de stijfheid van de steenzetting is een belangrijke graadmeter voor de invloed van afwijkingen op de stabiliteit van de steenzetting. De proevenseries geven de relatie tussen de benodigde trekkracht om een bepaalde verplaatsing van de zetstenen te bewerkstelligen (haaks op het talud).

De stijfheid van de steenzetting is bepalend voor hoeveel beweging optreedt bij een groot stijghoogteverschil (groter dan het eigen gewicht van de belaste zetstenen) tijdens golfaanval.

Voor de stijfheid van de steenzetting, zoals die gemeten kan worden in een trekproef, wordt de definitie van Deltares (2024) gehanteerd:

$$k_s = \frac{F_{\text{trek}} - F_{\text{eg}}}{v_{\text{steen}}} \quad (5.1)$$

Met:

k_s = stijfheid van de steenzetting bij opwaartse beweging (N/m)

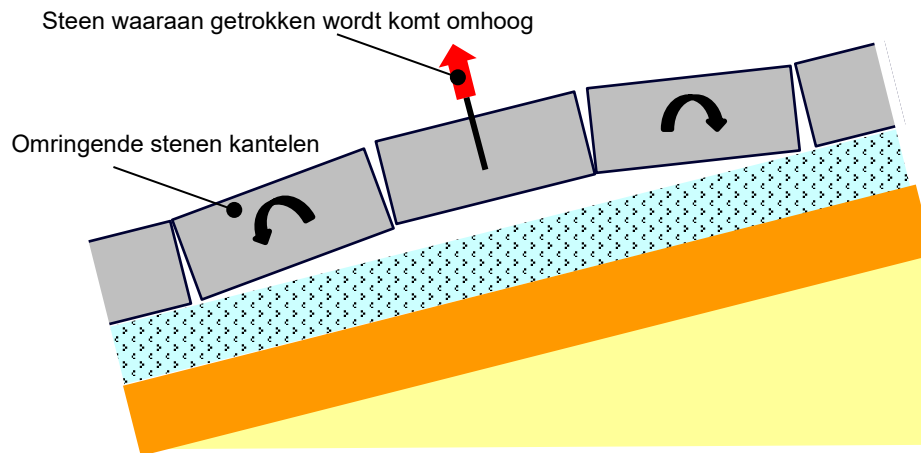
F_{trek} = trekkracht aan de steenzetting tijdens trekproef (N)

F_{eg} = eigen gewicht van de omhoog bewegende zetstenen (N)

v_{steen} = verplaatsing van de getrokken zetstenen haaks op het talud (m)

Hoe groter de stijfheid, des te kleiner de beweging van de steenzetting bij een bepaalde trekkracht. Dat geldt ook voor de golven die aan de steenzetting trekken: hoe groter de stijfheid, des te groter het benodigde stijghoogteverschil om instabiliteit te krijgen.

De metingen hebben de waarden van F_{trek} en v_{steen} opgeleverd. Op basis van de metingen kan een schatting gegeven worden van het eigen gewicht van de omhoog bewegende zetstenen (zie metingen in Bijlage C). Het lijkt erop dat de zetstenen die grenzen aan de stenen waaraan getrokken wordt, met name tijdens de eerste stap in de verhoging van de trekkracht, mee omhoog bewegen tijdens een trekproef. Echter is dit niet in dezelfde mate als de stenen waaraan getrokken werd, maar ongeveer de helft. De verwachting is daarom dat de omringende zetstenen kantelen, zoals weergegeven in Figuur 5-1. De kant die grenst aan de zetsteen waaraan getrokken wordt komt mee, maar de andere kant niet. Hierdoor zal in het midden van de omringende stenen ongeveer de helft van de afstand afleggen die de steen waaraan getrokken wordt aflegt.



Figuur 5-1, schematische weergave van kantelen van stenen rond de zetsteen waaraan getrokken wordt.

Het totale aantal zetstenen dat in beweging komt wordt op basis van bovenstaande redenering geschat op 7,5 stuks: de drie getrokken zetstenen en de helft van de 9 omliggende zetstenen. Voor Hydroblocks is dit makkelijk te visualiseren: de meebewegende stenen zijn de drie zetstenen waaraan getrokken wordt, de drie daarnaast in de rij erboven en eronder, en de drie aan de linker en rechterzijde hiervan (dus een vak van 5×3 zetstenen, en daar de helft van). Basalton heeft een onregelmatig patroon, waardoor het minder eenduidig is welke stenen in welke 'rij' liggen. Voor Basalton wordt een gelijk aantal meebewegende stenen aangenomen als voor de Hydroblocks. Gemiddeld genomen zal deze aanname correct zijn, al kunnen individuele gevallen afwijken. De bijdrage van het eigen gewicht is relatief klein ten opzichte

van de totale trekkracht, zoals verderop zal blijken. Daarom heeft deze schatting geen grote invloed op de conclusies.

Het gewicht van een enkele zetsteen kan geschat worden met behulp van de zuilhoogte en hoeveelheid open ruimte uit Deltares (2023b) van het type steenzetting. Voor Hydroblocks was het gemiddelde gewicht 28 kg en voor Basalton 27 kg. De 7,5 meebewegende zetstenen waren dus respectievelijk 209 kg en 205 kg, ofwel $F_{eg} = 2,05$ kN voor Hydroblocks en $F_{eg} = 2,01$ kN voor Basalton.

Over het algemeen zijn de trekkrachten die tijdens de proeven gerealiseerd zijn vele malen groter dan het eigengewicht van de zetstenen. Uit de figuren in paragrafen 4.3 en 4.4 valt af te lezen dat op de slechtste plekken met maximaal ongeveer 2000 kgf aan de stenen werd getrokken, dus 10 keer het eigengewicht. In de eerste stapsgewijze verhoging van de trekkracht was dit minimaal 750 kgf (meer dan 3x het eigengewicht), maar meestal meer richting 1500 kgf.

In Tabel 5-1 en Tabel 5-2 is de analyse van de stijfheid van de steenzettingen op verschillende manieren weergegeven. In Tabel 5-1 is de stijfheid bepaald op basis van de gemeten kracht bij 10 mm verplaatsing. In Tabel 5-2 is de stijfheid bepaald op basis van de eerste stap in het kracht-verplaatsingsdiagram. Dit noemen we de initiële stijfheid. Voor beide is uitsluitend gekeken naar de middelste steen waaraan getrokken werd.

Tabel 5-1 laat zien dat de stijfheid van de Basalton steenzetting aanzienlijk hoger was dan van de Hydroblocks. Dat is in lijn met de resultaten die in hoofdstuk 4 zijn gepresenteerd. De standaarddeviatie en variatiecoëfficiënt van deze proeven was ook aanzienlijk groter dan van de proeven met Hydroblocks. Een mogelijke verklaring hiervoor is de aanwezigheid van goede klemming in de Basalton steenzetting. Klemming heeft een grote bijdrage aan de sterkte van een steenzetting. Mogelijk speelt klemming voor de hogere stijfheden een grotere rol. De steenzetting wordt door de klemming dan langer bij elkaar gehouden, waardoor de verplaatsingen klein blijven. Als er een bepaalde drempelwaarde wordt overschreden wordt de steenzetting uit zijn verband getrokken, valt de klemming weg, en wordt er ineens veel verplaatsing gemeten. Dit kan worden gezien als het langs elkaar slippen van de zetstenen. De verplaatsing van de zetstenen hangt hiermee sterk samen met de drempelwaarde voor het overwinnen van de klemming, waardoor de verplaatsing zich niet-lineair gedraagt en de variaties groot zijn. Daarom is tevens gekeken naar de stijfheid van de steenzettingen op basis van de initiële stijfheid (Tabel 5-2).

In Tabel 5-2 valt op dat voor elk van de proevenseries de gemiddelde stijfheid hoger is dan wanneer naar de eerste 10 mm verplaatsing wordt gekeken. Ook de standaarddeviaties en variatiecoëfficiënten zijn aanzienlijk groter dan in Tabel 5-1. Dit heeft deels te maken met het feit dat er geen middeling van de resultaten is over meerdere stapsgewijze krachtverhogingen, hierdoor zijn de resultaten gevoeliger voor afwijkingen. Verder zijn deze resultaten in lijn met bovengenoemde verklaring van de hogere standaarddeviatie en variatiecoëfficiënt voor de goede Basalton steenzetting. De verwachting is namelijk dat voor deze eerste meetstap de drempelwaarde voor de klemming van de steenzetting in elk geval voor een deel van de metingen nog niet was overschreden. Hierdoor was de stijfheid hoger (de stijfheid van een steenzetting met klemming is hoger dan van een steenzetting zonder klemming), en de variaties waren ook groter (de verplaatsing is sterk afhankelijk van het wel of niet overschrijden van de drempelwaarde). De metingen waren echter te onnauwkeurig om dit met zekerheid te kunnen vaststellen. Om met zekerheid te kunnen zeggen dat een steenzetting zich op deze manier gedraagt zouden extra meetstappen nodig zijn met een nauwkeurigheid van 0,2 mm. De verwachting is dat deze initiële stijfheid het gedrag van een steenzetting onder golfcondities beter beschrijft. Wanneer een steenzetting bezwijkt door golfaanval moet deze initiële stijfheid namelijk eerst overwonnen worden voordat de gemiddelde stijfheid van Tabel 5-1 gaat gelden.

In de tabellen is te zien dat de stijfheid van Basalton veel hoger is dan die van Hydroblocks. Dat komt overeen met de resultaten uit Deltagootproeven, waar Basalton een hogere stabiliteitsfactor heeft gekregen dan Hydroblocks. Dit is een indicatie dat er een relatie is tussen de stijfheid en de stabiliteit van een steenzetting.

Verder is te zien dat de initiële stijfheid veel groter is dan de gemiddelde stijfheid over het traject van 10 mm verplaatsing. Dat is waarschijnlijk vooral het gevolg van het feit dat de omliggende zetstenen niet mee omhoog bewegen. De trekkracht is zo groot dat de klemming/wrijving tekortschiet en de getrokken zetstenen gaan schuiven ten opzichte van de omliggende zetstenen. In feite kan bij een dergelijk mechanisme de stijfheid niet meer bepaald worden. Dat maakt dat de initiële stijfheid een betere indicatie is voor de stabiliteit van de steenzetting, dan de stijfheid die afgeleid is bij een verplaatsing van 10 mm.

De verhouding tussen de initiële stijfheid van 'Basalton goed' en 'Basalton matig' is ruim een factor 2,1, terwijl dit bij Hydroblocks slechts een factor 1,3 is. Dit duidt erop dat de matige zetting vooral invloed heeft op de klemming. Juist die klemming blijkt, op basis van de hogere stijfheid die is gevonden, bij Basalton beter dan bij Hydroblocks, waardoor er een groter verschil is tussen de goede zettingen en de matige zettingen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de Basalton weliswaar een hogere stabiliteit heeft dan Hydroblocks, maar anderzijds wel kwetsbaarder is voor afwijkingen. Mogelijk geldt deze kwetsbaarheid voor afwijkingen ook voor andere type steenzettingen met een hoge stabiliteitsfactor. Aanbevolen wordt dit te onderzoeken.

Tabel 5-1, Overzicht van de stijfheden van elke proef van alle proevenseries, waarbij voor elke proef is gekeken naar de kracht (kgf) die nodig was om 10 mm verplaatsing te veroorzaken (μ = gemiddelde; σ = standaardafwijking; V = variatiecoëfficiënt = σ/μ).

	Stijfheid Basalton goed (N/m)	Stijfheid Basalton matig (N/m)	Stijfheid Hydroblocks goed (N/m)	Stijfheid Hydroblocks matig (N/m)
Proef 1	2.1	1.6	1.9	1.7
Proef 2	5.7	3.3	1.1	1.3
Proef 3	5.7	2.9	1.5	1.7
Proef 4	6.5	2.2	1.6	1.4
Proef 5	1.9	4.0	1.6	2.2
Proef 6	5.4	3.1	2.2	1.2
Proef 7	5.5	4.0	1.3	1.0
Proef 8	1.9	4.7	1.1	2.0
μ	4.3	3.2	1.5	1.6
σ	2.0	1.0	0.4	0.4
V (-)	0.46	0.31	0.24	0.27

Tabel 5-2, Overzicht van de initiële stijfheden van elke proef van alle proevenseries, waarbij voor elke proef is gekeken naar de kracht (kgf) die nodig was om de eerst gemeten verplaatsing te veroorzaken (μ = gemiddelde; σ = standaardafwijking; V = variatiecoëfficiënt = σ/μ).

	Initiële stijfheid Basalton goed (N/m)	Initiële stijfheid Basalton matig (N/m)	Initiële stijfheid Hydroblocks goed (N/m)	Initiële stijfheid Hydroblocks matig (N/m)
Proef 1	14.2	8.3	2.1	2.2
Proef 2	8.6	4.7	1.6	2.1
Proef 3	51.9	5.1	2.9	2.5
Proef 4	29.2	11.2	3.9	3.4
Proef 5	9.5	8.2	3.5	3.0
Proef 6	9.5	4.2	5.7	1.8
Proef 7	37.4	29.1	3.6	1.8
Proef 8	17.9	9.3	1.0	2.5
μ	22.3	10.0	3.0	2.4
σ	15.8	8.1	1.5	0.6
V (-)	0.71	0.81	0.49	0.23

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In voorliggende studie zijn uitspoelings- en trekproeven uitgevoerd op twee verschillende steenzettingen (Basalton en Hydroblocks) die in het beheer zijn van het waterschap Scheldestromen. De testen zijn uitgevoerd op twee delen binnen dezelfde steenzetting: één deel waar de steenzetting er goed bij ligt, en één deel waarbinnen afwijkingen aanwezig zijn. Om de invloed van toeval in de testresultaten te beperken zijn er per deel acht trekproeven uitgevoerd.

Elke proeflocatie is gecategoriseerd volgens de Digigids (2019). De Basalton steenzetting had als afwijking de aanwezigheid van gaten tussen de zetstenen. De gaten waren voor de Basaltonlocaties met afwijkingen groter dan 5 cm. Op basis van de Digigids (2019) vielen deze locaties daarom in de categorie 'slecht'. De afwijkende Hydroblocks hadden ook gaten tussen de zetstenen, maar stonden ook gekamd. De gaten tussen de Hydroblocks vielen in de categorieën 'redelijk', 'matig' en 'slecht', afhankelijk van de proeflocatie. De kamming viel voor alle locaties in de categorie 'matig'. Er is binnen de Digigids geen mogelijkheid om een gecombineerd oordeel te vellen bij combinaties van afwijkingen.

Tijdens de uitspoelingsproeven is er weinig extra inwasmateriaal uitgespoeld. Dit is logisch omdat de natuur zijn werk op deze locaties al heeft gedaan, al het inwasmateriaal wat er makkelijk uitspoelt was al verdwenen. Gezien de beperkte meerwaarde van de uitspoelingsproeven zou dit onderdeel bij herhaling van dergelijke proeven achterwege gelaten kunnen worden.

Uit de trekproeven blijkt dat de stijfheid van Basalton veel hoger is dan die van Hydroblocks. Dat komt overeen met de resultaten uit Deltagootproeven, waar Basalton een hogere stabiliteitsfactor heeft gekregen dan Hydroblocks. Verder is de initiële stijfheid veel groter dan de gemiddelde stijfheid over het traject van 10 mm verplaatsing. Dit komt doordat de trekkracht zo groot is dat de klemming/wrijving tekortschiet en de getrokken zetstenen gaan schuiven ten opzichte van de omliggende zetstenen, waardoor de stijfheid eigenlijk niet meer goed bepaald kon worden. Geconcludeerd wordt dat de initiële stijfheid een betere indicatie is voor de stabiliteit van de steenzetting, dan de stijfheid die afgeleid is bij een verplaatsing van 10 mm.

De verhouding tussen de initiële stijfheid van Basalton met en zonder afwijkingen is ruim een factor 2,1, terwijl dit bij Hydroblocks slechts een factor 1,3 is. De verwachting is dat dit door de mate van klemming komt. De conclusie is dat de klemming bij Basalton beter is dan bij Hydroblocks, waardoor er een groter verschil is tussen de goede zettingen en de matige zettingen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de Basalton weliswaar een hogere stabiliteit heeft dan Hydroblocks, maar anderzijds wel kwetsbaarder is voor afwijkingen. Mogelijk geldt deze kwetsbaarheid voor afwijkingen ook voor andere type steenzettingen met een hoge stabiliteitsfactor. Aanbevolen wordt dit nader te onderzoeken.

6.2 Aanbevelingen

Het is de eerste keer dat dergelijke proeven zijn uitgevoerd op een bestaande steenzetting. Er is ervaring opgedaan met de meetmethode, en er is informatie verzameld waar aanbevelingen uit volgen. Beide worden in de aanbevelingen hieronder benoemd:

- Er is binnen de Digigids geen mogelijkheid om een gecombineerd oordeel te vellen bij combinaties van afwijkingen. Er wordt geadviseerd om te onderzoeken of hier wel mogelijkheid toe is. Op deze manier kunnen combinaties van afwijkingen beter gecategoriseerd worden, en daarmee beter afgewogen worden of er maatregelen nodig zijn.
- Gezien de beperkte meerwaarde van de uitspoelingsproeven wordt geadviseerd om dit onderdeel bij herhaling van dergelijke proeven achterwege te laten.
- De initiële stijfheid blijkt een betere indicatie te zijn voor de stabiliteit van een steenzetting, dan de stijfheid bij een verplaatsing van 10 mm. Er wordt daarom geadviseerd om bij dergelijke proeven de focus te leggen op het meten van de initiële stijfheid. Deze wordt gemeten met een zo klein mogelijke verplaatsing. Om dit goed te kunnen meten moet de meetprecisie van de instrumentatie groter zijn (orde 0,2 mm).
- Ondanks dat de proevenseries op twee verschillende steenzettingen een schat aan informatie opgeleverd hebben, wordt geadviseerd om additionele proeven uit te voeren. Met behulp van deze proeven kan meer informatie verzameld worden over de initiële stijfheid van steenzettingen (zie punt hierboven) en de kwetsbaarheid voor afwijkingen van steenzettingen met een hoge stabiliteitsfactor. Er wordt geadviseerd om in dat geval weer twee steenzettingen te kiezen, waarvan tenminste één een hoge stabiliteitsfactor heeft in Steentoets (Bijvoorbeeld Hillblock 2.0).

Literatuur

- Deltares, 2023a. Steenzettingen onder praktijkomstandigheden – een inventarisatie van afwijkingen aan steenzettingen en beproeving van een eenvoudige testmethode. Deltares rapport 1120962-005-ZWS-0001, Auteur: N. Huppes.
- Deltares, 2023b. Documentatie Steentoets – Excel-programma voor het beoordelen en ontwerpen van steenzettingen. Deltares rapport 11209270-002-GEO-0003, Auteur: Gijsbert Mourik.
- Deltares, 2024. Invloed van teenconstructie op stabiliteit van steenzettingen – Trekproeven voor de IJsselmeerdijk. Deltares rapport 11209115-002-HYE-0011, Auteurs: M. Klein Breteler en S. Riedstra.
- Digigids, 2019. Digigids – Parameters en definities steenbekledingen, versie september 2019.
- Royal Haskoning, 2007. Technische tekening Kruseveer te Kruiningen – Aanleg Westelijke en Oostelijke havendijk Perceel 5. Tekeningnummer 9R4677.D2/3323-W02, Auteur: JNET.
- Rijkswaterstaat, 2003. Technische tekening Project Zeeweringen – Zimmermanpolder – Dwarsprofielen dwp4, dwp5 en dwp6. Tekeningnummer ZLRW 2003-1188, Auteur: W. Eckhardt.

A Proeflocaties

Deze bijlage geeft een overzicht van de proeflocaties. De bijlage bevat de technische tekeningen van de dwarsdoorsneden van beide locaties, zie Fig. A-1 en Fig. A-2. Verder worden in Fig. A-3 tot en met Fig. A-22 de foto's van de proeflocaties gegeven. Voor de goede proeflocaties is slechts een selectie gegeven die representatief is voor alle proeflocaties, er mag vanuit worden gegaan dat alle stenen goed contact met elkaar maakten. Voor de locaties met matige zettingen zijn alle foto's gegeven, omdat elke afwijking weer net anders was.

De belangrijkste eigenschappen van elke locatie zijn gegeven in Tbl. A-1 tot en met Tbl. A-3.

Tbl. A-1, kwantificering van de afwijkingen van de matige Basalton locaties.

	Maximale maat gaten tussen de stenen (cm)	Categorisering gaten volgens Digigids (2019)
Proeflocatie 1	8,5	Matig
Proeflocatie 2	6	Matig
Proeflocatie 3	10	Matig
Proeflocatie 4	9	Matig
Proeflocatie 5	6	Matig
Proeflocatie 6	8	Matig
Proeflocatie 7	7	Matig
Proeflocatie 8	10	Matig

Tbl. A-2, kwantificering van de afwijkingen van de matige Hydroblocks locaties.

	Maximale maat gaten tussen de stenen (cm)	Categorisering gaten volgens Digigids (2019)	Maximale kamming (cm)	Categorisering kamming volgens Digigids (2019)
Proeflocatie 1	4,5	Matig	5	Matig
Proeflocatie 2	6	Matig	4	Matig
Proeflocatie 3	3	Redelijk	2	Matig
Proeflocatie 4	4	Matig	3,5	Matig
Proeflocatie 5	1,5	Redelijk	1	Matig
Proeflocatie 6	3	Redelijk	3,5	Matig
Proeflocatie 7	4,5	Matig	2,5	Matig
Proeflocatie 8	3,5	Matig	3,5	Matig

Tbl. A-3, ligging van de proeflocaties ten opzichte van de bovenliggende overgang naar de berm.

	Afstand naar overgang berm Basalton goed (m)	Afstand naar overgang berm Basalton matig (m)	Afstand naar overgang berm Hydroblocks goed (m)	Afstand naar overgang berm Hydroblocks matig (m)
Proeflocatie 1	8,11	13,95	11,60	17,41
Proeflocatie 2	5,90	13,73	9,02	17,50
Proeflocatie 3	7,60	11,91	12,12	15,60
Proeflocatie 4	5,93	13,72	10,71	16,06
Proeflocatie 5	10,00	12,51	8,83	16,53
Proeflocatie 6	7,95	12,64	11,00	7,18
Proeflocatie 7	6,40	13,64	12,04	7,14
Proeflocatie 8	7,50	16,09	10,37	17,42

Dwarsprofiel dwp4 van dp101+75m tot dp104+75m
schaal 1:100

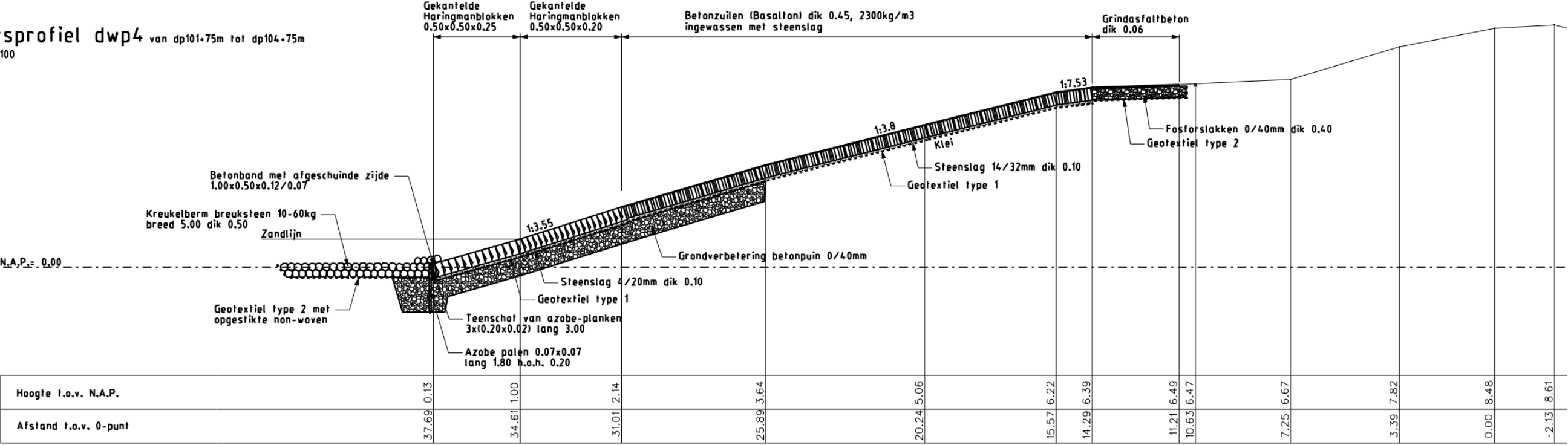


Fig. A-1, Dwarsprofiel van de proeflocatie met Basalton, Rijkswaterstaat (2003).

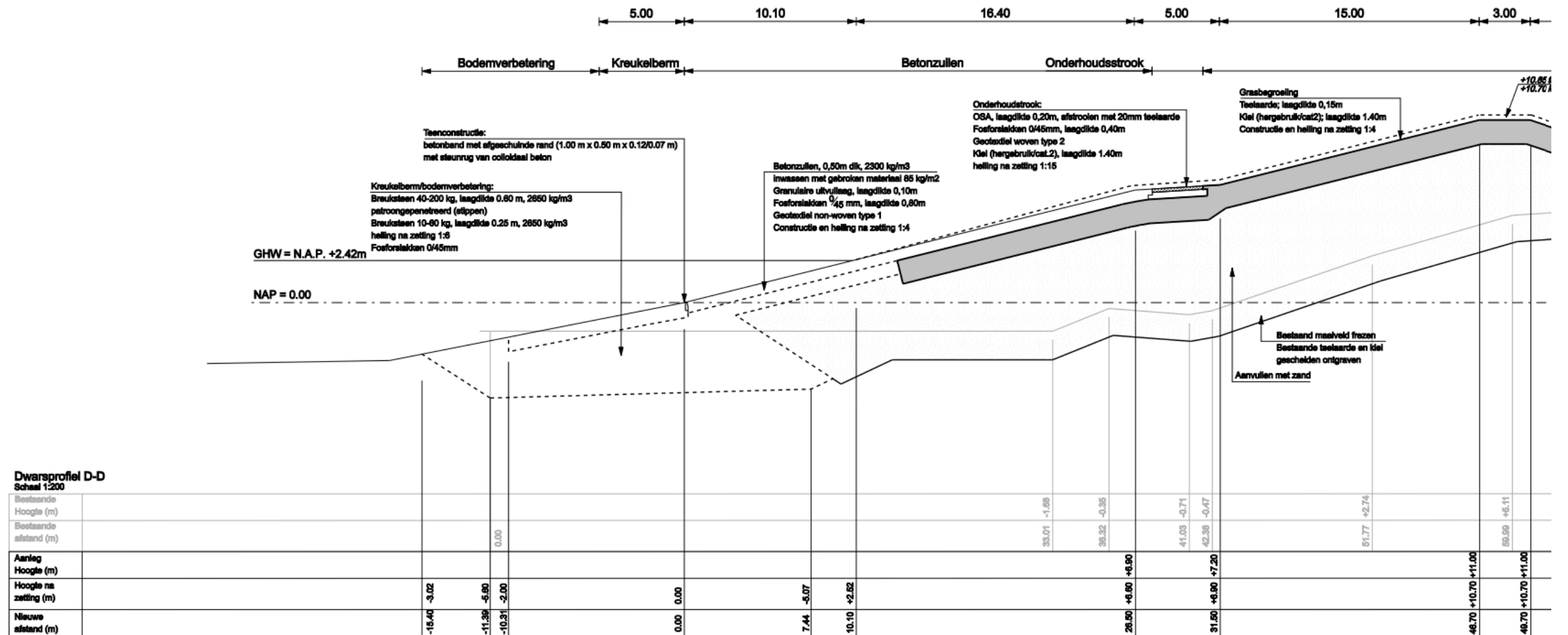


Fig. A-2, Dwarsprofiel van de proeflocatie met Hydroblocks, Royal Haskoning (2007).

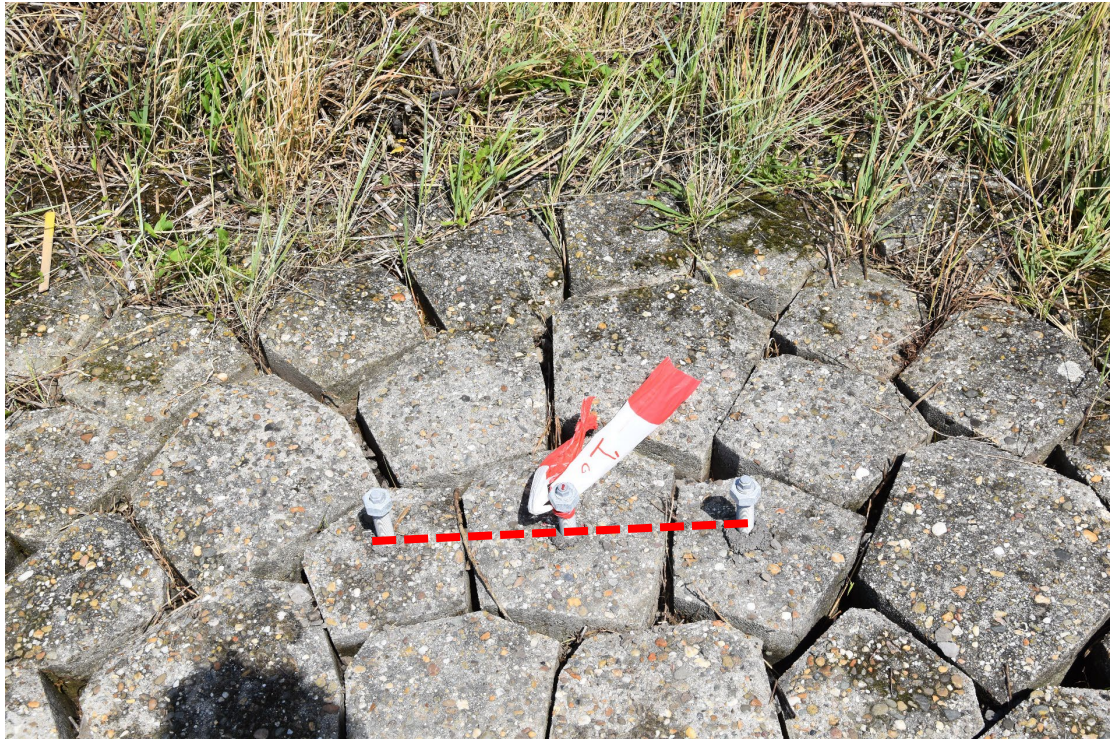


Fig. A-3, Foto van proeflocatie 1 'Basalton goed' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).

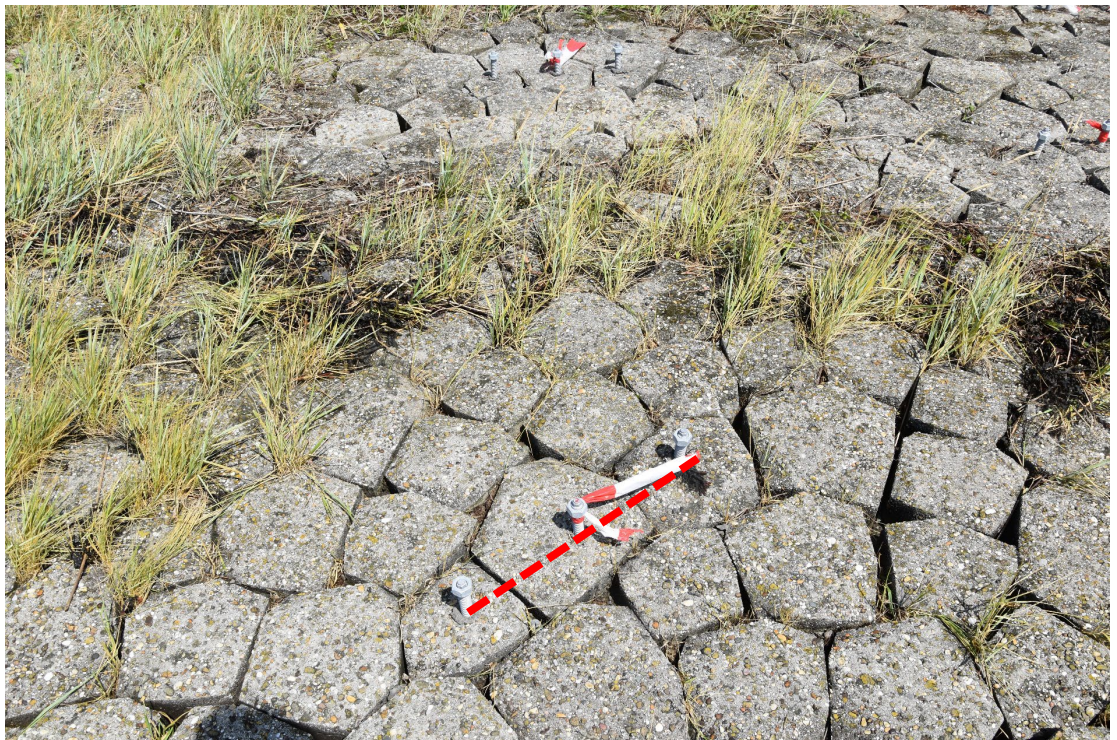


Fig. A-4, Foto van proeflocatie 2 'Basalton goed' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).



Fig. A-5, Foto van proeflocatie 1 'Basalton matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).



Fig. A-6, Foto van proeflocatie 2 'Basalton matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).

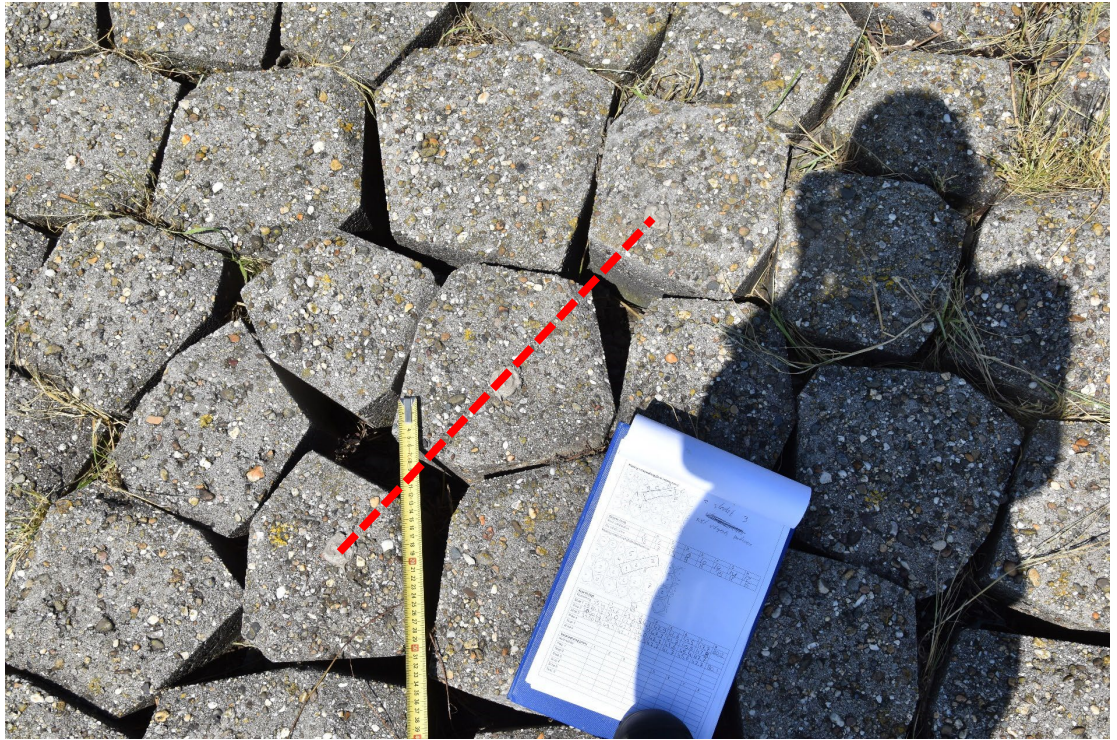


Fig. A-7, Foto van proeflocatie 3 'Basalton matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).



Fig. A-8, Foto van proeflocatie 4 'Basalton matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).

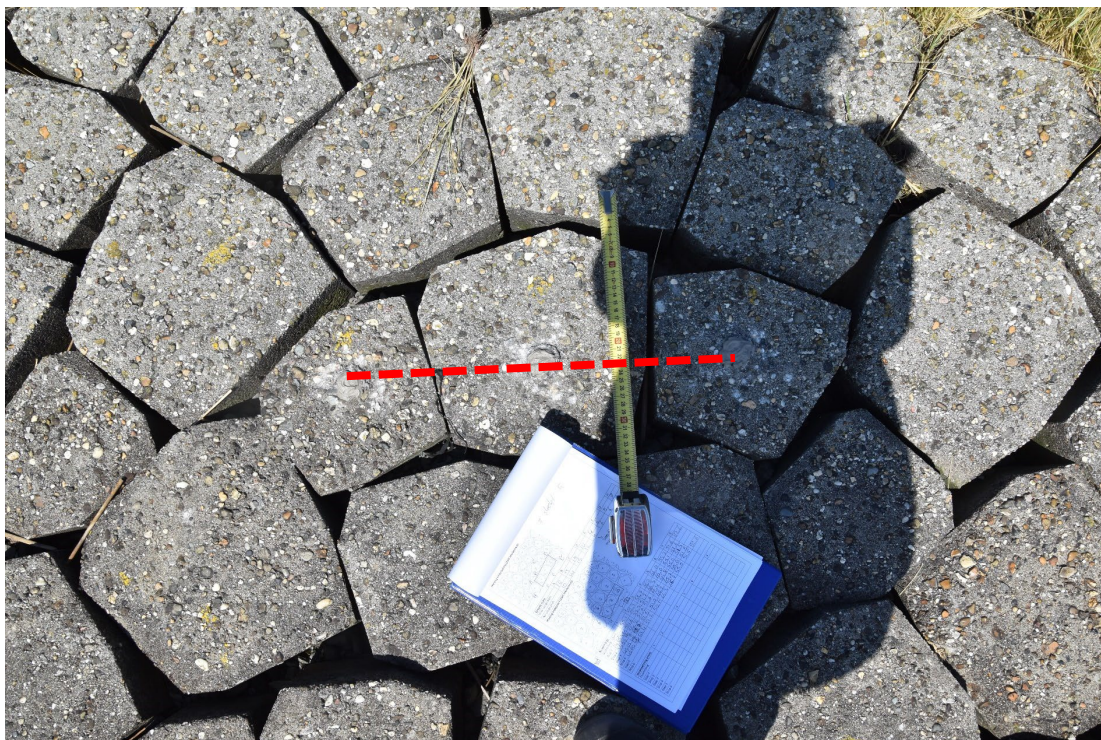


Fig. A-9, Foto van proeflocatie 5 'Basalton matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).



Fig. A-10, Foto van proeflocatie 6 'Basalton matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).



Fig. A-11, Foto van proeflocatie 7 'Basalton matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).

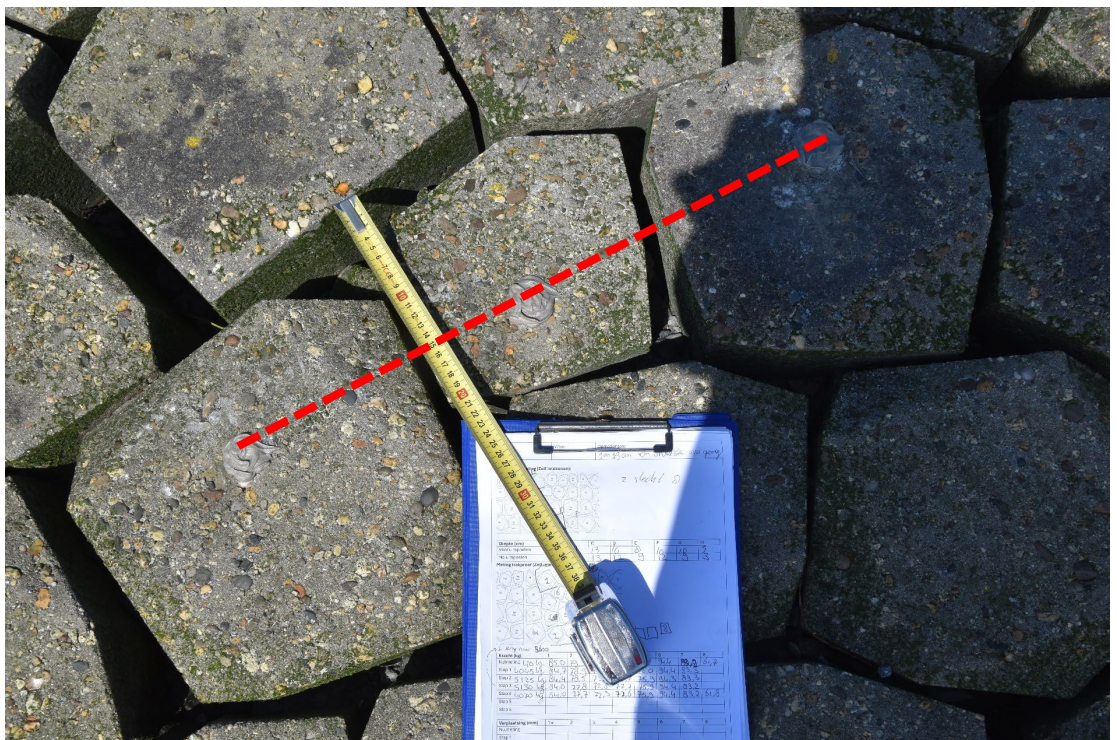


Fig. A-12, Foto van proeflocatie 8 'Basalton matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).

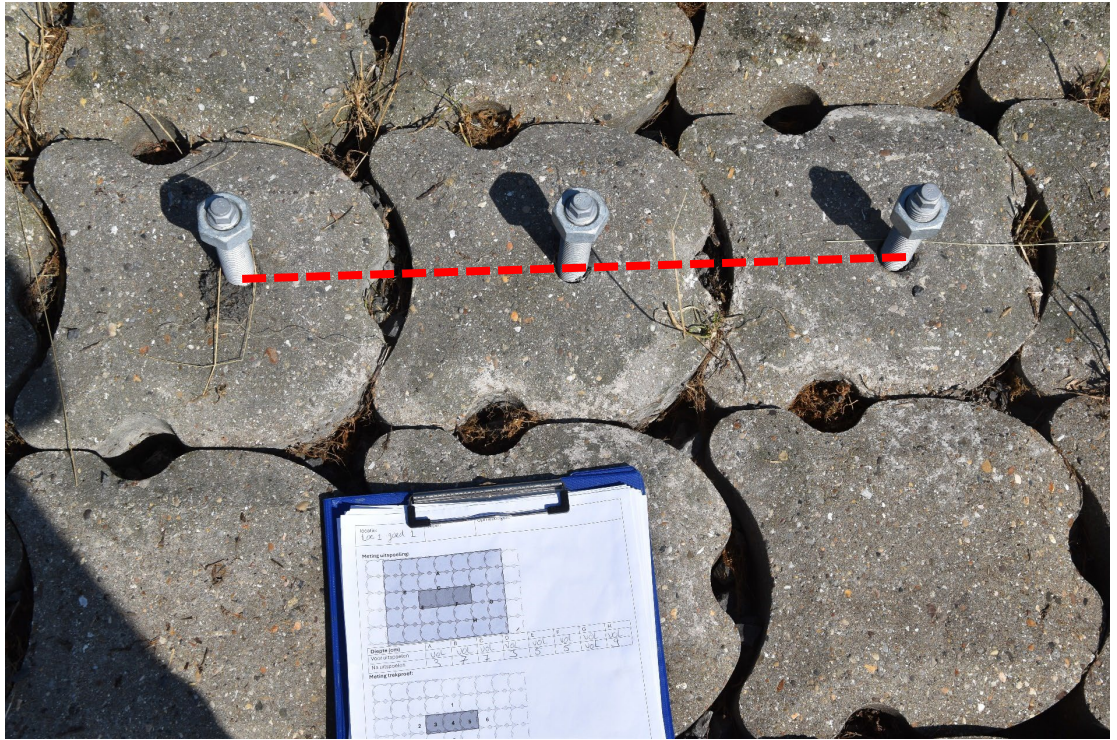


Fig. A-13, Foto van proeflocatie 1 'Hydroblocks goed' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).



Fig. A-14, Foto van proeflocatie 3 'Hydroblocks goed' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).



Fig. A-15, Foto van proeflocatie 1 'Hydroblocks matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).



Fig. A-16, Foto van proeflocatie 2 'Hydroblocks matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).

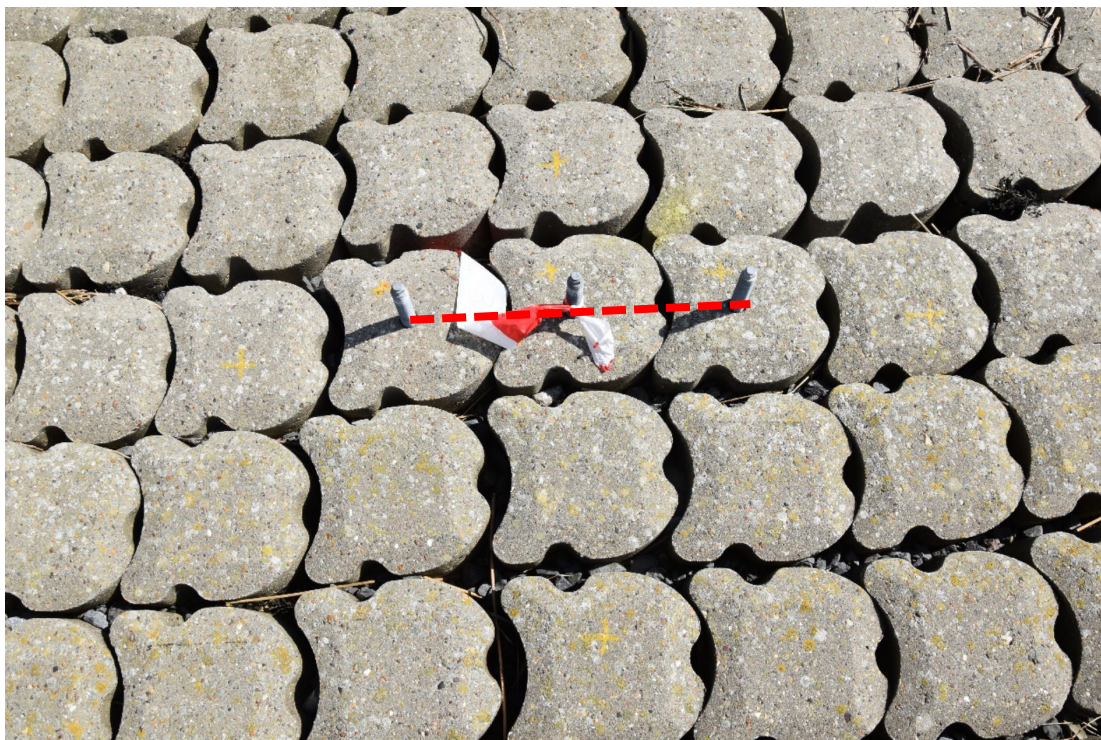


Fig. A-17, Foto van proeflocatie 3 'Hydroblocks matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).



Fig. A-18, Foto van proeflocatie 4 'Hydroblocks matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).



Fig. A-19, Foto van proeflocatie 5 'Hydroblocks matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).

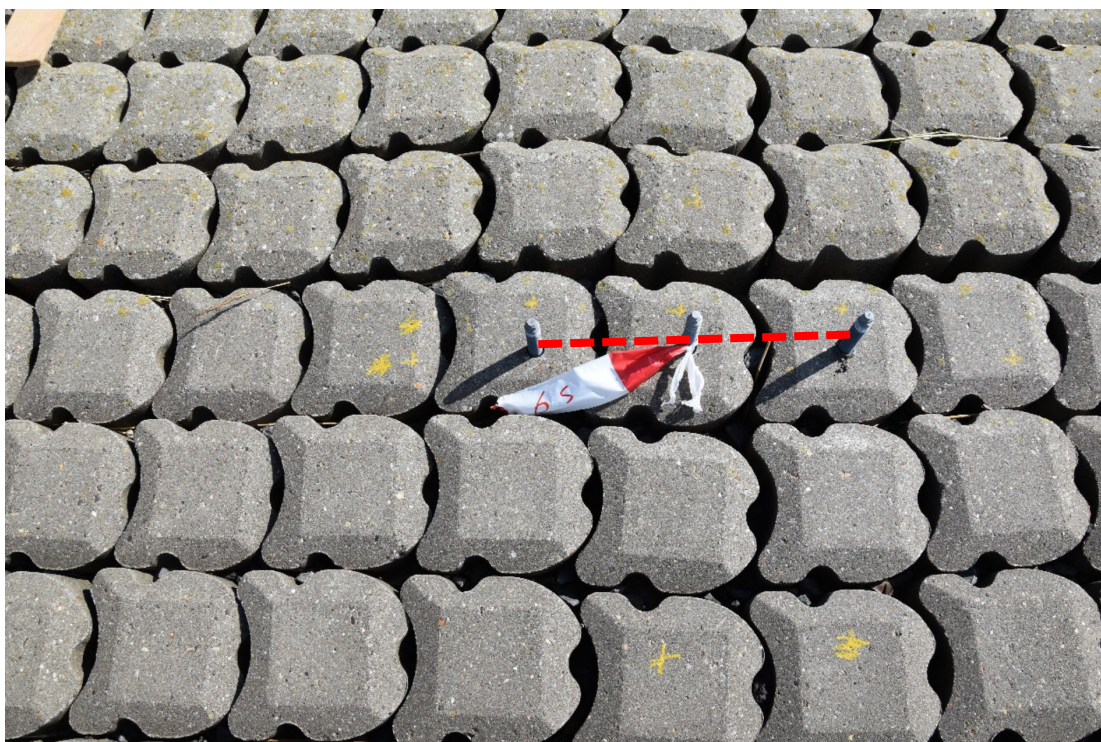


Fig. A-20, Foto van proeflocatie 6 'Hydroblocks matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).



Fig. A-21, Foto van proeflocatie 7 'Hydroblocks matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).

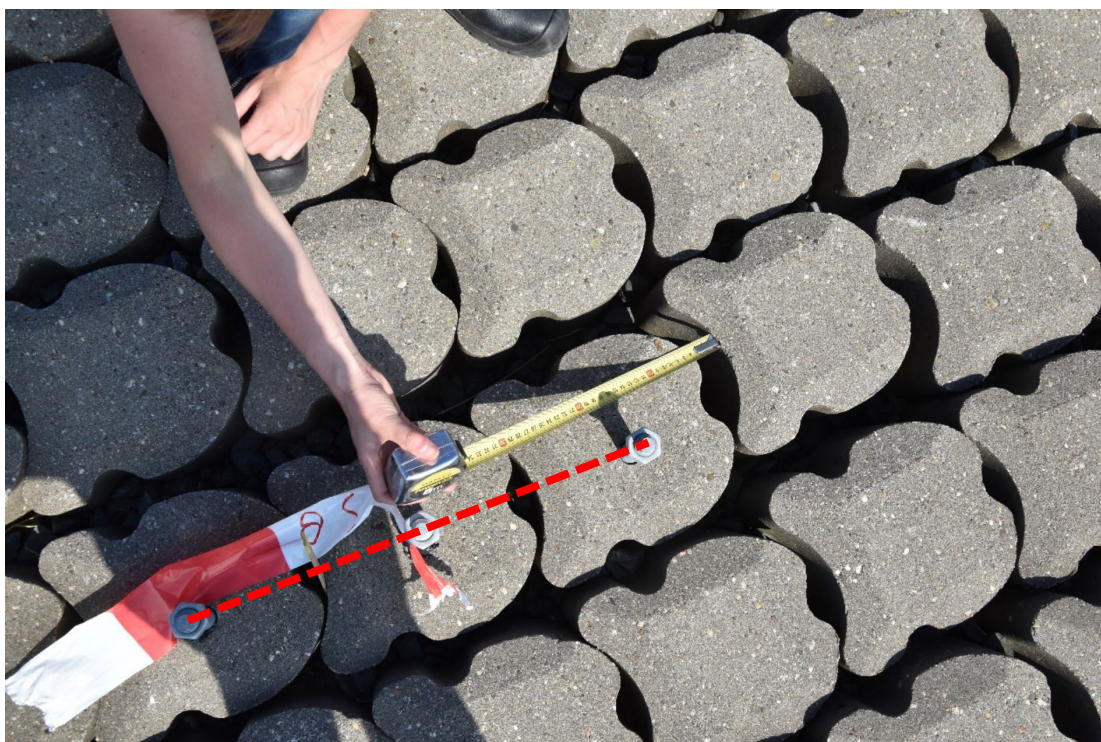


Fig. A-22, Foto van proeflocatie 8 'Hydroblocks matig' (rode stippellijn verbindt de getrokken stenen).

B Metingen uitspoeling

Deze bijlage geeft een samenvatting van de metingen die tijdens de uitspoelingsproeven zijn uitgevoerd.

Elke proef had 8 meetlocaties rond de te trekken stenen. Voor Hydroblocks konden dit steeds dezelfde locaties zijn (zie A t/m G in Fig. B-2). Voor Basalton moesten door het onregelmatige patroon steeds andere meetpunten gekozen worden, zie voorbeeld van meetpunten A t/m G in Fig. B-1.

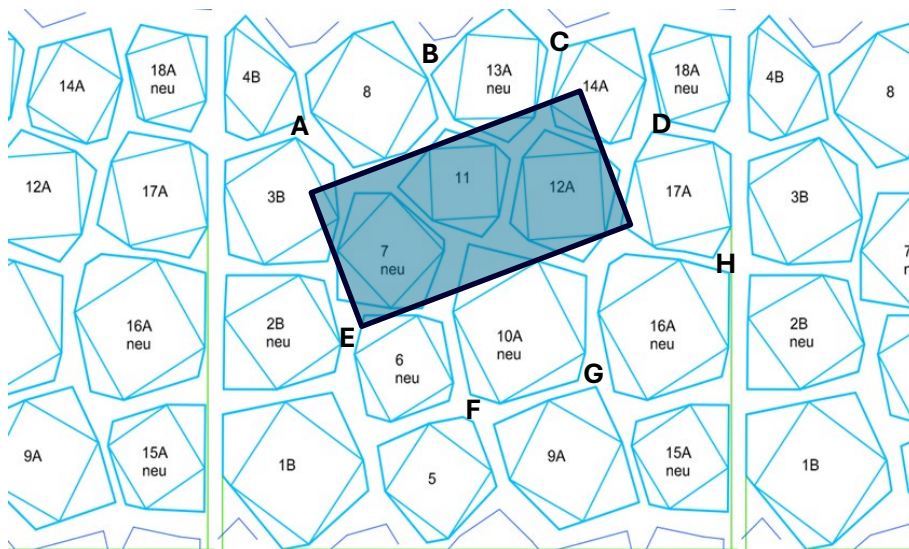


Fig. B-1, Voorbeeld van meetpunten voor uitspoelingsproeven Basalton.

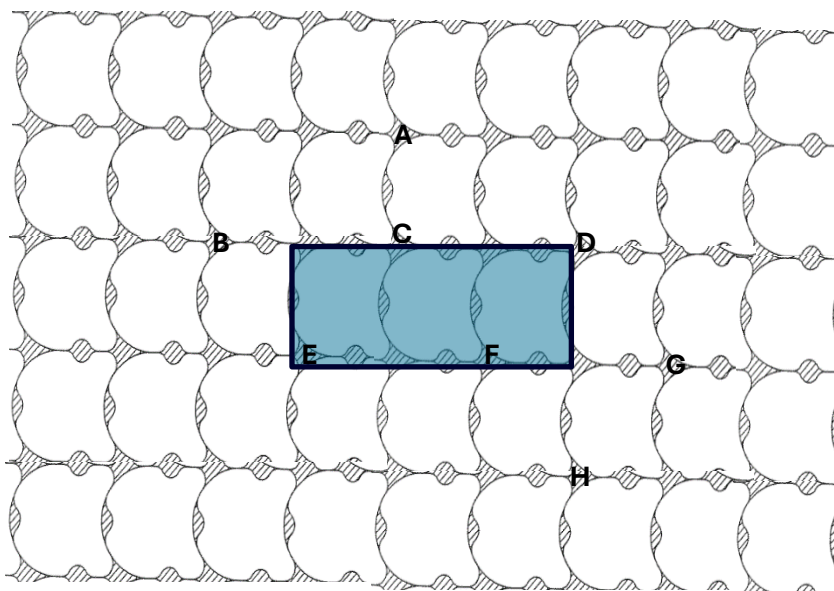


Fig. B-2, Meetpunten voor uitspoelingsproeven Hydroblocks.

In Tbl. B-1 t/m Tbl. B-4 staan de resultaten van de uitspoelingsproeven. De nummering van de proeven is gelijk aan de nummering die is aangehouden voor de trekproeven. De gegeven dieptes zijn de afstanden vanaf de rand van de zetsteen tot het inwasmateriaal tussen de

stenen. Dit is gemeten met een rolmaat. Zoals eerder benoemd is dit voor een acht tal stenen gemeten per proef. In de tabellen is het gemiddelde genomen van de acht meetpunten.

Tbl. B-1, Gemeten uitspoeling voor de goed gezette Basalton.

Proef	Gemiddelde diepte voor uitspoelen (cm)	Gemiddelde diepte na uitspoelen (cm)	Gemiddeld uitgespoeld (cm)
1	4	9	5
2	3	7	4
3	7	9	2
4	1	5	4
5	2	7	5
6	5	9	4
7	4	8	4
8	5	10	5
Gem.	4	8	4

Tbl. B-2, Gemeten uitspoeling voor de matige Basalton.

Proef	Gemiddelde diepte voor uitspoelen (cm)	Gemiddelde diepte na uitspoelen (cm)	Gemiddeld uitgespoeld (cm)
1	12	13	1
2	10	12	2
3	11	13	2
4	13	13	0
5	8	9	1
6	10	12	1
7	10	10	1
8	9	10	1
Gem.	10	12	1

Tbl. B-3, Gemeten uitspoeling voor de goed gezette Hydroblocks.

Proef	Gemiddelde diepte voor uitspoelen (cm)	Gemiddelde diepte na uitspoelen (cm)	Gemiddeld uitgespoeld (cm)
1	0	5	5
2	0	2	2
3	0	4	4
4	0	2	2
5	0	2	2
6	0	3	3
7	0	3	3
8	0	3	3
Gem.	0	3	3

Tbl. B-4, Gemeten uitspoeling voor de matige Hydroblocks.

Proef	Gemiddelde diepte voor uitspoelen (cm)	Gemiddelde diepte na uitspoelen (cm)	Gemiddeld uitgespoeld (cm)
1	5	5	0
2	8	8	0
3	7	7	0
4	10	10	0
5	7	6	0
6	8	8	0
7	11	11	0
8	6	8	2
Gem.	8	8	0

C Metingen trekproeven

Deze bijlage geeft de metingen van de uitgevoerde trekproeven. De afbeeldingen geven de locaties van de meetpunten aan. De tabellen bevatten steeds de gemeten kracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt. De cellen met een groene kleur zijn de metingen van de stenen waaraan werd getrokken. De middelste van de cellen met de groene kleur was steeds de middelste steen waaraan getrokken werd.

C.1 Basalton goed

Door het onregelmatige karakter van Basalton, en de wens om niet bij elke proef aan dezelfde stenen van een pakket te trekken, werden de meetpunten steeds op een andere plek gekozen. Fig. C-1 geeft een voorbeeld van hoe de meetpunten werden gekozen voor een proef. De trekkracht werd tijdens de proef stapsgewijs opgevoerd waarbij de meetpunten bij elke stap werden gemeten. De eerste drie meetpunten zijn voor elke proef de drie stenen waaraan werd getrokken. Meetpunten 4 tot en met 7 werden steeds om de te trekken stenen heen gekozen, en tenslotte was meetpunt 8 altijd een stuk verderop, als referentiemeting.

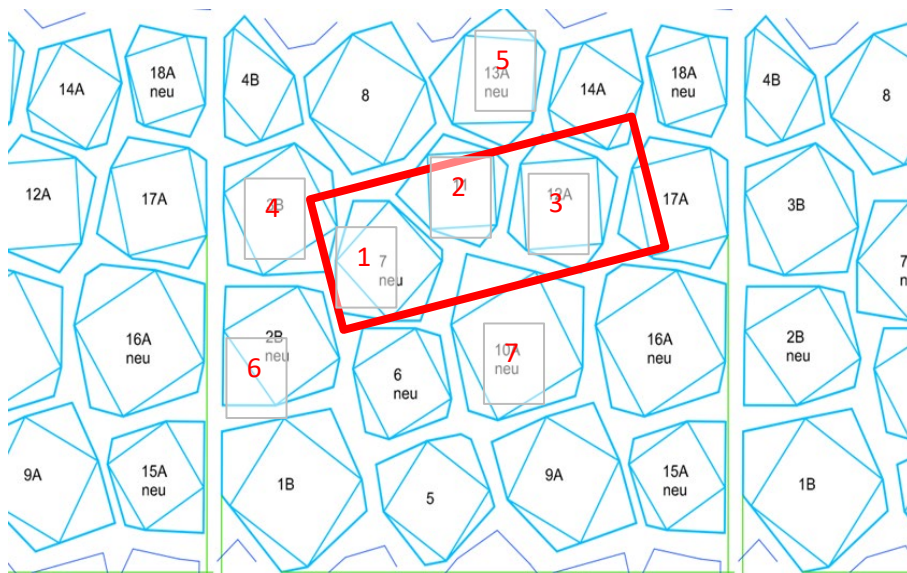


Fig. C-1, Voorbeeld van locaties meetpunten voor Basalton - 'Basalton goed' proef 3.

Tbl. C-1, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton goed' proef 1

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
45	0	0	0	0	0	0	0	0
1700	5	1	7	0	0	-3	1	0
1950	8	6	12	-1	0	-2	1	0
2100	11	7	11	-1	0	-1	1	0
2440	11	8	13	0	0	-1	4	0
2400	17	13	18	0	0	1	3	0

Tbl. C-2, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton goed' proef 2

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
55	0	0	0	0	0	0	0	0
3760	2	0	1	0	1	1	0	0
4400	7	4	3	1	2	2	1	0
6110	14	10	7	1	1	5	1	0
7920	18	14	11	3	3	9	2	0

Tbl. C-3, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton goed' proef 3

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
40	0	0	0	0	0	0	0	0
5540	2	1	1	0	0	0	0	0
3640	2	2	1	0	0	0	0	0
4750	6	6	4	1	5	0	2	0
6010	8	9	7	3	8	2	2	0
7100	25	21	19	1	2	-2	0	0

Tbl. C-4, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton goed' proef 4

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
50	0	0	0	0	0	0	0	0
4830	4	0	3	1	0	1	3	0
6220	5	2	6	2	3	1	4	0
7480	15	15	18	2	2	2	3	0

Tbl. C-5, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton goed' proef 5

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
65	0	0	0	0	0	0	0	0
2200	3	2	3	1	0	0	0	0
2250	6	3	5	1	1	0	1	0
2960	9	9	10	2	2	0	0	0
3480	12	7	14	5	2	0	0	0
5400	18	17	19	4	3	0	0	1

Tbl. C-6, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton goed' proef 6

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
45	0	0	0	0	0	0	0	0
4140	12	4	2	1	4	1	1	0
5280	15	10	9	1	4	2	2	0
6230	17	12	14	2	8	5	4	0
7420	20	16	17	4	9	7	6	0

Tbl. C-7, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton goed' proef 7

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
55	0	0	0	0	0	0	0	0
4080	0	1	1	0	0	1	0	0
5280	0	7	7	2	0	1	0	0
5120	2	8	9	1	1	2	0	0
6030	1	10	13	0	2	3	0	0

Tbl. C-8, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton goed' proef 8

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
25	0	0	0	0	0	0	0	0
2060	3	1	6	0	0	1	0	0
2260	7	8	10	1	2	1	-2	0
2050	17	16	19	1	2	1	-2	0

C.2 Basalton matig

Voor de Basaltonproeven met afwijkingen werden de meetpunten op dezelfde manier gekozen als voor de Basaltonproeven zonder afwijkingen, zie voorbeeld in Fig. C-1. De resultaten van de Basaltonproeven met afwijkingen zijn hieronder gegeven.

Tbl. C-9, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton matig' proef 1

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
45	0	0	0	0	0	0	0	0
1945	5	2	2	0	0	1	1	0
2520	10	5	5	1	0	2	1	0
2330	15	8	5	2	-1	1	1	0
2330	19	9	5	-1	0	2	0	0

Tbl. C-10, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton matig' proef 2

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
20	0	0	0	0	0	0	0	0
3085	6	6	5	1	5	-1	1	0
3420	6	9	9	0	5	0	0	0
4025	11	12	11	3	6	0	0	0

Tbl. C-11, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton matig' proef 3

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
55	0	0	0	0	0	0	0	0
2870	6	5	1	2	-1	0	-1	0
3060	13	8	1	2	0	1	0	0
3560	23	12	2	2	-1	-1	0	1

Tbl. C-12, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton matig' proef 4

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
20	0	0	0	0	0	0	0	0
2515	5	2	0	1	0	1	-1	0
3330	9	6	5	2	0	0	0	0
2650	12	10	9	0	0	-1	-1	0
2860	20	18	16	1	1	0	-1	1

Tbl. C-13, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton matig' proef 5

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2465	5	0	0	0	0	1	0	0
3565	9	4	1	-1	2	2	1	0
4015	14	8	7	1	3	2	1	0
4660	17	11	11	0	3	2	1	0

Tbl. C-14, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton goed' proef 6

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
30	0	0	0	0	0	0	0	0
2820	5	6	-6	1	1	2	0	0
3430	10	10	-2	1	0	1	0	0
3640	13	14	4	1	0	1	0	0
4005	17	18	6	1	1	1	1	0

Tbl. C-15, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton goed' proef 7

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
85	0	0	0	0	0	0	0	0
3260	2	1	1	1	0	1	0	0
3835	4	4	4	1	1	1	-1	0
4150	6	8	8	1	1	1	0	0
4675	7	11	12	2	1	0	1	0
4480	7	11	15	1	1	1	0	0
4860	8	16	20	2	1	1	0	1

Tbl. C-16, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Basalton goed' proef 8

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
40	0	0	0	0	0	0	0	0
4045	3	4	1	0	1	0	0	0
5125	6	8	5	0	2	1	0	0
5130	10	15	13	0	2	0	0	0
4070	10	16	18	0	2	0	0	-1

C.3 Hydroblocks goed

Voor de proeven op Hydroblocks werden bij elke proef dezelfde meetpunten aangehouden, zoals weergegeven in Fig. C-2. Er werd steeds aan meetpunt 3, 4 en 5 getrokken, deze zijn steeds groen gekleurd in de tabellen. De trekkracht werd tijdens de proef stapsgewijs opgevoerd waarbij de stenen waaraan getrokken steeds werden gemeten, en de omliggende stenen. Tenslotte werd er een meetpunt 8 gemeten, waar naar verwachting geen veranderingen zouden optreden, als referentie. Onderstaande tabellen geven de resultaten voor de proeven op de Hydroblocks zonder afwijkingen.

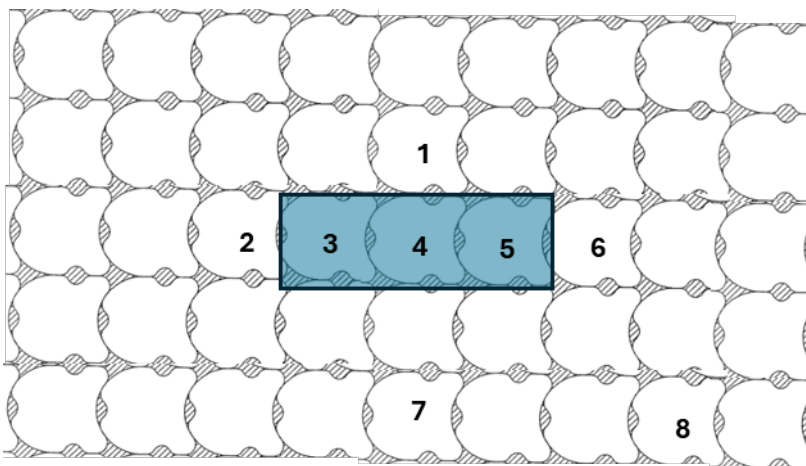


Fig. C-2, Meetpunten die aangehouden werden voor de proeven op Hydroblocks.

Tbl. C-17, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks goed' proef 1

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
30	0	0	0	0	0	0	0	0
1710	0	1	6	7	6	0	0	0
2560	0	3	10	11	12	2	-1	0
2820	0	6	16	17	18	2	-1	0
2560	0	6	7	19	21	2	-1	0

Tbl. C-18, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks goed' proef 2

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
15	0	0	0	0	0	0	0	0
1230	0	0	5	6	5	0	1	0
1380	0	2	9	10	10	1	0	0
1510	-1	2	13	14	14	0	0	0

Tbl. C-19, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks goed' proef 3

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
30	0	0	0	0	0	0	0	0
1435	1	1	5	4	4	1	0	0
1730	1	1	10	8	9	0	0	0
1980	0	1	15	11	14	0	0	0
2015	1	1	18	15	17	0	0	0

Tbl. C-20, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks goed' proef 4

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
55	0	0	0	0	0	0	0	0
1450	1	1	3	3	3	1	0	0
1680	1	1	5	5	5	1	0	0
1925	1	1	8	8	8	1	0	0
2040	1	1	11	11	12	1	0	0
2160	1	1	13	14	13	1	0	0

Tbl. C-21, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks goed' proef 5

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
25	0	0	0	0	0	0	0	0
1310	0	0	3	3	4	1	0	0
1520	0	4	4	5	6	1	0	0
1960	0	1	8	9	10	1	0	0
2050	0	2	11	10	12	1	0	0

Tbl. C-22, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks goed' proef 6

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
30	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	1	2	3	2	0	1	0
2310	1	2	3	6	5	1	1	0
2680	1	2	3	10	9	2	1	0
2755	1	3	4	12	9	1	1	0
2835	1	3	4	13	11	2	1	0

Tbl. C-23, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks goed' proef 7

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
50	0	0	0	0	0	0	0	0
1360	0	0	9	3	2	1	0	0
1840	2	0	12	7	6	1	0	0
1820	2	0	16	10	7	1	0	0
2540	2	0	18	13	11	3	0	0
2930	2	1	23	17	16	3	0	0

Tbl. C-24, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks goed' proef 8

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
25	0	0	0	0	0	0	0	0
750	0	1	1	5	0	11	-1	0
1200	0	1	3	6	0	11	-1	0
1395	0	2	6	10	0	10	0	0
1460	0	2	8	13	5	11	0	0
1515	0	2	17	15	9	11	0	0

C.4 Hydroblocks matig

Voor de proeven op Hydroblocks met afwijkingen werden de meetpunten op dezelfde manier gekozen als voor de proeven op Hydroblocks zonder afwijkingen, zie voorbeeld in Fig. C-2. De resultaten van de proeven op Hydroblocks met afwijkingen zijn hieronder gegeven.

Tbl. C-25, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks matig' proef 1

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
55	0	0	0	0	0	0	0	0
1805	3	0	6	7	12	0	0	0
2570	3	0	13	14	19	2	0	0
2730	3	0	19	20	25	6	0	0
2700	3	0	24	23	29	8	0	0

Tbl. C-26, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt – 'Hydroblocks matig' proef 2

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
30	0	0	0	0	0	0	0	0
1510	0	0	4	6	4	0	0	0
1735	0	0	8	13	10	0	0	0
2020	1	0	13	17	17	0	0	0
1900	1	0	16	19	18	0	0	0

Tbl. C-27, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks matig' proef 3

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
70	0	0	0	0	0	0	0	0
1560	0	0	5	5	5	1	0	0
2020	0	0	8	8	8	2	1	0
2180	0	0	14	12	13	2	1	0
2500	0	0	19	18	18	4	0	0

Tbl. C-28, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks matig' proef 4

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1580	0	2	3	4	6	1	0	0
1910	0	3	7	8	11	0	0	0
1610	0	3	11	12	15	0	0	0
1750	0	5	15	12	15	0	0	0

Tbl. C-29, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks matig' proef 5

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
50	0	0	0	0	0	0	0	0
2120	0	3	6	6	7	0	0	0
2520	1	2	9	8	10	0	-2	0
2665	1	4	12	11	13	0	-1	0
2945	1	4	15	15	16	0	-1	0

Tbl. C-30, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks matig' proef 6

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
55	0	0	0	0	0	0	0	0
1370	0	1	5	6	6	0	0	0
1690	0	2	10	10	10	0	0	0
1540	0	1	11	13	12	1	0	0
1920	0	2	15	17	18	1	0	0

Tbl. C-31, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks matig' proef 7

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
30	0	0	0	0	0	0	0	0
1175	0	0	6	5	6	0	1	0
1440	0	0	11	11	12	-1	1	0
1615	0	2	16	17	17	0	1	0
1780	0	2	20	20	21	1	1	0
1990	0	2	24	24	26	2	1	0

Tbl. C-32, Gemeten trekkracht in kgf en verplaatsing in mm per stap en per meetpunt - 'Hydroblocks matig' proef 8

Kracht (kgf)	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Meetpunt 5	Meetpunt 6	Meetpunt 7	Meetpunt 8
35	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	2	5	7	6	1	0	0
2175	1	2	7	9	9	1	0	0
2670	2	2	10	11	12	2	0	0
2930	2	4	13	16	15	4	0	0
3050	2	4	16	19	18	6	0	0
3320	2	5	20	23	23	6	0	0

D Foto's modelopstelling



Fig. D-1, Geplaatste ankerstangen.



Fig. D-2, Markering van locaties met lintjes.



Fig. D-3, Vervoeren van driepoot met wagen.



Fig. D-4, Verplaatsen van driepoot tussen de proeflocaties met een 2 tons kraan.



Fig. D-5, Bevestiging van hijsogen aan de ankers in de zetstenen.



Fig. D-6, proefopstelling, bevestigd aan de zetstenen.



Fig. D-7, Proefopstelling, bevestigd aan de zetstenen. Ook in beeld zijn de camera die op de unster gericht werd en kruislijnlasers die gebruikt werd voor de hoogtemetingen.



Fig. D-8, Meten van de afstand van de proeflocaties tot de overgang naar het asfalt.

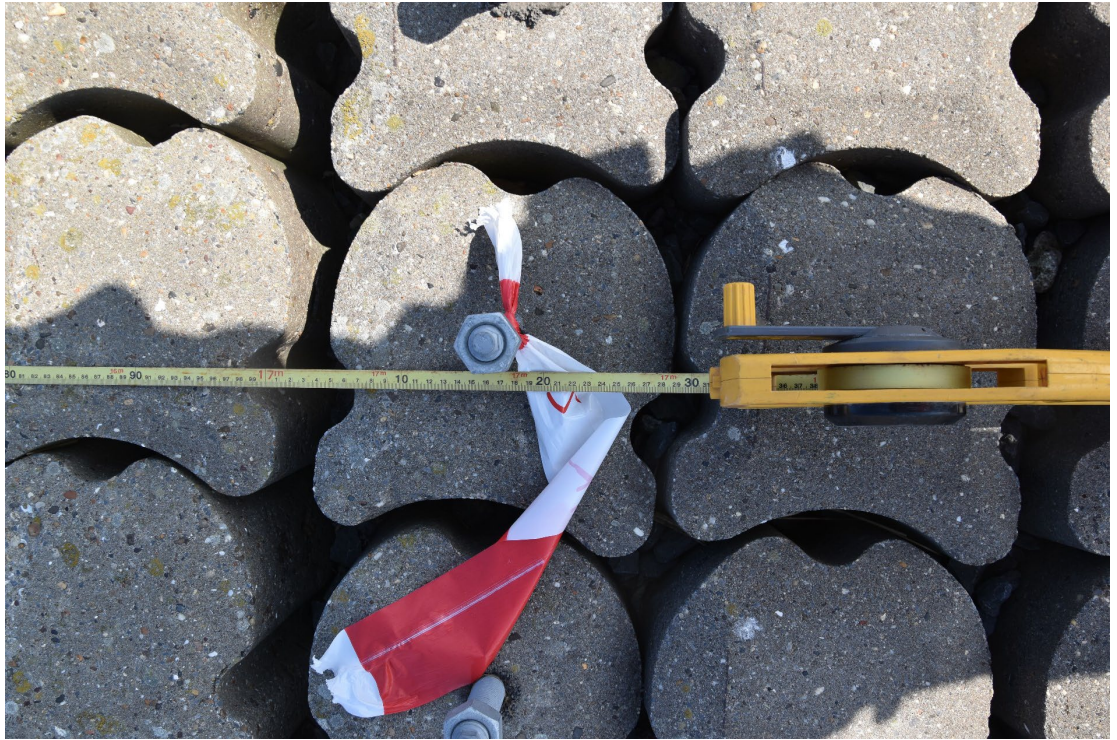


Fig. D-9, Meten van de afstand van de proeflocaties tot de overgang naar het asfalt. Ingezoomd.



Fig. D-10, Meten van de hoeveelheid uitspoeling tussen de zetstenen.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl