

Locatie-ontwerp

De locatie en indeling van een field-lab voor het testen van tijdelijke waterkeringen.



Alblasserdam, Juni 2022

Lourens Nobel

Student nr: 5115094

Begeleiders:

Ir. J.R. Moll

L. Schwidder

Ir. M.M. Rutten

Voorwoord

Ter afronding van de Bachelor Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft is deze scriptie geschreven. Het doel van het onderzoek, waar deze scriptie verslag van doet, is het vinden en ontwerpen van een field-lab locatie in Limburg, voor het testen en demonstreren van tijdelijke waterkeringen.

Graag wil ik mijn begeleiders, ir. J.R. Moll, L. Schwidder, en M.M. Rutten bedanken. Tijdens het proces hebben ze mij begeleid en waar nodig verder geholpen. Zij hebben mij terzijde gestaan met hun kennis en kunde, en hebben waar nodig hun contacten met mij gedeeld. Verder wil ik Juus Teensma bedanken (Waterschap Limburg), omdat hij mij in de gelegenheid gesteld heeft een field-lab mee te maken, zodat ik de praktische ervaringen ervan mee heb gekregen.

Lourens Nobel

TU Delft, Juni 2022

Samenvatting

Deze scriptie is gericht op het vinden van een field-lab locatie voor het testen en demonstreren van tijdelijke waterkeringen in Limburg. Onder andere tijdens de extreem hoge waterstanden in de zomer van 2021 zijn er veel zandzakken ingezet om het water te keren. Het plaatsen van de zandzakken is onder andere erg arbeidsintensief. Daarom hebben verschillende ondernemers alternatieve tijdelijke waterkeringen ontwikkeld.

Deze keringen zijn in veel gevallen al uitgebreid getest, maar in gecontroleerde omstandigheden. Om een praktijktest uit te voeren is een field-lab nodig. Andere bedrijven hebben tijdelijke waterkeringen die al jaren hun werk doen bij extreem hoog water. Deze bedrijven krijgen door een field-lab de gelegenheid om hun product te demonstreren aan potentiële klanten. Ook levert een field-lab media-aandacht op, wat de bekendheid van de geteste producten vergroot.

Waterschap Limburg heeft de Groene Rivier in Roermond aangewezen als field-lab locatie. Deze locatie is al vaker gebruikt als field-lab, en het waterschap wil dit in de toekomst als vaste field-lab locatie blijven gebruiken.

Na overleg met het waterschap en een ondernemer is besloten om in de field-lab locatie drie grondlichamen aan te brengen met verschillende grondsoorten. Hiermee is het mogelijk om keringen te testen op verschillende grondsoorten, om zo hun sterke en zwakke punten beter te leren kennen. Op de drie grondpakketten zal een stroomgoot gecreëerd worden met de tijdelijke waterkeringen, afgesloten door een afstelbare overlaat.

De watertoevoer zal gedaan worden door water uit de Roer te pompen, met pompen met een instelbaar debiet. De waterafvoer zal zijn door de Groene Rivier. De Groene Rivier is een overlooplocatie van de Roer, en kan dus dienst doen als afvoer.

Om de kwaliteit en objectiviteit van de beproevingen te waarborgen zullen het debiet en de waterhoogte op verschillende plaatsen in de stroomgoten gemeten worden. Hiermee kunnen ook de lekverliezen worden bepaald. Bovendien zal de arbeid en het materieel dat nodig is voor het opzetten van een tijdelijke kering worden bijgehouden, zodat ook op dit punt een vergelijking kan worden gemaakt.

Inhoud

Voorwoord.....	1
Samenvatting	2
1. Inleiding	4
2. Methode	5
3. Achtergrond.....	6
4. De tijdelijke waterkeringen	9
5. De testlocatie	13
6. Inrichting testlocatie	16
7. Resultaten en monitoring	19
8. Discussie en evaluatie	20
9. Conclusie en aanbevelingen	21
Bibliografie.....	23
Bijlage A: Samenvatting gesprek met Juus Teensma van Waterschap Limburg.....	24
Bijlage B: Samenvatting gesprek met Raymond Hofer van BoxBarrier op 17-5-2022.....	25
Bijlage C: plattegrond van de inrichting van de Groene Rivier.....	26

1. Inleiding

In samenwerking met enkele partners, zoals Waterschap Limburg en de universiteiten van Aken en Luik, doet TU Delft onderzoek naar tijdelijke waterkeringen. Door onder andere klimaat gerelateerde oorzaken, zoals hevige neerslag, ontstaan er situaties waarbij de rivieren in Nederland veel meer water moeten afvoeren dan het ontwerpdebiet. Bij extreem hoogwater, zoals in de zomer van 2021 in onder andere Limburg, worden traditioneel zandzakken gebruikt om waterkeringen te verzwaren en extra kerende hoogte te creëren. Het aanbrengen van de zandzakken is erg arbeidsintensief en ook erg duur. Het is dus wenselijk om over een alternatief keermiddel te beschikken bij extreem hoogwater.

Enkele aannemers hebben daarom alternatieve tijdelijke waterkeringen ontworpen. Deze kunnen getest worden in Flood Proof Holland, een testfaciliteit van TU Delft, maar ook een praktijktest is noodzakelijk. Bij een praktijktest zijn de omstandigheden minder optimaal dan in een testfaciliteit. Zo kunnen er bijvoorbeeld slechte plekken in de grond zitten, waardoor onderloopsheid ontstaat. In een testfaciliteit zal dit juist vermeden worden. Een ander voordeel van een praktijktest is dat media en omstanders meekrijgen wat er gebeurt. Dit demonstratie-effect kan in grote mate bijdragen aan de maatschappelijke haalbaarheid van een product. In het verleden zijn er al praktijktesten geweest in de Hedwigepolder en de Groene Rivier in Roermond. In samenwerking met Waterschap Limburg zal een testlocatie voor vervolgonderzoek bepaald worden. Ook moet de inrichting van deze testlocatie vastgesteld worden.

Tijdens het onderzoek zal de volgende onderzoeksvraag beantwoord worden:

“Welke locatie in Limburg is geschikt om tijdelijke waterkeringen te testen en te demonstreren, en hoe kan deze locatie optimaal worden ingericht?”

Deze onderzoeksvraag is te verdelen in de volgende subvragen:

1. Aan welke eisen moeten de te testen en te demonstreren waterkeringen voldoen?
2. Welke tijdelijke waterkeringen moeten worden getest en gedemonstreerd en welke eisen worden gesteld aan de testlocatie?
3. Welke locaties zijn er beschikbaar als testlocatie?
4. Wat is de inrichting van de testlocatie?
5. Welke resultaten worden verkregen uit de proeven?

Vanwege de beperkte (tijds)omvang van het Bachelor Eindwerk zal de locatie in eerste instantie alleen in Limburg gezocht worden, en niet bijvoorbeeld in het grensgebied van Duitsland of België.

In hoofdstuk 2 is de methode gegeven die gebruikt is om tot een resultaat te komen. In hoofdstuk 3 is de achtergrond van het project besproken. Hierna worden de verschillende varianten die er zijn op het gebied van tijdelijke waterkeringen behandeld in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 behandelt de testlocatie, waarna in hoofdstuk 6 de inrichting beschreven wordt. In hoofdstuk 7 wordt een aanzet gegeven voor het monitoringsplan. In hoofdstuk 8 wordt het proces en de scriptie geëvalueerd, waarna in hoofdstuk 9 de conclusie gegeven wordt, met daarbij waar nodig de aanbevelingen.

2. Methode

Per deelvraag zal de methode behandeld worden die gebruikt is om tot een conclusie te komen. Globaal zal de volgende methode worden gevolgd. Na gesprekken met Waterschap Limburg, enkele ondernemers en studenten zullen de eisen, wensen en ideeën die hieruit komen leiden tot een locatie en inrichting van een testlocatie.

Deelvraag 1

Om tot een verzameling van eisen aan de tijdelijke waterkeringen te komen zal tijdens de gesprekken met ondernemers en het waterschap ook dit onderwerp ter sprake gebracht worden. Bovendien zal in rapporten van eerdere proeven in het kader van dit project gezocht worden naar eisen. Bovendien zal een analyse van die proeven gemaakt worden, zodat eerder gemaakte fouten of onzorgvuldigheden dit keer voorkomen kunnen worden.

Deelvraag 2

Om deze deelvraag te kunnen beantwoorden zal contact worden gelegd met de ondernemers die hun tijdelijke waterkering willen testen. De begeleider zal het contact leggen, waarna een afspraak kan worden ingepland. In dit gesprek zal de aannemers gevraagd worden kort de werking van hun product uit te leggen, waarna de eisen die hun waterkering stelt aan de proeflocatie zullen worden doorgenomen. Verder zullen de vorige proeven in de Hedwigepolder en de Groene Rivier in Roermond geanalyseerd worden, zodat fouten die hier gemaakt zijn voorkomen kunnen worden. Relevante literatuur over tijdelijke waterkeringen en eerder proeven hiermee zal worden verzameld en geanalyseerd.

Deelvraag 3

Er zal contact worden gezocht met het waterschap Limburg. Na een introductie door de begeleider zal ook hiermee een afspraak worden ingepland. Naar aanleiding van de resultaten van deelvraag 1 zullen mogelijke testlocaties bepaald worden. De testlocaties zullen getoetst worden aan de eisen uit deelvraag 1, waarna een definitieve locatie zal worden bepaald.

Deelvraag 4

Nu de locatie bepaald is kan worden overgegaan tot het bepalen van de inrichting van de testlocatie. Aan de hand van het terrein en de te testen waterkeringen kan de testopstelling worden bepaald. Hierbij kan onder andere gedacht worden aan:

- De toe- en afvoer van water;
- De toe- en afvoer van de waterkeringen;
- Eventuele aan te leggen grondlichamen;
- De opstelling van de tijdelijke waterkeringen.

Deelvraag 5

Nadat de inrichting van het terrein bekend is kan in het laatste deel van de afstudeerperiode bepaald worden welke metingen en monitoring er gedaan kan worden om numerieke resultaten te krijgen. Eventueel kan de inrichting van het terrein worden aangepast aan de monitoring, zodat zoveel mogelijk gegevens verkregen worden.

3. Achtergrond

Algemeen

In samenwerking met enkele partners, zoals Waterschap Limburg en de universiteiten van Aken en Luik, doet TU Delft onderzoek naar tijdelijke waterkeringen. Door onder andere klimaat gerelateerde oorzaken, zoals hevige neerslag, ontstaan er situaties waarbij de rivieren in Nederland veel meer water moeten afvoeren dan het ontwerpdebiet. Bij extreem hoogwater, zoals in de zomer van 2021 in onder andere Limburg, worden traditioneel zandzakken gebruikt om waterkeringen te verzwaren en extra kerende hoogte te creëren. Het aanbrengen van de zandzakken is erg arbeidsintensief en er zijn er ook erg veel nodig om een waterkering effectief te versterken. Daarom wordt er onderzocht of er een efficiëntere oplossing is om waterkeringen tijdelijk te versterken. Deze wordt gezocht bij het ontwikkelen van alternatieve keermiddelen.

Werking zandzakken

Allereerst is het van belang de werking van zandzakken als tijdelijke waterkering te analyseren. Zandzakken hebben zich door de eeuwen heen als betrouwbare tijdelijke waterkering bewezen. Zie bijvoorbeeld de watersnoodramp in 1953, waarbij massaal zandzakken zijn ingezet.

Het ontwerp van de ideale zandzak is gericht op het zo effectief mogelijk benutten van de benodigde arbeidskracht. Dit houdt in dat een optimum gevonden is tussen het zo snel mogelijk installeren van de waterkering, waarbij de krachten van de arbeiders zoveel mogelijk gespaard worden, zodat ze zolang mogelijk kunnen doorwerken. Bovendien is een volle zandzak te vormvast, waardoor er teveel openingen ontstaan. Hierdoor zou het water weg kunnen stromen. (WIKI-noodmaatregelen, 2016)

De voordelen van zandzakken zijn:

- per stuk ze zijn goedkoop;
- er zijn er veel voorhanden;
- er wordt alleen natuurlijk materiaal gebruikt;
- ze zijn erg modulair.

Nadelen zijn:

- het vullen, plaatsen en ruimen van de zandzakken is erg arbeidsintensief;
- er is veel transport nodig om het zand naar de juiste plek te brengen.

Voorgeschiedenis van het project

Om tot een alternatief keermiddel te komen is er een onderzoek gestart. Verschillende ondernemers hebben alternatieve waterkeringen bedacht. Een aantal hiervan zijn getest in zes bassins van Flood Proof Holland (Kreijns, z.d.), waarbij de effectiviteit onder laboratoriumomstandigheden is bewezen. Hierna zijn er testen gedaan in de Hedwigepolder en ook in Limburg (Damen, maart 2022). Bij de laatste zijn vier typen keringen getest: de BoxBarrier, de Geodesign Barrier, de Mobiele Dijk en de Slamdam (KNW, 2022). Deze keringen hebben hier in een realistische situatie bewezen dat ze geschikt zijn voor gebruik. Mede op basis van dit resultaat heeft Waterschap Limburg al een subsidieaanvraag gedaan bij Interreg (Waterschap Limburg et al., 2022) voor de aanschaf van alternatieve tijdelijke waterkeringen. De proef die het onderwerp van dit rapport is, is het vervolg op dit project.

Behalve het bewijzen van de werking van de tijdelijke waterkeringen hebben de experimenten nog een ander doel. Doordat de proeven goed zichtbaar waren voor bijvoorbeeld omstanders en media was er, zeker bij de proef in Limburg, een groot demonstratie-resultaat. Dit vergroot de naamsbekendheid en daardoor de maatschappelijke haalbaarheid van de producten en dus ook de

kans dat de producten daadwerkelijk op grote schaal ingezet gaan worden bij extreem hoogwater (Limburg, 2022).

Analyse van vorige field-labs

Uit vorige field-lab experimenten, zoals in de Hedwigepolder en de Groene Rivier (Damen, maart 2022) is gebleken dat veel faalmechanismen ontstaan door onderloopsheid van de tijdelijke waterkeringen. Zie bijvoorbeeld het falen van de BoxBarrier in de Groene Rivier in Figuur 1. Onderloopsheid kan ontstaan doordat de effectieve druk in de grond te hoog wordt, of doordat de grond niet goed verdicht is.



Figuur 1: Falen door onderloopsheid van de BoxBarrier in de Groene Rivier.

Dit kan grote gevolgen hebben voor de ondernemer achter de tijdelijke waterkering. Een van de doelen van de field-labs is het demonstreren van de tijdelijke waterkeringen, in de eerste plaats aan de opdrachtgever, maar in de tweede plaats ook aan de media, en daardoor aan het grote publiek. Voor de genoemde BoxBarrier was dit zelfs het hoofddoel van de ondernemer, zie Bijlage B. In dit geval kwam nu in het nieuws dat de BoxBarrier doorgebroken was. Dit is eerder negatieve dan positieve reclame. Het had nu dus beter geweest voor de ondernemer om niet mee te doen dan om wel mee te doen. Dit is niet de bedoeling van een field-lab.

In het geval van de BoxBarrier is de situatie ontstaan doordat de opdrachtgever vroeg of de waterkering overtopt kon worden. Zonder maatregelen kon dit niet, maar met aanvullende maatregelen, zoals het plaatsen van zandzakken op de BoxBarrier, zou het wel kunnen. Dit is ook te zien in Figuur 1, waar het gedeelte waar de zandzakken op de BoxBarrier lagen niet is doorgebroken of onderloops werd. Zonder aanvullende maatregelen kan de BoxBarrier maximaal 50 centimeter water tegenhouden.

De ondernemer achter de BoxBarrier heeft later aangegeven het storend te vinden dat andere waterkeringen niet overtopt zijn. De ondernemer gaf aan dat het nu in de media lijkt alsof zijn waterkering het slechtst heeft gepresteerd. Dit terwijl de BoxBarrier volgens hem in werkelijkheid beter heeft gepresteerd dan de andere waterkeringen, maar dat de BoxBarrier daarna overbelast is. Hij voelde zich niet gelijk behandeld. Dit zorgt voor wrijving tussen verschillende partijen.

Als laatste vond de ondernemer dat er te weinig pompen waren geleverd door het Waterschap. Daardoor duurde het lang om de BoxBarrier elementen te vullen.

Leerpunten uit vorige field-labs

Uit bovenstaande situatie kunnen een aantal leerpunten gehaald worden:

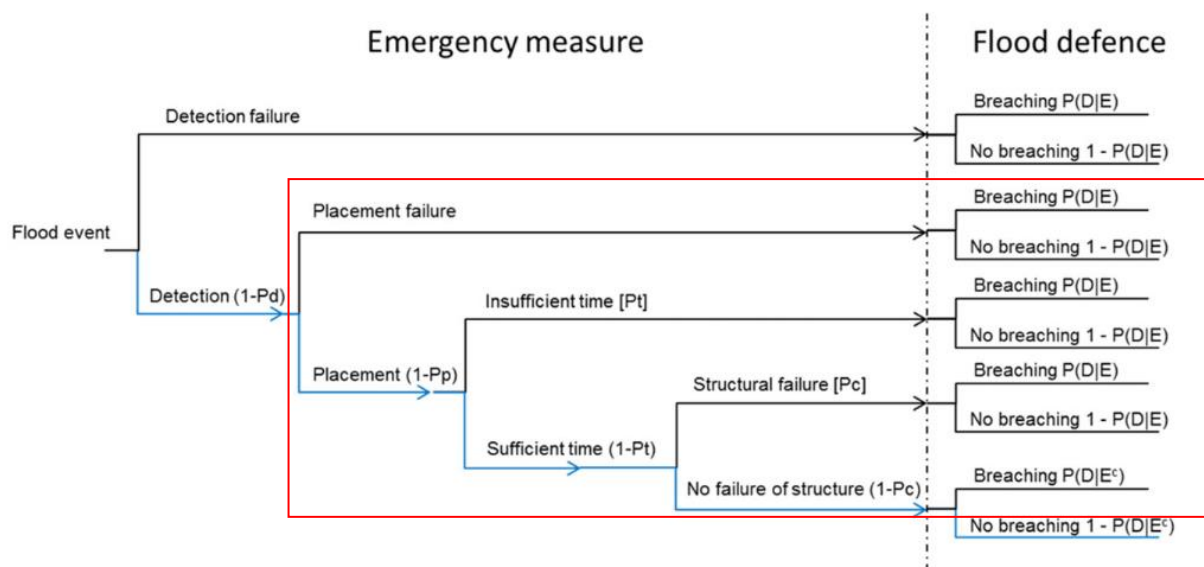
- de ondergrond moet van een gewenste kwaliteit zijn. Een proef is namelijk al bij voorbaat mislukt als bijvoorbeeld de grond niet geconsolideerd is, doordat er niet genoeg tijd genomen is om dit te laten plaatsvinden;
- al bij de aanbesteding moet voor alle partijen duidelijk zijn hoe het field-lab in zijn werk zal gaan. Duidelijk moet zijn waarop en op welke wijze de waterkeringen beproeft zullen worden. Daardoor is van tevoren duidelijk aan welke eisen de waterkeringen moeten voldoen en kunnen ondernemers eventuele aanvullende maatregelen voorbereiden. Bovendien wordt al van tevoren mogelijk om een gesprek te voeren over de wijze van beproeving;
- van tevoren moet met de deelnemende ondernemers vastgelegd worden welke media-aandacht gewenst is en wat wel en niet naar buiten gebracht mag worden over het field-lab. Dit schept helderheid en voorkomt dat het field-lab zijn doel voorbijschiet en onverwachts negatieve media-aandacht veroorzaakt;
- alle keringen moeten aan dezelfde testen worden onderworpen. Dit zorgt ervoor dat alle ondernemers zich eerlijk behandeld voelen en dat er geen wrijving ontstaat tussen deelnemende partijen;
- van belang is dat van tevoren duidelijk is welke monitoring gedaan wordt en dat alles hiervoor klaarstaat. Dit brengt objectiviteit in de testen, en daardoor kan het voor een potentiële afnemer, zoals Waterschap Limburg, makkelijker zijn om de verschillende varianten te vergelijken. Hierdoor kan een betere keuze gemaakt worden;
- er moet voldoende materieel, zoals pompen, aanwezig zijn, zodat ook met het opzetten een realistische situatie kan worden nagebootst.

4. De tijdelijke waterkeringen

Hier worden de te testen tijdelijke waterkeringen behandeld. De eisen aan de waterkeringen worden behandeld en voorbeelden van waterkeringen worden gegeven. De daadwerkelijke aanbesteding moet nog plaatsvinden, dus het is niet nog mogelijk om de waterkeringen te behandelen die meedoen aan field-lab experiment.

Eisen aan tijdelijke waterkeringen

Tijdens een extreme situatie zijn er grotere risico's dan anders. De volgende onderverdeling van de risico's kan worden gemaakt, het gedeelte binnen de rode rechthoek is relevant voor de tijdelijke waterkeringen:



Figuur 2: Onderverdeling van de risico's in een noodsituatie (Lendering, Jonkman, & Kok, 2015).

In deze paragraaf zullen de eisen aan de tijdelijke waterkeringen behandeld worden. Naar aanleiding van onder andere testen in de Hedwigepolder zijn er criteria opgesteld waaraan een tijdelijke waterkering moet voldoen (Damen, maart 2022). Ook heeft de STOWA een keuzemodel opgesteld (STOWA, 2008) waarin eisen worden genoemd aan tijdelijke waterkeringen. Uit beide documenten kan Tabel 1 worden samengesteld:

Tabel 1: Eisen aan tijdelijke waterkeringen.

Placement Failure	1. Materiaal	Er moet voldoende van de tijdelijke waterkering beschikbaar zijn voor directe inzet.
		Het aanwezige materiaal moet in goede staat zijn.
	2. Mankracht	Voldoende vast personeel moet aanwezig en paraat zijn.
		Stand-by personeel moet paraat zijn en snel in actie kunnen komen.
		Het personeel, vast en stand-by, moet voldoende zijn opgeleid.
		Er moet een protocol beschikbaar zijn over hoe de kering geplaatst moet worden.
		Er moet jaarlijks geoefend worden met het plaatsen van de kering.

Insufficient time	3. Transport	De mobiele waterkering moet snel op- en af te laden zijn.
		Er moet voldoende reservematerieel zijn.
		De afmetingen van de waterkering moeten dusdanig zijn dan doorrijhoogtes en dergelijke geen probleem vormen.
		Er moeten zo min mogelijk transportvoertuigen nodig zijn voor het transport.
		Het gewicht van de kering moet proportioneel zijn tot de wijze van plaatsen, handmatig of machinaal. Hierbij heeft handmatig de voorkeur in verband met inzetbaarheid.
	4. Tijdsaspecten	Tijd benodigd voor laden kering moet zo min mogelijk zijn.
		Tijd benodigd voor lossen kering moet zo min mogelijk zijn.
		Tijd benodigd voor opzetten kering moet zo min mogelijk zijn.
	5. Opbouw	Het personeel is voldoende geoefend in het snel plaatsen van de kering.
		Er zijn voldoende hulpmiddelen beschikbaar.
		De kering is makkelijk in elkaar te zetten.
		Er is zo min mogelijk materieel nodig, zoals kranen of heftrucks, om de kering in elkaar te zetten.
		Er zijn zo min mogelijk nutsvoorzieningen nodig, of nutsvoorzieningen zijn snel en eenvoudig in te zetten, ook op onbereikbare locaties.
Structural failure	6. Sluitingsprocedure	De waterkering wordt 1 à 2 maal per jaar (en na een inzet) getest en/of nagekeken op kapotte onderdelen.
		Indien een aandrijvingssysteem of nutsvoorziening benodigd is: er moet voldoende reservemateriaal aanwezig zijn (vervangend systeem).
		De kering moet adaptief inzetbaar zijn, al naar gelang lokale omstandigheden.
		De kering moet aansluitbaar zijn op naastgelegen kerende elementen.
	7. Sterkte/stabiliteit	Voor de aanschaf moet de kering bewezen hebben voldoende sterkte en stabiliteit te hebben op het gebied van alle voorkomende faalmechanismen, zoals bezwijken door overtoppen, piping, onvoldoende sterkte in de kering zelf, etc. Bij voorkeur is de kering gecertificeerd met een gepaste certificering.
Kosten	8. Financieel	De aanschaf-, onderhouds- en inzetkosten moeten laag zijn.
	9. Milieu	De onderdelen in de kering moeten herbruikbaar zijn.
		De inzet moet gepaard gaan met weinig milieubelasting, zoals uitstoot van CO ₂ .

Voorbeelden van tijdelijke waterkeringen

Enkele uiteenlopende voorbeelden van tijdelijke waterkeringen zullen worden behandeld, om inzicht te geven in de werking van de keringen. Hierdoor wordt duidelijk wat de mogelijkheden en onmogelijkheden zijn van de keringen. Dit kan het resultaat van de field-labs aanzienlijk verbeteren. Na het field-lab kan voor iedere kering Tabel 1 worden ingevuld, zodat een vergelijking kan worden gemaakt. Omdat de aanbesteding ten tijde van het schrijven van dit rapport nog niet is gedaan, hoeven dit niet de deelnemende keringen te zijn.

BoxBarrier

Een voorbeeld van een tijdelijke waterkering is de genoemde BoxBarrier. Deze kering bestaat uit gele, vierkante dozen die tegen elkaar aangezet kunnen worden. Tussen de dozen zit nog een element dat de dozen met elkaar verbindt, zodat zwakke elementen hun kracht aan het element ernaast kunnen ontleenen. In principe kan een BoxBarrier een halve meter water keren.

Het systeem ontleent zijn kracht aan het water. Doordat de dozen gevuld worden met water, wordt de BoxBarrier zwaar genoeg om het water te keren. Indien de BoxBarrier alleen niet genoeg is, kunnen aanvullende maatregelen genomen worden, zoals het plaatsen van een doos op de tweede rij, het verzwaren van de kering met bijvoorbeeld zandzakken, of het aanbrengen van folie op de ondergrond tegen onderloopsheid, zie Figuur 3. De BoxBarrier is dus een flexibele kering die nagenoeg overal kan worden ingezet waar.

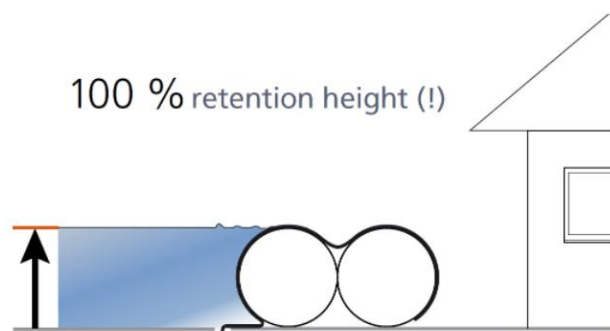


Figuur 3: De BoxBarrier met en zonder aanvullende maatregelen.

De kering is uitvoerig getest door, naast Flood Proof Holland (Kreijns, z.d.), ook Royal BAM Group (NWP, 2021). Bovendien heeft de kering zichzelf al op veel plaatsen in de praktijk bewezen, zoals in Zwijndrecht en Boston, zie Bijlage B.

Mobiele dijken

Een andere variant van een systeem om het water tijdelijk te keren is een watergevulde slang. Een voorbeeld hiervan is de mobiele dijk (Mobiele Dijken Nederland B.V., 2016). Dit systeem bestaat uit twee of drie slangen, gevuld met water. Dit zijn de elementen die voor het gewicht zorgen. Hieromheen zit een net, dat de slangen bij elkaar houdt en de krachten van bijvoorbeeld bochten spreidt over een



Figuur 4: Principe Mobiele Dijk (Mobiele Dijken Nederland B.V., 2016).

groter oppervlak. Als derde wordt een met een ketting verzwaard afdichtingszeil gebruikt. Hiermee wordt de waterkering waterdicht gemaakt. Doordat er water op het zeil komt te staan, wordt de Mobiele Dijk verzwaard, naarmate er meer water op komt te staan. Zie Figuur 4 voor een grafische uitleg. Daardoor kan een mobiele dijk altijd overtopt worden. De Mobiele Dijk zal dan niet bezwijken. De maximaal te keren hoogte met drie slangen is 2,6 meter.

Geodesign Barrier

Andere waterkering laten hun weerstand alleen afhangen van het water dat ze zelf keren. Een voorbeeld hiervan is de Geodesign Barrier (Geodesign Barriers, z.d.). Doordat het water stijgt, wordt de verticale druk die het water op de kering uitoefent groter. Daardoor wordt ook de verticale druk die de kering op de bodem uitoefent groter. Daarom kan een kering zoals de Geodesign Barrier altijd blijven staan, ook als er overtopt wordt. Zie ook Figuur 5. De Geodesign Barrier kan maximaal 1,20 meter keren.



Figuur 5: De Geodesign Barrier in actie.

5. De testlocatie

Tijdens vorige field-lab experimenten is gebleken dat de Groene Rivier in Roermond een geschikte testlocatie is. Waterschap Limburg heeft aangegeven de Groene Rivier daarom in de toekomst te blijven gebruiken als testlocatie (zie Bijlage A). Dit betekent dat de testlocatie vaststaat. In dit hoofdstuk zullen de eisen aan een testlocatie, alsmede de relevante eigenschappen van de locatie behandeld worden.

Eisen aan een testlocatie

De volgende eisen kunnen, mede op grond van eerdere ervaringen met field-labs, worden gesteld aan een testlocatie:

1. Het grondgebruik van de locatie moet een field-lab toestaan

Tijdens het field-lab zal er veel grond en water verplaatst worden. De grondsamenstelling van de toplaag van het terrein kan definitief veranderen, door de waterverplaatsing en het gebruik van andere grondsoorten voor demonstratiedoeleinden. Dit moet mogelijk zijn op de testlocatie. Aan de andere kant moet de grond in en rond de locatie niet saneringswaardig zijn, omdat dit een gezondheidsrisico meebrengt voor deelnemers aan het field-lab en de natuur om de locatie heen.

2. De locatie moet bereikbaar zijn voor zwaar verkeer

Op de field-lab locatie wordt gedaan aan grondverzet en er vinden werkzaamheden plaats. Dit betekent dat de locatie toegankelijk moet zijn voor zwaar verkeer.

3. Nabijheid van waterbronnen

Voor het field-lab is veel water nodig. Dit water moet gehaald worden uit de omgeving. Bovendien moet het water ook weer afgevoerd worden. Er moet dus voldoende aan- en afvoer van water mogelijk zijn. Bovendien moet de afvoer van het water zo zijn, dat dit geen overlast veroorzaakt doordat het net iets hoger komt dan vooraf verwacht. Er moet genoeg speling zijn.

4. De testlocatie moet geconsolideerd zijn

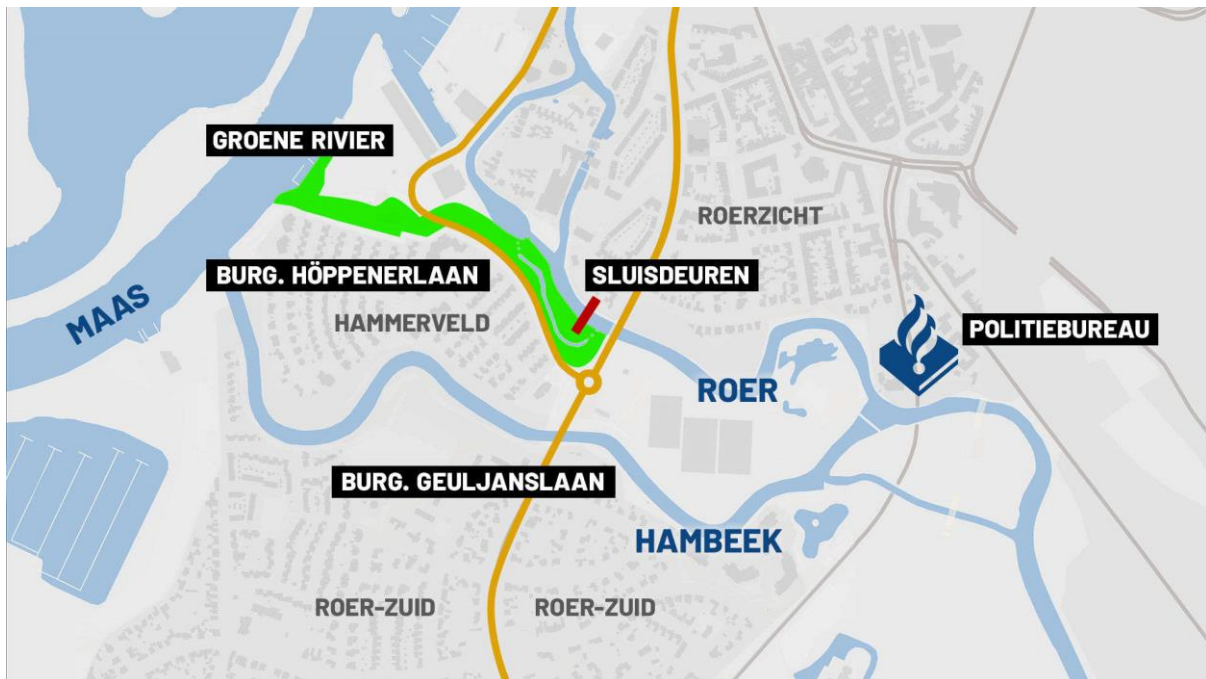
Van tevoren moet de testlocatie geconsolideerd zijn. Afhankelijk van de gebruikte grondsoorten moet de testlocatie enkele maanden tot een jaar in dezelfde staat gebleven zijn. Ongeconsolideerde grond heeft namelijk veel minder weerstand tegen uitspoeling en dergelijke. Daarom zal het field-lab mislukken als de grond niet voldoende is geconsolideerd. Dit betekent dat op tijd begonnen zal moeten worden met het in gereedheid brengen van de testlocatie.

5. De testlocatie moet voldoende groot zijn

Het testen van waterkeringen moet op een realistische schaal gebeuren. Daarom moet het mogelijk zijn om minimaal enkele tientallen meters aan waterkering te testen op de testlocatie.

Geografische locatie

De locatie van de groene rivier is zoals te zien in Figuur 6:



Figuur 6: Locatie van de Groene Rivier in Roermond. (van Well & van Moorsel, 2021)

De invoerlocatie van water is ter hoogte van het rode balkje, dat een duiker tussen de Groene Rivier en de Roer markeert. Deze duiker kan als wateraanvoer dienen tijdens experimenten. Een andere duiker is aangebracht even verderop in de groene rivier. Wanneer deze gesloten is, kan een bassin worden gevormd, waarmee de tijdelijke waterkeringen getest kunnen worden.

De locatie dient als noodafvoer bij hoogwater voor de Roer. Daarom is het niet erg als er wateroverlast is in de Groene Rivier. Ook is het niet erg als er op beperkte schaal aan grondverzet wordt gedaan. De Groene Rivier zelf kan dus dienen als waterafvoer. Ook kunnen er kleine constructies gebouwd worden voor de experimenten. Gedacht kan worden aan het aanbrengen van kleine dijkes of het aanbrengen van andere grondsoorten. Moeilijkheid hierbij is echter wel dat in het midden van de locatie een sloot loopt. Als deze sloot gedeeltelijk wordt opgevuld met grond, ten behoeve van de beproevingen, blijft dit waarschijnlijk een zwak punt. Bovendien loopt de locatie in een bocht, wat betekent dat hieromheen gewerkt zal moeten worden.

De field-lab locatie is goed bereikbaar voor transport via de Bisschop Lindanussingel, de Burgemeester Geuljanslaan en de Burgemeester Höppenerlaan. Een goede verbinding is aanwezig met de A73 en de N280.

Zie Figuur 7 voor een impressie van de locatie. In deze figuur zijn ook enkele indicaties van afstanden in de Groene Rivier gegeven. In totaal is de lengte van het stuk Groene Rivier in Figuur 7 ongeveer 350 m. Dit is veel groter dan nodig is voor de field-lab.



Figuur 7: Links: de duiker in de Groene Rivier, waarmee in gesloten toestand een bassin gevormd kan worden (archief TU Delft). Rechtsboven: Luchtfoto van de field-lab locatie (Google Maps, 2022). Rechtsonder: Overzichtsfoto vanaf de grond (Google Streetview, 2016).

6. Inrichting testlocatie

In dit hoofdstuk zal de inrichting van de testlocatie bepaald worden. Bepaald zal worden waar alles komt te staan en wat de aan- en afvoerroutes van onderdelen zullen zijn.

Eisen/wensen aan de inrichting

Waterschap Limburg wenst dat er de waterkeringen gedemonstreerd worden op verschillende grondsoorten. Bovendien wenst Waterschap Limburg dat de waterkeringen demonstreren of ze, behalve het water keren, ook water kunnen begeleiden naar andere locaties, zie Bijlage A. Deze voorwaarden bepalen in grote mate de inrichting van het terrein.

Behalve de wensen van het waterschap is het ook van belang dat de testopstelling een realistisch scenario geeft. Bovendien is van belang dat deelnemende bedrijven elkaar niet in de weg lopen. Dit betekent dat de testopstelling enerzijds ruim genoeg moet zijn, zodat bedrijven elkaar niet hinderen, maar anderzijds moet de ruimte niet onbeperkt groot zijn, omdat dat in het echt ook niet het geval is.

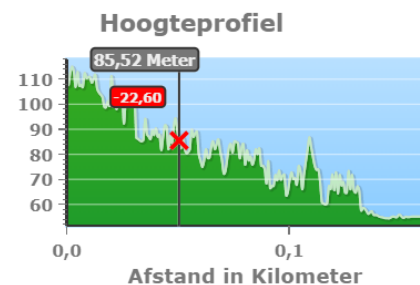
Midden in de Groene Rivier bevindt zich een sloot. Dit betekent dat er geen grondverzet op de sloot gedaan kan worden, tenzij de sloot wordt overkluisd, bijvoorbeeld door de duiker te verlengen. Bovendien moeten waterkerende elementen rond de Groene Rivier niet beschadigd raken.

Het waterschap wil dat gedemonstreerd wordt of de waterkeringen water kunnen begeleiden. Dit kan gedaan worden door een helling aan te brengen in het terrein. Van belang hierbij is dat het water niet wegstroomt door de grond, bijvoorbeeld doordat het water wegstroomt door de zijkant van de ophoging die nodig is om de helling te creëren.

De inrichting

Grondlichamen

Het testen en demonstreren van de keringen zal gedaan worden door een helling aan te brengen in het terrein. Dit zal een helling zijn van 20 meter lang en 2 meter hoog. De helling is dus 10%. Dit is voor de Limburgse situatie geen onrealistische helling, zie bijvoorbeeld Figuur 8. Om te voorkomen dat het grondlichaam tijdens het field-lab door zijwaartse uitspoeling bezwijkt, is van belang dat ter plaatse de donkerrode vlakken de grond in de Groene Rivier wordt opgehoogd of lege ruimtes worden aangevuld, zie bijlage C.



Figuur 8: Hoogteprofiel nabij Bunde met een helling van 40% (Esri Nederland, 2022).

Het waterschap wil dat getest wordt op meerdere grondsoorten. Daarom zullen naast elkaar drie grondsoorten in stroken van minimaal 10 meter breed getest worden, zie bijlage C. Hierdoor is gegarandeerd dat er genoeg ruimte is voor deelnemende bedrijven om in een realistische situatie hun kering op te bouwen. Om ervoor te zorgen dat de grondsoorten die niet van nature aanwezig zijn in het terrein betrouwbare resultaten opleveren, moet een ontgraving van het terrein gedaan worden van ongeveer een meter diep, die dan vervolgens met de te testen grondsoort kan worden opgevuld.

De grondlichamen dienen ruim van tevoren, dus bijvoorbeeld een jaar, te worden aangebracht, zodat ze kunnen consolideren. Een grondsoort die in Limburg veel aanwezig is, is löss. Daarom zal deze grondsoort getest worden door een grondlichaam van löss te installeren. Daarnaast zijn veel dijken aan de buitenkant van klei. Daarom zal een ander grondlichaam van klei zijn. De laatste ondergrond die getest wordt is asfalt. Op veel dijken en andere keringen is verharding, zoals asfalt, aanwezig. Daarom is dit een relevante ondergrond om op te testen. Verder is van belang dat de ondergrond vlak of waterpas is voor een optimaal rendement.

Positionering keringen

In het midden van iedere strook grond moet een stroomgoot gecreëerd worden van ongeveer 2 meter breed. De stroomgoot zal gevormd worden door tijdelijke waterkeringen langs de stroomgoot te plaatsen. Onderaan de helling zal de stroomgoot in een bocht lopen, zie Bijlage C. De buitenbocht zal het gedeelte zijn waar de keringen de meeste krachten moeten leveren. Daarom zullen hier de keringen getest worden

In Bijlage C zijn enkele indicatieve afstanden weergegeven. Zoals te zien is de lengte van de stroomgoten erg verschillend. Omdat löss een voor Nederland vrij unieke grondsoort is, zal dit de derde grondsoort zijn, zodat hierop het meeste getest kan worden. Klei zal grondsoort 2 worden en asfalt grondsoort 1, omdat dit het minste problemen geeft met onderloopsheid.

In de buitenbochten kunnen nu verschillende keringen getest of gedemonstreerd worden. Voor het optimaal benutten van de tijd, kunnen keringen met een stuk van 20 tot 25 meter achter elkaar in de buitenbocht worden neergezet. Op grondsoort 2 en 3 kunnen nu meerdere keringen in combinatie met elkaar getest worden. Hierdoor kan bewezen worden dat de keringen ook gecombineerd kunnen worden ingezet.

De binnenbocht van de stroomgoot, benevens het gedeelte op de helling, zal gevormd worden door tijdelijke keringen. Vooraf moet in samenwerking met deelnemende partijen een agenda worden opgesteld, waarin wordt vastgesteld welke kering op welk tijdstip getest zal worden, en welke kering welke functie krijgt. Voordat het field-lab begint, moet de positie van de waterkeringen zijn uitgezet. In een noodsituatie zal dit niet zo zijn, maar dan hoeft de positionering van de keringen ook niet zo nauwkeurig te zijn.

Water

De waterbron zal de Roer zijn. Dit is een zijrivier van de Maas met een debiet van gemiddeld 23,5 m³/s (Creative Commons, 2022). Omdat het debiet sterk afhankelijk is van regenval, kan het verstandig zijn om het field-lab uit te stellen als dit in een droge periode valt.

Met pompen zal het water uit de rivier de stroomgoten ingepompt worden. Gestreefd wordt om in de stroomgoten een stroomsnelheid van 1 m/s te creëren. Bovendien zal een waterhoogte van 0,4 m gehandhaafd worden. Met de formule $q = U * d$ kan worden berekend dat het debiet $q = 1 * 0,4 = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$. Dit betekent dat iedere stroomgoot een debiet van 0,8 m³/s vraagt, en dat het totale benodigde debiet is 2,4 m³/s. Dit is veel minder dan het debiet van de Roer, en dus haalbaar.

De waterafvoer zal in de Groene Rivier zijn. Omdat de Groene Rivier als overlooplocatie dienstdoet, is dit geen probleem. Om de waterhoogte van 0,4 meter te garanderen zal aan het einde van de stroomgoten een afstelbare overlaat geplaatst worden. Via monitoring zal bepaald worden hoe de overlaat moet worden afgesteld. Zie hierover meer in hoofdstuk 7.

Op de overlaat geldt dat het debiet $q = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Omdat achter de overlaat het water vrij weg kan stromen, kan ervan worden uitgegaan dat de overlaat een volkomen overlaat is. Dit betekent dat de benodigde waterdiepte op de overlaat kan worden berekend met de formule $q = m d_k \sqrt{g d_k}$ (Elger et al., z.d.). Hierbij is de afvoercoëfficiënt m specifiek voor de overlaat, en zal dus moeten worden bepaald, en is d_k de waterdiepte op de overlaat. In het geval dat $m = 1$, wat vaak een redelijke benadering is, geldt dat voor $q = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'$, $d_k = 0,25 \text{ m}$.

Als laatste is van belang dat benodigd materiaal van tevoren op logische locaties wordt opgesteld, zodat tijdens het field-lab deelnemers niet elkaar in de weg lopen. Hierbij is van belang dat ondernemers van tevoren aangeven of ze bijvoorbeeld water nodig hebben om hun kering mee te

vullen. Eventueel moet dit gefaciliteerd worden met pompen. Aan te raden is om deze pompen vast te installeren in de dijk, omdat de field-lab locatie een permanente test- en oefenlocatie wordt.

7. Resultaten en monitoring

In dit hoofdstuk zullen de gewenste resultaten worden behandeld en de monitoring die nodig is om deze resultaten te behalen.

Water

Voor het slagen van het field-lab is het nodig dat er voldoende stroming gerealiseerd wordt. Dit kan worden gemonitord, door de waterstand op de overlaten bij te houden. Dit kan gedaan worden met een vlotter, maar ook met bijvoorbeeld een peilstok. Het doel van deze monitoring is het bijsturen van de waterhoogte tijdens het experiment. Ook de hoeveelheid water die wordt opgepompt zal worden bijgehouden. Door beide real-time te monitoren kan het lekverlies bepaald worden, wat een belangrijke indicator is voor de geschiktheid van een kering voor de geteste situatie.

Daarnaast moet verspreid door de stroomgoten de waterstand worden bijgehouden, zodat eventueel kan worden bijgestuurd met de overlaat. Hiermee wordt enerzijds gegarandeerd dat er voldoende water tegen de keringen staat om het experiment geloofwaardig te maken, en anderzijds wordt voorkomen dat er een kering doorbreekt, omdat er meer water op komt te staan dan vooraf afgesproken.

Mobilisatie en demobilisatie

Een belangrijk aspect van het succes van een kering is de gebruiksvriendelijkheid. Een aspect wat hiervan gemonitord kan worden is de tijd die het kost om de kering op te zetten en af te breken. Van belang is dat hierbij de lengte van het op te zetten stuk kering wordt genoteerd. Ook kan het zo zijn dat een ondernemer zegt dat de lengte voor hem weinig uitmaakt, maar dat een ander aspect de meeste tijd kost. Dit moet verrekend worden in de evaluatie van de field-lab. Vooral de tijd die het kost om de kering op te zetten is belangrijk, want als dit snel gedaan wordt, kan er meer terrein beschermd worden.

Hierbij is ook van belang dat genoteerd wordt hoeveel personeel nodig is om de kering op te zetten. De snelheid van de mobilisatie en demobilisatie is dan bijvoorbeeld de tijd die het kost om een stuk kering van een bepaalde lengte op te zetten gedeeld door het benodigde personeel. Als laatste moet worden genoteerd welk gereedschap en materieel er nodig is voor het opzetten van de kering. Hoe minder hiervan nodig is, hoe makkelijker de kering inzetbaar is, en dus hoe beter.

Het doel van de monitoring van de mobilisatie en demobilisatie van de keringen is het beoordelen van de keringen. Hoe minder tijd het kost om een kering op te zetten, met zo min mogelijk personeel en materieel, hoe beter een kering geschikt is voor gebruik in noodsituaties.

Grond

Het volgende wat gemonitord kan worden is de gronddikte en -samenstelling. Al tijdens de consolidatie van de aangebrachte grondlagen moet dit in de gaten worden gehouden, zodat tijdig kan worden ingegrepen, door bijvoorbeeld extra grond aan te brengen. Ook tijdens de experimenten moet dit worden gedaan, zodat eventueel aanvullingen gedaan kunnen worden. Het doel van deze monitoring is het waarborgen van de betrouwbaarheid van de beproevingen.

Resultaat

Het beoogde resultaat van het field-lab is een demonstratie van de tijdelijke waterkeringen, die aan de verwachtingen van deelnemende ondernemers en het waterschap voldoet. Hierbij moet voor het waterschap duidelijk zijn wat de sterke en zwakke punten zijn van de keringen, en krijgen de deelnemende ondernemers positieve publiciteit. Hierbij kunnen het waterschap en ondernemers de waterkeringen beoordelen aan de hand van de criteria in hoofdstuk 4.

8. Discussie en evaluatie

Met de behaalde resultaten is het goed mogelijk een antwoord te geven op de onderzoeksvraag en de deelvragen. Op alle deelvragen is een antwoord geformuleerd. Op sommige terreinen is nog uitdieping nodig, wat behandeld zal worden in hoofdstuk 9.

Bij deelvraag 1 is onderzocht welke eisen gelden voor tijdelijke waterkeringen. Op basis van de resultaten van vorige field-labs en literatuuronderzoek zijn criteria vastgesteld, waarop deelnemende tijdelijke waterkeringen kunnen worden beoordeeld. De betrouwbaarheid van de gebruikte literatuur is hoog. De criteria zijn voornamelijk vastgesteld door gebruik te maken van overheidsdocumenten.

De beantwoording van deelvraag 2 is lastiger. Omdat het aanbestedingstraject ten tijde van het schrijven van dit document nog niet is afgerond, is niet bekend welke bedrijven hun tijdelijke waterkeringen mogen testen. Ook hadden veel gecontacteerde ondernemers geen interesse in een overleg. Daarom is het niet mogelijk de testlocatie aan te passen aan de eigenschappen van deelnemende keringen. Om toch een zo goed mogelijk beeld te krijgen zijn voorbeelden van gebruikelijke technieken gegeven, die worden toegepast om tijdelijke waterkeringen op te zetten. Hiermee zijn de eisen aan de testlocatie vastgesteld.

Bij de beantwoording van deelvraag 3 is waarschijnlijk niet voor de beste locatie gekozen. De locatie loopt in een bocht en er licht een sloot in. Echter, omdat Waterschap Limburg om andere redenen besloten heeft dat dit in de toekomst een field-lab locatie blijft, is toch gekozen voor deze locatie.

Rekening houdend met de wensen van het waterschap en ondernemers is een inrichting van de locatie opgesteld. Deze inrichting voldoet aan alle gestelde eisen en wensen van het waterschap en ondernemers, maar heeft als keerzijde dat de locatie tijdens de consolidatieperiode niet of beperkt bruikbaar is voor andere field-labs.

De monitoring van de testlocatie is gericht op het laten slagen van het field-lab. Ook geeft het de mogelijkheid om de waterkeringen te testen op objectieve basis. In combinatie met de formules uit hoofdstuk 6 kan real-time de stroomsnelheid en het debiet in de stroomgoten bepaald worden. Een zwak punt van de monitoring is dat bij het optreden van een faalmechanisme variabelen, zoals de gronddruk, onbekend zijn. Hier is voor gekozen, omdat het demonstratie-effect weg is als een tijdelijke waterkering faalt. Een aanbeveling kan zijn om dit in een besloten omgeving, zonder bijvoorbeeld omstanders of pers, toch te laten optreden en te monitoren, om zo aan productverbetering te kunnen doen.

9. Conclusie en aanbevelingen

De onderzoeksvraag van dit onderzoek was:

“Welke locatie in Limburg is geschikt om tijdelijke waterkeringen te testen en te demonstreren, en hoe kan deze locatie optimaal worden ingericht?”

Hierbij zijn de volgende deelvragen opgesteld:

1. Aan welke eisen moeten de te testen en te demonstreren waterkeringen voldoen?
2. Welke tijdelijke waterkeringen moeten worden getest en gedemonstreerd en welke eisen worden gesteld aan de testlocatie?
3. Welke locaties zijn er beschikbaar als testlocatie?
4. Wat is de inrichting van de testlocatie?
5. Welke resultaten worden verkregen uit de proeven?

Op deelvraag 1 is een uitvoerig antwoord opgesteld in Tabel 1: Eisen aan tijdelijke waterkeringen. Tabel 1. In het kort moet een waterkering met zo weinig mogelijk personeel en materieel in een zo kort mogelijke tijd op te zetten zijn. Ook het benodigde transport moet zo beperkt mogelijk blijven. Bovendien moeten de kosten zo laag mogelijk zijn, zowel als op financieel gebied als op milieutechnisch gebied. Herbruikbaarheid is hierbij het belangrijkste aspect.

Een volledig antwoord op deelvraag 2 is niet gegeven, omdat ten tijde van het schrijven van dit document het aanbestedingstraject nog niet voltooid is. Er is echter wel beschreven wat veelgebruikte technieken zijn. In het kort gebruiken alle tijdelijke waterkeringen op hun eigen manier water om water te keren. Aanbevolen wordt om als het aanbestedingstraject voltooid is, de inrichting en monitoring van de testlocatie opnieuw te evalueren, en waar nodig aan te passen naar de beperkingen van de deelnemende tijdelijke waterkeringen.

De enige locatie die Waterschap Limburg beschikbaar heeft voor field-labs met tijdelijke waterkeringen is de Groene Rivier in Roermond. Deze locatie heeft beperkingen, maar voldoet aan de eisen. Voor een optimaal resultaat wordt aanbevolen om een locatie te zoeken met een gelijkmatig oppervlak, dus zonder bijvoorbeeld een sloot in het midden, en met een logische vorm, zoals een rechthoek. Het resultaat wordt hier betrouwbaarder van, omdat onregelmatigheden ervoor zorgen dat sommige variabelen minder goed in de hand te houden zijn tijdens experimenten.

De inrichting van de Groene Rivier is aangegeven in de plattegrond in bijlage C. Kort samengevat moet in de testlocatie drie soorten grond worden aangebracht, zodat op alle drie getest kan worden. Er zal op iedere grondsoort een stroomgoot gecreëerd worden van tijdelijke waterkeringen, die afgesloten wordt door een afstelbare overlaat. De eerste twintig meter van de stroomgoot staan onder een helling van 10%, zodat het water snelheid krijgt. De scherpste van de hoek onderaan de helling moet worden afgesteld op de wensen van het waterschap. De keringen zullen met deze opstelling tijdens het field-lab bewijzen dat ze water met een stroomsnelheid van 1 m/s kunnen keren in een bocht. Uiteraard is de opstelling geschikt om debieten en stroomsnelheden te wijzigen naar gelang de behoefte tijdens een field-lab. Het benodigde water zal uit de Roer gepompt worden.

De monitoring tijdens het experiment is gericht op objectief laten verlopen van het field-lab en het beoordelen van de keringen. Tijdens het field-lab zullen in de stroomgoten op verschillende plekken de waterhoogte en het debiet worden gemonitord. Ook zal de snelheid waarmee de keringen worden

opgesteld en afgebroken worden gemonitord. Als laatste zal voor en tijdens het field-lab de dikte en samenstelling (korrelverdeling) van de aangebrachte grondpakketten worden gemonitord.

Aanbevolen wordt om het scenario van het field-lab en de monitoring na het aanbestedingstraject te evalueren met deelnemende ondernemers. Ook wordt aanbevolen om vooraf met de ondernemers af te stemmen wie bij het field-lab aanwezig zijn, en wat wel en niet gepubliceerd mag worden. Hierdoor wordt bijvoorbeeld voorkomen dat ondernemers onverwachts negatieve publiciteit krijgen voor hun product. Ook geeft dit de ondernemers de gelegenheid eventuele aanvullende maatregelen voor te bereiden, zoals het extra verzwaren van hun kering, zodat voorkomen kan worden dat er bijvoorbeeld een kering doorbreekt.

Bibliografie

- Creative Commons. (2022, April 22). *Roer (rivier)*. [https://nl.wikipedia.org/wiki/Roer_\(rivier\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Roer_(rivier)).
- Damen, K. (maart 2022). *Functioneren van tijdelijke Waterkeringen*. Delft.
- Elger et al., D. (z.d.). *Engineering Fluid Mechanics*. U.S.A.: Wiley.
- Esri Nederland. (2022). *AHN Hoogtebestand*. Amersfoort: <https://www.ahn.nl/ahn-viewer>.
- Geodesign Barriers. (z.d.). *Flood Barriers*. <https://geodesignbarriers.com/flood-barriers/>.
- Google Maps. (2022). *Luchtfoto Groene Rivier*.
<https://www.google.nl/maps/@51.1864184,5.9800555,2062m/data=!3m1!1e3?hl=nl>.
- Google Streetview. (2016). *Overzichtsfoto Groene Rivier*.
https://www.google.nl/maps/@51.1863291,5.9801306,3a,75y,75.66h,75.84t/data=!3m6!1e1!3m4!1sxCZD-bzuIQCrgZP-jMtq_A!2e0!7i13312!8i6656?hl=nl.
- KNW. (2022, April 6). Vier tijdelijke waterkeringen getest door Waterschap Limburg. *H2O Actueel*.
- Kreijns, M. (z.d.). *Flood Proof Holland*. https://delfttechnologypartners.nl/testing_grounds/flood-proof-holland/.
- Lendering, K., Jonkman, S., & Kok, M. (2015). *Effectiveness of emergency measures for flood prevention*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jfr3.12185>.
- Limburg, W. (2022, April 6). Waterschap Limburg test alternatieven voor de zandzak.
- Mobiele Dijken Nederland B.V. (2016). *Het Systeem*. <https://www.mobieledijken.nl/het-systeem>.
- NWP. (2021, November 8). *BoxBarrier*.
<https://www.netherlandswaterpartnership.com/membership/members/boxbarrier>.
- STOWA. (2008). *Keuzemodel Tijdelijke en Demontabele Waterkeringen*. Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.
- van Well, R., & van Moorsel, L. (2021, Augustus 9). Bewoners Hammerveld bezorgd over Groene Rivier. *1Limburg*.
- Waterschap Limburg. (2022). *Legger*. <https://www.waterschaplimburg.nl/uwbuurt/kaarten-meetgegevens/leggerkaart/>.
- Waterschap Limburg et al. (2022). *EMfloodResilience*. Limburg.
- Wentholt, M. v. (2008). *Keuzemodel Tijdelijke en Demontabele Waterkeringen*. STOWA.
- WIKI-noodmaatregelen. (2016). *Hoe om te gaan met zandzakken*. https://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/index.php/Hoe_om_te_gaan_met_zandzakken.

Bijlage A: Samenvatting gesprek met Juus Teensma van Waterschap Limburg

Samenvatting meeting 12-05-2022

Gesprek over de locatie en inrichting van een field-lab ten behoeve van het testen van tijdelijke waterkeringen met Juus Teensma van Waterschap Limburg

Op 6 april is er een field-lab experiment geweest in de Groene Rivier in Roermond, met als doel het testen en demonstreren van tijdelijke waterkeringen. Hierbij wil het waterschap enkele veranderingen doorvoeren bij toekomstige field-lab experimenten. Toekomstige experimenten wil het waterschap in de Groene Rivier houden.

Eén tijdelijke waterkering heeft gefaald ten gevolge van onderloopsheid. De onderloopsheid werd veroorzaakt doordat er op de duiker een korrelmix lag, die te doorlatend was. Het waterschap heeft daarom na de testdag al een toplaag van beton aangebracht op de korrelmix. De toplaag heeft mogelijk nog geen goede aansluiting met het omliggende talud van de duiker, dit kan nog verbeterd worden. Ook wil het waterschap het maaiveld nog enigszins aanpassen door een duidelijke overlooplocatie te maken buiten het bereik van de duiker en eventueel de aansluitingen met het talud van de groene rivier verbeteren. Een gezamenlijk terreinbezoek kan nodig zijn om dit te verduidelijken.

De tijdelijke waterkeringen zijn niet alleen bedoeld om het water tegen te houden, maar ook om het water te geleiden naar een andere locatie. Daarom wil het waterschap bij een volgend experiment de testlocatie dusdanig inrichten dat de keringen ook getest kunnen worden op snel langs stromend water.

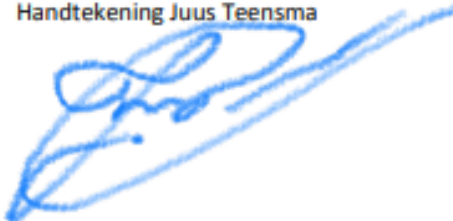
Bovendien wil het waterschap de maatregelen testen om te zorgen dat tijdelijke keringen ten allen tijde blijven staan, ook als het water hoger komt dan de ontwerpwaarde. In het vorige experiment is namelijk een waterkering bezweken, omdat het water hoger kwam dan de ontwerpwaarde.

Naar aanleiding van het vorige experiment heeft het waterschap besloten om in de voorschriften op te nemen dat tijdelijke waterkeringen die werken met folie, de verzwaring van de folie hierin verwerkt moet zijn. De verzwaring in de waterkering moet geïntegreerd zijn in de folie. Ook moeten waterkeringen die uit elementen bestaan, gekoppeld zijn. Hierdoor kunnen elementen die op een zwakkere positie staan hun sterkte uit naastgelegen elementen halen.

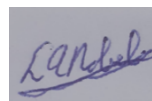
In de toekomst wil het waterschap met lokale partijen, zoals gemeentes, jaarlijks oefenen met het aanbrengen van tijdelijke waterkeringen, zodat dit in de toekomst snel en kwalitatief goed gedaan kan worden. De te testen tijdelijke waterkeringen moeten hiertoe ook geschikt zijn.

In mijn voorstel voor uitwerking van de testlocatie zal ik ook meenemen op welke mogelijke criteria getest kan worden en hoe die vervolgens gemonitord kunnen worden en wat daar in de inrichting voor nodig is.

Handtekening Juus Teensma



Handtekening Lourens Nobel



Bijlage B: Samenvatting gesprek met Raymond Hofer van BoxBarrier op 17-5-2022

De BoxBarrier is een product dat op veel plaatsen, maar met name in stedelijk gebied kan worden ingezet. De BoxBarrier kan waterhoogten tot maximaal 50 centimeter keren. Als in een onverwachte situatie het water toch hoger blijkt te komen kunnen aanvullende maatregelen genomen worden, zoals het verzwaren van de BoxBarrier met zandzakken.

Bij de vorige testen in Roermond, op 6 april 2022, heeft BoxBarrier bewezen 50 centimeter water te kunnen keren. Nadat het Waterschap verzocht om de kering te laten overtoppen, faalde de kering bij 58 centimeter waterhoogte. Op de plaats waar de kering faalde zijn geen aanvullende maatregelen genomen, zoals het verzwaren van de kering met zandzakken. Andere keringen zijn niet overtopt, of zijn zelfs al bezweken voordat de 50 centimeter waterhoogte gehaald is. Bij toekomstige beproevingen moeten alle tijdelijke waterkeringen op dezelfde manier getest worden.

Door de vele media die aanwezig was bij de testen is het doorbreken van de BoxBarrier gefilmd. Hierna is het fragment dat de BoxBarrier is doorgebroken een eigen leven gaan leiden. In de media lijkt het alsof de BoxBarrier niet geschikt is, terwijl andere delen van de BoxBarrier, die wel verzwaard waren, niet bezweken zijn. Bij toekomstige beproevingen van de BoxBarrier moet alles wat openbaar gemaakt wordt eerst goedgekeurd worden door BoxBarrier. BoxBarrier heeft zijn product uitvoerig getest, en heeft de testen niet nodig om zijn product te bewijzen. De Boxbarrier wordt al op veel plaatsen ingezet. Zo wordt de BoxBarrier bijvoorbeeld al 9 jaar ingezet in Zwijndrecht. Het is dus niet interessant meer om faalmechanismen aan te tonen. Het product is niet gemaakt om te falen, maar om zijn werk te doen.

De Boxbarrier is geschikt om water te keren, maar ook om water te begeleiden naar een ander punt. Bij het begeleiden van water naar een ander punt oefent het water dat langs de BoxBarrier stroomt minder druk uit op de Boxbarrier. Daardoor is de BoxBarrier ook uitermate geschikt voor het begeleiden van water. De wrijving die hierbij komt kijken kan de Boxbarrier aan.

Testen en demonstraties waar BoxBarrier wel in geïnteresseerd is, zijn testen op plaatsen waar de BoxBarrier ook daadwerkelijk wordt toegepast, en in een realistische setting. Hierbij is allereerst van belang dat de BoxBarrier wordt geplaatst door mensen die weten hoe ze de BoxBarrier moeten plaatsen en waar op te letten. Dit personeel moet in staat zijn om op de juiste plaats verzwaren tegen overtoppen of folie tegen onderloopsheid aan te brengen. Ook kunnen op plaatsen waar de BoxBarrier door oneffenheden in het terrein al bij voorbaat achterover hangt, extra elementen achter de kering worden geplaatst ter ondersteuning. Bovendien kan op locaties met grote oneffenheden in het terrein gekozen worden om bijvoorbeeld een gedeelte te keren met andere watergevulde keringen, zoals mobiele dijken.

De BoxBarrier kan op veel plaatsen worden toegepast, maar moet wel met verstand, door personeel dat verstand van zaken heeft geplaatst worden. Van belang is daarom dat een opdrachtgever van tevoren duidelijk maakt hoe en waarop de kering getest gaat worden, zodat de BoxBarrier op de juiste manier geplaatst kan worden. Het rendement van de BoxBarrier is groot. Een BoxBarrier element vervangt 50 zandzakken. Ook is het watergebruik van de BoxBarrier ten opzichte van andere waterkeringen op waterbasis erg laag.

Bijlage C: plattegrond van de inrichting van de Groene Rivier

