

MOBIELE KERINGEN TIJDELIJKE LOCATIEONAFHANKELIJKE ZANDZAKVERVANGENDE SYSTEMEN WITH ENGLISH SUMMARY



RAPPORT

2026
24

MOBIELE KERINGEN
TIJDELIJKE LOCATIEONAFHANKELIJKE
ZANDZAKVERVANGENDE SYSTEMEN

RAPPORT

2026

24

ISBN 978.94.6479.146.4



Amersfoort, juli 2026

Uitgave	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer STOWA Postbus 2180 3800 CD Amersfoort
Auteurs	Ulrich Förster – Deltares
Begeleidingscommissie	Andre Koelewijn – Deltares Marian Booltink – Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden Oscar van Dam – STOWA
Foto omslag	Oscar van Dam
Vormgeving	Buro Vormvast Uitgeest
STOWA	STOWA 2026-24
ISBN	978.94.6479.146.4



Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door co-financiering van Interreg-NWE en is onderdeel van het FlashFloodBreaker-project (NWE0200167).

Disclaimer

De inhoud van deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden in de publicatie, of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud ervan.

Copyright

STOWA spant zich in de rechthebbenden van in de uitgave gebruikte afbeeldingen te respecteren conform het auteursrecht. Indien u desondanks van mening bent dat uw rechten in het geding zijn, dan verzoeken wij u contact met ons op te nemen.

TEN GELEIDE

Door klimaatsverandering wordt Europa geconfronteerd met een toename in zware buien met mogelijk wateroverlast tot gevolg. Waterschappen willen zich hierop voorbereiden om lokaal water tegen te kunnen houden, te geleiden of zelfs op te slaan (waterberging). In het arsenaal van waterschappen worden, naast de zandzak en de bigbag, hiervoor ook steeds meer mobiele keringen toegepast.

Dit rapport geeft een overzicht van tijdelijk inzetbare mobiele waterkeringssystemen die de traditionele tijdelijke waterkeringen van zandzakken kunnen vervangen. Mobiele keringen zijn, net zoals zandzakken, een tijdelijke waterkering die op meerdere locaties kunnen worden toegepast. Centraal staat de vraag voor welke gebieden die tijdelijke mobiele systemen effectief zijn en welke eisen aan de systemen gesteld moeten worden. Daarbij is gekeken naar functionaliteit, stabiliteit, hanteerbaarheid, kosten, benodigde tijd, personeel en logistiek. De informatie uit het rapport is ontleend aan literatuur en productinformatie, aangevuld met praktijkervaringen en een enquête onder waterkeringbeheerders.

De auteur concludeert dat tijdelijke mobiele keringen een goede aanvulling zijn op de bestaande keringen met zandzakken. De keringen zijn herbruikbaar en kunnen snel worden geplaatst, met inzet van minder personeel en kosten. Dat vertaalt zich in een snelle terugverdientijd van de investering in een tijdelijke mobiele kering.

Daar staat tegenover dat de systemen niet geschikt zijn voor elke situatie. Een oneffen of verzadigde ondergrond kan er bijvoorbeeld toe leiden dat de tijdelijke mobiele kering die daarop geplaatst is het water minder goed tegenhoudt. Daarnaast kan harde wind, hoge golven en drijfvuil van invloed zijn op de toepasbaarheid van sommige mobiele keringen.

Waterkeringbeheerders twijfelen nog over de inzet en betrouwbaarheid van de tijdelijke mobiele keringen. Ook de kosten voor aanschaf, opslag en onderhoud zorgen voor terughoudendheid. Zandzakken en big bags blijven voorlopig onmisbaar als waterkering, al zien waterkeringbeheerders ook de toegevoegde waarde van de snel inzetbare mobiele keringen, bijvoorbeeld bij compartimentering, tijdelijke kruinverhoging of objectbescherming..

Mark van der Werf
Directeur STOWA

SAMENVATTING

Naast de bescherming tegen overstromingen met zandzakken zijn er sinds een aantal jaren verschillende zandzakvervangende systemen (ZVS) beschikbaar als mobiele keringen die tijdelijk en locatieafhankelijk kunnen worden toegepast.

Het gebruik van zandzakken is tijdrovend en zeer intensief qua materiaal en personeel. ZVS daarentegen zijn herbruikbaar en vereisen lagere kosten qua helpers en logistiek, en de relatief hogere initiële investeringskosten kunnen worden gecompenseerd door herhaald gebruik. Tot nu toe worden ZVS zelden gebruikt voor operationele bescherming tegen overstromingen. De redenen hiervoor zijn de verschillende financieringsmodaliteiten van de investering, de operationele kosten en het lage vertrouwen in de technische prestaties van ZVS.

Een aantal van deze aspecten is onderzocht aan het Instituut voor Waterbouwkunde (IWA) van de Hogeschool Bremen. Een reeks systematische grootschalige tests van zandzaksystemen en ZVS met de nadruk op functionaliteit, stabiliteit en hanteerbaarheid werd uitgevoerd. De resultaten tonen aan dat de meerderheid van de geteste ZVS een bescherming kunnen bieden die vergelijkbaar is met die van zandzaksystemen, maar met een aanzienlijk lager materiaalgebruik, vereenvoudigde logistiek en minder personeel. Daarbij is het raadzaam om goed gedefinieerde certificeringstesten voor ZVS te ontwikkelen en uit te voeren, om duidelijke instructies voor en grenzen aan het gebruik van bepaalde ZVS vast te stellen. Niet alle systemen werken bijvoorbeeld even goed op verschillende oppervlakken.

In aanvulling op de praktijktesten werden de kosten van de aanschaf en het gebruik van verschillende zandzaksystemen en ZVS bepaald op basis van realistische scenario's. Dit levert een methodologie en concrete cijfers op om de kosten van de aanschaf en het gebruik van verschillende beschermingssystemen vanuit een holistisch perspectief te bepalen. Het blijkt dat de hogere investeringskosten van de onderzochte ZVS in vergelijking met zandzaksystemen reeds volledig gecompenseerd worden bij het tweede gebruik van deze herbruikbare systemen.

Het eerste deel van dit rapport is met name een Nederlandse vertaling van het artikel "Sandbag replacement systems – a nonsensical and costly alternative to sandbagging?" van Lena Lankenau, Christopher Massolle, Bärbel Koppe en Veronique Krull van de Hogeschool Bremen, in 2020 gepubliceerd in *Natural Hazards and Earth System Sciences*. Dit artikel is aangevuld met informatie over testresultaten uit aanvullende literatuurbronnen, de proefschrift van Christopher Massolle en ervaringen die zijn opgedaan tijdens verschillende hoogwateroefeningen.

Het onderhavige rapport heeft als doel een overzicht te geven van een aantal op de markt beschikbare typen van mobiele keringssystemen (dit zijn zandzakvervangende systemen), en hun voor- en nadelen, ook in vergelijking met daarmee overeenkomstige zandzaksystemen, om de Nederlandstalige lezer een beter overzicht te geven wat er op dit moment op de markt aan mobiele keringen beschikbaar is. Het rapport zal daarbij helpen de inzet van mobiele keringen bij hoogwaters te overwegen en een keuze te kunnen maken welk systeem voor het eigen beheergebied het meest geschikt is.

In **Bijlage A** is het resultaat van een enquête weergegeven die onder Nederlandse waterkeringbeheerders is gehouden om meer inzicht te verkrijgen in de al opgedane ervaringen c.q. hun voorbehoud m.b.t. de inzet van mobiele keringen en hun verwachtingen en wensen/eisen aan dergelijke systemen.

Daarnaast is in **Bijlage B** een aanzet voor een mogelijk testprogramma gegeven.

In **Bijlage C** van dit rapport zijn factsheets van een aantal op de markt beschikbare systemen opgesteld met technische specificaties, toepassingsgebieden en voor- en nadelen zoals uitvoeringstechnische aandachtspunten.

Bijlage D geeft een overzicht van de tijdens de oefening Wolkbreuk opgedane observaties en inzichten in het gebruik van een aantal systemen.

SUMMARY

In addition to flood protection using sandbags, various sandbag replacement systems (SRS) have become available in recent years as mobile barriers that can be deployed temporarily and independently of their location.

The use of sandbags is time-consuming and highly demanding in terms of materials and personnel. In contrast, SRS are reusable and require lower costs in terms of workforce and logistics. The relatively higher initial investment costs can be compensated by repeated use. To date, however, SRS are rarely applied in operational flood protection. The reasons for this include differing funding mechanisms for investment and operational costs, as well as limited confidence in the technical performance of SRS.

Several of these aspects have been investigated at the Institute of Hydraulic Engineering (IWA) of Bremen University of Applied Sciences. A series of systematic large-scale tests of sandbag systems and SRS was carried out, focusing on functionality, stability, and ease of handling. The results show that the majority of the tested SRS can provide a level of protection comparable to sandbag systems, while requiring significantly less material, simplified logistics, and fewer personnel. It is recommended that well-defined certification tests for SRS are developed and implemented in order to establish clear guidelines and limitations for their application. For instance, not all systems perform equally well on different surface conditions.

In addition to the practical tests, the costs of procurement and use of various sandbag systems and SRS were determined based on realistic scenarios. This resulted in a methodology and concrete figures to assess the costs of acquisition and operation of different protection systems from a holistic perspective. It was found that the higher investment costs of the investigated SRS, compared to sandbag systems, are already fully offset upon the second deployment of these reusable systems.

The first part of this report largely consists of a translation into Dutch of the paper “*Sandbag replacement systems – a nonsensical and costly alternative to sandbagging?*” by Lena Lankenau, Christopher Massolle, Bärbel Koppe, and Veronique Krull from Bremen University of Applied Sciences, published in 2020 in *Natural Hazards and Earth System Sciences*. This article has been supplemented with information on test results from additional literature sources, the PhD thesis of Christopher Massolle, and experiences gained during various flood exercises.

The present report aims to provide an overview of several types of mobile flood protection systems currently available on the market (i.e. sandbag replacement systems), including their advantages and disadvantages, also in comparison with corresponding sandbag systems. The report is intended to provide Dutch-speaking readers with a clearer understanding of the of mobile barrier systems available on the market. It supports decision-making regarding the deployment of such systems during flood events and helps to identify the most suitable system for a given management area.

Appendix A presents the results of a survey conducted among Dutch flood defence authorities, aimed at gaining insight into their experiences, reservations regarding the deployment of mobile flood protection systems, and their expectations and requirements for such systems.

Appendix B provides an initial outline for a potential testing programme.

Appendix C contains fact sheets of a number of systems available on the market, including technical specifications, application areas, and advantages and disadvantages, such as implementation-related considerations.

Appendix D presents an overview of observations and insights gained during the Wolkbreuk exercise regarding the use of several systems.

STOWA IN HET KORT

KENNIS OVER WATER, VOOR NU ÉN LATER

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer – kortweg STOWA – is het kennisplatform van de Nederlandse waterschappen, provincies en Rijkswaterstaat. Vanuit Amersfoort werken we aan het ontwikkelen, verzamelen, verspreiden en implementeren van toegepaste kennis. Die kennis hebben waterbeheerders nodig om de opgaven waar zij voor staan, goed uit te kunnen voeren. Of het nu gaat om klimaatadaptatie (zowel stedelijk als landelijk gebied), een goede waterkwaliteit, duurzame en effectieve afvalwaterzuivering, veilige dijken en kaden, energietransitie of circulaire economie.

Het soort kennis dat wij ontwikkelen, is breed: technisch en natuurwetenschappelijk, maar soms ook bestuurlijk en/of juridisch. Om te zorgen dat die kennis kan worden toegepast in de praktijk, presenteren we onze onderzoeksresultaten indien mogelijk in de vorm van rapporten, praktische handreikingen, tools en instrumenten. Ook faciliteren we met het oog op kennisdoorwerking leergemeenschappen en organiseren we symposia, werksessies en webinars.

Om zo veel mogelijk impact te creëren met ons werk, besteedt STOWA nadrukkelijk aandacht aan de organisatorische en menselijke factoren die de impact van ons werk kunnen beïnvloeden. Want verandering gaat via de inhoud (kennis), maar wordt gedragen door mensen. Bovendien kijken we breder dan het eigen netwerk bij het zoeken naar oplossingen. We richten onze blik daarvoor tevens op andere sectoren, gaan op zoek naar andere invalshoeken en leren van het buitenland. Via onze eigen en andermans media geven we uitleg over de achtergronden bij ons werk.

STOWA werkt vraaggestuurd en agendeert ook. We inventariseren welke kennisvragen waterbeheerders hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers: universiteiten, kennisinstituten, kennisbedrijven of adviesbureaus. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met de projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de projectresultaten de deelnemers praktische handelingsperspectieven bieden. Ieder project wordt om die reden begeleid door een commissie waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden vastgesteld door programmacommissies, waar waterbeheerders zitting in hebben.

STOWA is onafhankelijk, onpartijdig en transparant. De gebruikers van onze kennis moeten erop kunnen vertrouwen dat de inhoud van onze rapporten objectief en representatief is. Alleen zo kan onze kennis worden ingezet voor beter waterbeheer en innovaties die antwoord geven op de uitdagingen van vandaag en morgen. Het is aan waterbeheerders te bepalen hoe ze de kennis van STOWA in de praktijk gebruiken.

STOWA is een stichting die de richtlijnen volgt voor organisaties zonder winstoogmerk (RJ-640). In ons jaarverslag is daarom naast een cijfermatige jaarrekening een directieverslag opgenomen over de stichting en haar activiteiten. Het budget bedraagt jaarlijks ongeveer 20 miljoen euro. Onze deelnemers leggen gezamenlijk ieder jaar ongeveer 10 miljoen in als structurele bijdrage. Daarnaast ontvangen we jaarlijks ongeveer 10 miljoen euro in de vorm van bijdragen aan afzonderlijke projecten.

MOBIELE KERINGEN

TIJDELIJKE LOCATIEONAFHANKELIJKE ZANDZAKVERVANGENDE SYSTEMEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	SUMMARY	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Afbakening van het begrip mobiele keringen	1
	1.2 Classificatie van locatieonafhankelijke mobiele keringsystemen	1
	1.3 Voordelen van en bestaande belemmeringen voor een bredere inzet van mobiele keringen in de hoogwaterbescherming	11
	1.4 Certificering	13
	1.5 Eerder uitgevoerde tests van ZVS	14
	1.6 Aanleiding voor het uitvoeren van tests door de Hogeschool Bremen in de testfaciliteit van THW in Hoya	15
2	ZANDZAKVERVANGENDE SYSTEMEN (ZVS) EN BIJBEHORENDE GELIJKWAARDIGE ZANDZAKMETHODEN	17
3	FUNCTIONALITEIT, STABILITEIT EN HANTERING VAN DE GETESTE ZVS	22
	3.1 Beschrijving van de test	22
	3.2 Testresultaten	25
	3.3 Demontage	29
4	INZETKOSTEN, BENODIGDE TIJD, HELPERS EN LOGISTIEK	33
	4.1 Beschrijving van scenario's	33
	4.1.1 Beschouwde systemen	33
	4.1.2 Uitgangspunten	33
	4.2 Kosten van inzet	36
	4.3 Tijd, hulp en logistieke vereisten	37

5	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	43
5.1	Conclusies uit het onderzoek van Lankenau e.a. (2020)	43
5.2	Resultaten en conclusies uit enquête onder Nederlandse dijkbeheerders	45
5.2.1	Instelling tegenover mobiele keringen en opgedane ervaringen	45
5.2.2	Mogelijke testlocaties	47
5.2.3	Door de keringbeheerders aan een mobiele kering gestelde eisen en wensen	50
5.3	Conclusies uit literatuuronderzoek, productbeschrijvingen en ervaringen vanuit oefeningen	52
5.3.1	Functionele beoordelingskenmerken voor de selectie van systemen	52
5.3.2	Conclusies n.a.v. verdere literatuurstudies en ervaringen bij oefeningen	54
5.4	Conclusies over mobiele keringen	55
6	REFERENTIES	58
BIJLAGE A	ENQUÊTE OVER INZET MOBIELE KERINGEN	62
BIJLAGE B	TESTCRITERIA EN MOGELIJK TESTPROGRAMMA	74
BIJLAGE C	FACTSHEETS	78
	FACTSHEET AQUARIWA (“FRANKFURTER TONNE”)	79
	FACTSHEET BOXBARRIER	87
	FACTSHEET BUITINK FLEXIBELE WATERDAM (BFW)	92
	FACTSHEET WATER-GATE SELF-INFLATING BARRIER	99
	FACTSHEET FLUTSCHUTZ AUFLASTFILTER (BALLASTDRAINAGE)	105
	FACTSHEET FLUTSCHUTZ QUELLKADE (RINGDAMACHTIGE OPKISTING)	108
	FACTSHEET GEODESIGN BARRIER	112
	FACTSHEET HAAWAL	120
	FACTSHEET HYDROBAFFLE	128
	FACTSHEET TUBE BARRIER	137
	FACTSHEET WATERSCHOT / NOAQ BOXWALL	143
	FACTSHEET EUROPALLET-FRAMEBARRIÈR	150
BIJLAGE D	ERVARINGEN EN INZICHTEN OPGEDAAN BIJ HOOGWATEROEFENING WOLKBREUK	159

1

INLEIDING

1.1 AFBAKENING VAN HET BEGRIP MOBIELE KERINGEN

Permanente keringen, zoals bijvoorbeeld dijken, keermuren en andere waterkerende constructies, zijn altijd aanwezig en hoeven niet apart te worden opgebouwd bij een (dreigend) hoogwater. Deze zijn echter niet overal even gemakkelijk te realiseren, zoals in stedelijke gebieden, waar op en rond een waterkeringstracé een grote veelheid aan gebruiksfuncties bestaan, en waar een permanente oplossing niet inpasbaar is vanwege bijvoorbeeld het stadsgezicht, historische gebouwen en (multifunctioneel) ruimtegebruik (en gebrek aan ruimte in het algemeen).

In dergelijke gevallen ligt het voor de hand om mobiele keringen te gebruiken omdat die vaak beter inpasbaar zijn. Bij mobiele keringen wordt onderscheid gemaakt tussen demontabele keringen en tijdelijke keringen. Demontabele waterkeringen zijn systemen waarvan enkele onderdelen al op de locatie zijn geïnstalleerd, zoals een fundering. Een ander deel van de constructie wordt alleen bij dreigend hoogwater opgebouwd. Tijdelijke keringen zijn systemen die nog naar de locatie moeten worden vervoerd en volledig geïnstalleerd moeten worden. Na afbouw blijft er onder normale omstandigheden niets op de locatie achter.

In dit rapport ligt de focus op tijdelijke keringen. Dit zijn systemen die tijdens een hoogwatersituatie in het kader van de operationele hoogwaterbescherming als noodkeringen kunnen worden toegepast, om het overstromingsrisico en schade te beperken.

De basis van dit rapport vormt een wetenschappelijk artikel van onderzoekers van de Hogeschool Bremen (Duitsland), die op een testfaciliteit van Duitse federale technische hulpverleningsdienst THW (Duits: Technisches Hilfswerk) in Hoya een aantal tijdelijke keringen hebben getest. Grote delen van dit artikel zijn vertaald en direct overgenomen.

Dit rapport is verder aangevuld met informatie over nog een aantal andere op de markt beschikbare systemen en praktische ervaringen bij de inzet van deze en andere tijdelijke keringen in oefeningen, en resultaten van andere gebruiks- en certificeringstests.

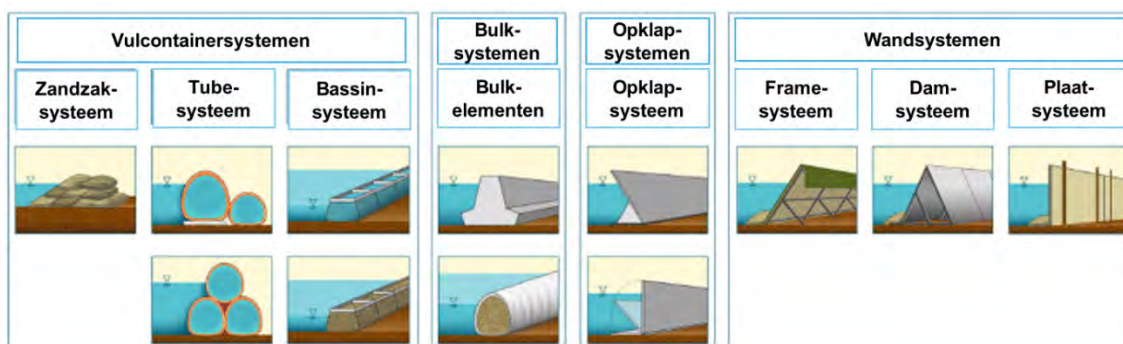
Van een aantal van de hier behandelde systemen zijn factsheets gemaakt waarin niet alleen de technische eigenschappen zijn opgenomen, maar ook de benodigde inzet qua tijd, menskracht en materieel, het ruimtebeslag en andere aandachtspunten voor hun toepassing. Deze factsheets zijn in Bijlage A van dit rapport opgenomen.

1.2 CLASSIFICATIE VAN LOCATIEONAFHANKELIJKE MOBIELE KERINGSYSTEMEN

Het klassieke hulpmiddel bij de operationele hoogwaterbescherming is de zandzak. Een klassieke tijdelijke kering bestaat daarom uit zandzaksystemen zoals een dam van zandzakken. Sinds enige tijd zijn er als tijdelijke keringen ook zogenaamde zandzakvervangende systemen (hierna ZVS genoemd) beschikbaar. Het aanbod van deze systemen is de

afgelopen jaren sterk uitgebreid, evenals de praktische toepassing ervan, hoewel het gebruik ervan nog steeds zeer beperkt is. Figuur 1.1 toont dergelijke mobiele, locatieafhankelijke waterkeringssystemen, die kunnen worden onderverdeeld in tubesystemen (dit zijn flexibele buizen), bassin-, opklap-, frame-, dam- en plaatsystemen, en bulkelementen. De systemen gaan overstromingen tegen door hun bulkgewicht, dat wordt geïnduceerd door water, zand of beton (in container- en bulksystemen), of door hun geometrie in combinatie met de verticale hydrostatische waterdruk (in opklap-, frame-, dam- en luchtgevulde tubesystemen – de laatste zijn niet weergegeven in Figuur 1.1), waarbij beide methoden resulteren in wrijvingskrachten op de grond. Plaatsystemen bestaan uit platen die op hun plaats worden gehouden door stokken die aan weerszijden in de grond worden geslagen.

Figuur 1.1 Classificatie van locatieafhankelijke mobiele keringen (Massolle e.a., 2018, aangepast).



Locatieafhankelijke mobiele hoogwaterbeschermingssystemen kunnen systematisch worden geïnclassificeerd in vier hoofdgroepen: vulcontainersystemen, bulksystemen, opklap-systemen en wandsystemen. Binnen deze hoofdgroepen vindt een nadere indeling plaats op basis van constructieve opbouw, geometrische configuratie en materiaalgebruik.

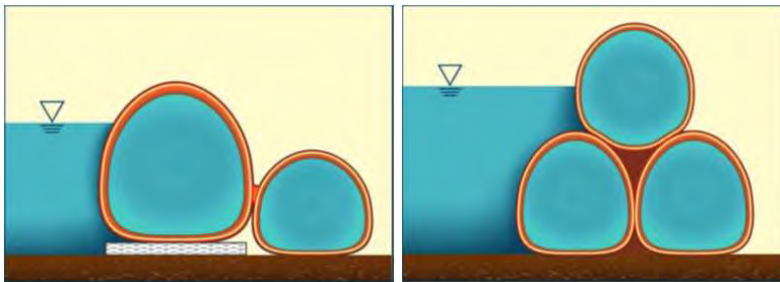
Vulcontainers:

Containersystemen zijn constructies uit naast elkaar geplaatste onderdelen die vóór of tijdens inzet worden gevuld met minerale vaste stoffen (zoals zand, grind of grond), water of lucht. Afhankelijk van de constructieve uitvoering worden containersystemen onderverdeeld in zandzaksystemen, tubesystemen en bassinsystemen.

Onderscheid kan gemaakt worden tussen systemen die bestaan uit (gewapend) geotextiel en systemen die bestaan uit harde kunststof. De systemen worden in het algemeen middels een plakstrip, ring of metalen pin aan elkaar gekoppeld om waterdichtheid te garanderen. Systemen gevuld met water of lucht bestaan uit flexibele buizen, die door middel van het opvullen met lucht of water tot een kering worden getransformeerd. Door de flexibele aard van de systemen sluiten deze over het algemeen goed aan op de ondergrond.

TUBESYSTEMEN:

Figuur 1.2 Schematische weergave van tubesystemen (Massolle, 2023).



Dit zijn gesloten vulcontainersystemen en worden in tubevorm (buis- of slangstelsysteem) aangeboden. Deze systemen zijn robuuste, gewapende kunststofmembranen met een waterdichte coating die gevuld worden met water. Het materiaal is vooral van gecoat polyester.

De tubesystemen worden opgevouwen of opgerold geleverd en op de locatie van inzet uitgerold, gepositioneerd en onderling stevig en zo waterdicht mogelijk aan elkaar gekoppeld. Hierdoor kunnen dammen van elke lengte worden gerealiseerd. Vanwege het geringe gewicht kan dit zonder hulpmiddelen gebeuren. Sommige systemen worden eerst met perslucht opgeblazen en vervolgens samengevoegd tot een dam. Daarna worden de tubes met brandweerslangen en pompen gevuld met water uit nabijgelegen waterbronnen terwijl tegelijkertijd de lucht wordt afgevoerd. Andere systemen worden direct met water gevuld. Stabiliteit wordt voornamelijk bereikt door het eigen gewicht en de waterdruk of een voorliggende of vast verbonden afdichtingsbanen (schort) dat ook het weggrollen vermindert. De van buiten opgelegde hydrostatische druk door het gekeerde water heeft dan juist een stabiliserend effect.

Gangbare systemen hebben standaardsegmentlengtes van 10 – 15 m, soms 30 m. Met hulpmiddelen kunnen segmenten tot 50 m in een keer worden opgebouwd.

Bij tubesystemen met een beschermingshoogte van $>0,5$ m worden twee tubes parallel naast elkaar geplaatst omdat een losse tube door de druk van het te keren water zal weggrollen. De twee tubes zijn door een verbindingsstuk of met riemen vast met elkaar verbonden. Bovendien kan het beschermingsniveau van bestaande dijken door tubesystemen worden verhoogd. Extra hoogte kan worden bereikt door een derde tube op de andere twee al met water gevulde tubes met riemen te fixeren.

Tubesystemen kunnen snel worden opgebouwd met relatief weinig personeel. Vanwege de flexibele buitenkant kunnen tubesystemen overal worden toegepast. Zij passen zich door hun eigen gewicht en vorm zeer goed aan de ondergrond en de topografie aan en kunnen daarom ook op zachte ondergronden goed worden ingezet.

De flexibele buitenmantel van de tube maakt ook lokale afdichting van doorgangen voor opritten of muuropeningen mogelijk.

Het gebruik bij vorst is sommige van deze systemen problematisch, omdat het bevriezen van het water in de buizen voor stabiliteitsproblemen kan zorgen.

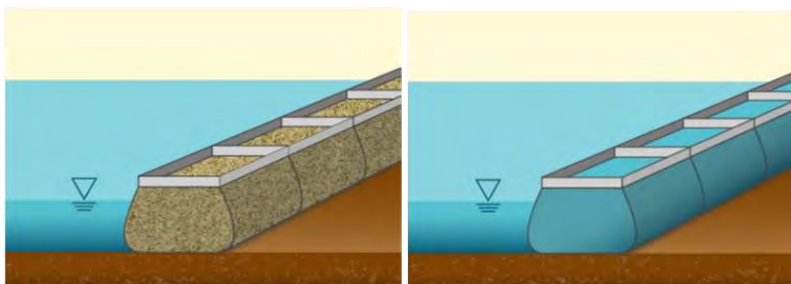
Na gebruik moeten de tubesystemen worden gelegeerd en worden gecontroleerd op scheuren en slijtage en indien nodig worden gerepareerd. Vervolgens kunnen ze worden hergebruikt.

Bij tubesystemen is de variatie aan op de markt beschikbare mobiele keringen zeer uitgebreid. Deze systemen onderscheiden zich soms alleen in details die wel bij de installatie door de benodigde handelingen het verschil kunnen uitmaken in de opbouwtijd, maar ook in de manier van het aan elkaar koppelen van de module en de mogelijkheid om de kerende hoogte achteraf nog te verhogen. Bij sommige systemen is ook een bovenstreams schort geïntegreerd wat een grote invloed heeft op onderloopsheid, de stabiliteit van de ligging van het systeem en de bescherming van de tube tegen bijvoorbeeld de impact van drijf hout. Ook zijn niet alle tubesystemen volledig krachtsluitend met elkaar te koppelen.

Een aandachtspunt is de gevoeligheid voor lekkage als gevolg van beschadiging door scherpe voorwerpen, drijf vuil en/of vandalisme. Sommige systemen zijn meer gevoelig voor beschadiging dan andere.

BASSINSYSTEMEN:

Figuur 1.3 Schematische weergave van bassinsystemen, links met zand gevuld, rechts met water (Massolle, 2023).



Bassinsystemen zijn open vulcontainersystemen (bekken) die aan elkaar worden geplaatst om een kerende barrière te vormen. De hoogte van deze systemen is 1,0 tot 3,0 m. Zij bestaan uit modulaire open stalen frameconstructies met een scheurbestendig en slijtvast geotextiel als omhulsel. Ook big bags vallen hieronder. Ze worden op de inzetlocatie opgebouwd en worden gevuld met zand, grind, grond of water. Voor de watervulling is een inwendige waterdichte zak noodzakelijk. Het vooraf vullen en positioneren met hijsmiddelen is mogelijk, maar stelt ook hogere eisen aan de bereikbaarheid en draagkracht van de ondergrond.

Daarnaast zijn er ook systemen die gemaakt zijn van glasvezelversterkte kunststofpanelen die tot cilinders kunnen worden opgerold en met een eenvoudig systeem worden gesloten. Dergelijke bassinsystemen met een smalle rand zakken weg in drassige grond. Vaak kunnen deze systemen alleen op verharde wegen een noemenswaardige stuwhoogte weerstaan.

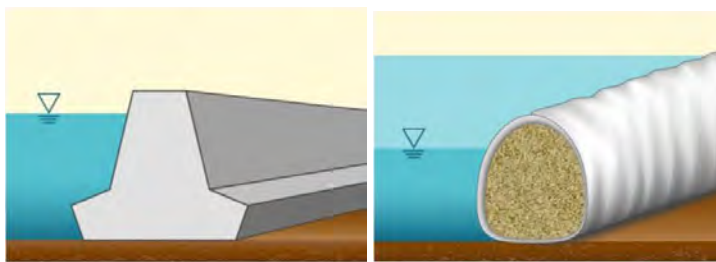
Met open vulcontainersystemen kunnen dammen van elke lengte worden gebouwd. In het algemeen wordt de dichtheid van de voegen tussen vulcontainers al gegarandeerd door het aan elkaar aandrukken van de gevulde containers, of moeten deze ter plaatse met elkaar worden verbonden, bijvoorbeeld met schroeven. Een extra folie ter afdichting is niet noodzakelijk.

Deze systemen zijn relatief stabiel door hun grote massa, geschikt voor verschillende ondergronden en ook stapelbaar. Zij kunnen makkelijk worden gebruikt in ruw terrein, aangezien er geen zwaar gereedschap nodig is voor de bouw en het transport ervan.

Afhankelijk van het type systeem, bijvoorbeeld met of zonder frame, verschilt de benodigde opslagruimte sterk. Ook afhankelijk van het type vulcontainersysteem kunnen de onderdelen worden hergebruikt. Bij hergebruik van het systeem moeten de onderdelen worden geleegd en, indien nodig, gereinigd en gedroogd.

BULKSYSTEMEN:

Figuur 1.4 Bulksystemen van beton of van met zand gevulde geotextielslangen (Massolle, 2023).



Bulksystemen zijn massasystemen, bestaan uit zware, moeilijk hanteerbare elementen van beton (betonnen prefabelementen in vorm van keerwanden of betonblokken met een hoge veiligheid tegen kantelen zoals snelwegbarrières) of uit ter plaatse met geotextiel omhulde, continue zandgevulde slangen. Deze systemen ontleen hun werking aan hun grote eigen massa. Bulkelementen worden ingezet bij extreme belastingen (sterke stroming en drijfvuil) waar stabiele werking uitsluitend door een groot eigen gewicht kan worden gewaarborgd.

De afzonderlijke betonelementen worden doorgaans zonder specifieke afdichting geplaatst, waardoor enige waterdoorlatendheid wordt geaccepteerd; deze kan worden beperkt door toepassing van een voorliggende afdichtingsbaan en zandzakken voor de fixatie van de folie.

Betonblokken zijn verkrijgbaar in uiteenlopende afmetingen, met hoogten van circa 0,40 tot 1,20 m en gewichten tot circa 4,3 ton. Sommige bloktypen zijn stapelbaar, waardoor – bij voldoende draagkracht van de ondergrond – grotere beschermingshoogtes kunnen worden gerealiseerd.

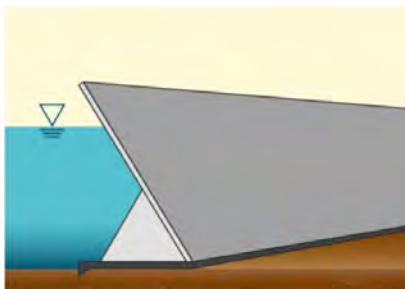
Zowel bij de opbouw als bij het demonteren is inzet van zware transport- en hijsmiddelen

noodzakelijk en moeten voertuigen voor het laden en lossen beschikbaar zijn. Dit stelt hoge eisen aan beschikbare manoeuvreerruimte, ondergrond en bereikbaarheid van de inzetlocatie.

Massasystemen zijn minder flexibel en tijdsintensiever in op- en afbouw dan andere mobiele keringsystemen en daarom vooral geschikt voor kritische locaties waar betrouwbaarheid zwaarder weegt dan snelheid of flexibiliteit.

OPKLAPSYSTEMEN:

Figuur 1.5 Schematische weergave van een opklapsysteem. Met stijgende waterstand klapt het water het systeem omhoog en ballast de horizontale onderkant, waardoor meer stabiliteit ontstaat (Massolle, 2023).



Opklapsystemen zijn een speciale vorm van open vulcontainers. Zij bestaan uit star plaatmateriaal of sterke geplooid kunststofzeilen, waar de bredere kant op de grond ligt en de korte kant zich met het aanstromende water bij een toenemende waterstand zelfstandig vult en openklapt, zover als de zijdelingse kunststofwanden dit toelaten.

Opklapsystemen liggen na het uitrollen vrij op de grond en wachten op het hoogwater, zonder dat men zeker kan zijn dat alles werkt. Bovendien is de stabiliteit van deze systemen afhankelijk van het gewicht van het water dat op het horizontale gedeelte van het systeem drukt. Hoe hoger de waterstand hoe stabiel het systeem. Zolang er nog geen hoogwater wordt gekeerd zijn deze systemen bij storm zeer kwetsbaar en kunnen ze volledig wegwaaien. Het is niet 100% zeker dat het systeem over de hele lengte vanzelf rechtop komt te staan. Dat betekent dat tot het moment dat het water komt, veel hulpverleners paraat moeten staan om het systeem indien nodig te helpen rechtop te komen. Als het rechtop komen van het systeem wordt verbeterd door bijvoorbeeld steunen te plaatsen, wordt de kwetsbaarheid voor wind drastisch vergroot.

Opklapsystemen worden vooral voor het afzetten van frontaal toestromend water ingezet. Op een gladde ondergrond wordt veiligheid tegen wegglijden door ankers gehinderd.

Zij verkrijgen hun stabiliteit door het gewicht dat op het horizontale op de ondergrond liggende gedeelte van het systeem drukt. Dit versterkt de wrijving en daarmee de weerstand tegen verschuiven. Dit betekent dat de druk bij een geringe waterstand nog niet voldoende is om onderloopsheid tegen te gaan. Bovendien vereisen deze systemen een goede doorgaande aansluiting aan de ondergrond. Op gladde ondergronden zijn extra maatregelen nodig (gronddankers, zandzakken).

Als er plooiën in het zeil zitten, bijvoorbeeld omdat het zeil bij een bocht of langs een wand wordt geleid, vormen deze locaties een zwakke plek. Het systeem ontvouwt zichzelf wel met het opkomende water. Om er echter zeker van te kunnen zijn dat het systeem overall voldoende omhoogkomt, moeten steunelementen worden geplaatst. Deze hebben echter het nadeel dat het systeem heel windgevoelig is, zolang er nog geen water gekeerd wordt. Zolang er nog geen water wordt gekeerd is het systeem vlak en kan het door voertuigen worden gepasseerd.

Deze systemen zijn door de snelle plaatsing met potentieel weinig personele inzet ook snel tijdelijk inzetbaar, maar hebben beperkingen qua stabiliteit, aanpasbaarheid en de mogelijkheid tot combinatie met andere mobiele systemen.

Wandsystemen:

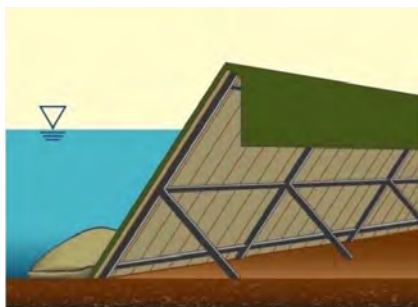
Wandsystemen zijn ondersteunende constructies met stijve elementen, waarbij de waterdichtheid is geïntegreerd in het systeem of wordt bereikt door toepassing van een aan de waterzijde aangebrachte afdichtingsbaan, die ook onderloopsheid beperkt. Het zijn vrijstaande keermiddelen bestaan uit stalen, houten of kunststofframes, welke met verschillende materialen worden bedekt. Het systeem wordt afgedekt met een membraan om de constructie waterdicht te maken. Met wandsystemen kunnen hoge beschermingshoogtes worden gerealiseerd.

Deze systemen zijn bij de juiste voorbereiding snel te monteren en bijzonder geschikt voor stedelijke of infrastructurele omgevingen waar weinig ruimte beschikbaar is.

Binnen de wandsystemen worden framesystemen, damsystemen en plaatsystemen onderscheiden.

FRAMESYSTEMEN:

Figuur 1.6 Schematische weergave van een framesysteem (Massolle, 2023).



Framesystemen (in de literatuur ook aangeduid als boksystemen) bestaan uit stijve wanddelen die door een achterliggende frame- of schoorconstructie worden gestabiliseerd. Ze zijn flexibel inzetbare, aaneengeschakelde constructies die met een beperkte krachtsinspanning kunnen worden opgebouwd. Deze systemen bestaan hoofdzakelijk uit drie componenten: een onderconstructie van metaal of kunststof, die langs de beschermingslijn wordt geplaatst als steunpunten, wandelementen (bijv. europallets of speciaal vervaardigde platen van hout, metaal of kunststof) en een afdichtingsbaan (folie of zeil). Om de ondersteuningsconstructie op de grond te verankeren, worden haringen of ankerbouten gebruikt. Op de ondersteuningsconstructie worden de wandelementen (staalplaten of europallets) gemonteerd; de afdichtingsbaan wordt aan de waterzijde van de wandelementen aangebracht en met zandzakken of zware kettingen aan de grond gefixeerd.

Met deze systemen kunnen dammen van elke lengte worden gebouwd. Afhankelijk van het systeem kunnen verschillende beschermingsniveaus worden bereikt. Bij wandelementen van metaal zijn beschermingshoogtes van 3,0 m mogelijk, waarbij de puntvormige belasting van de ondergrond extra aandacht vereist.

Om de stabiliteit van framesystemen te garanderen moet de ondergrond stabiel zijn en niet te hobbelig. Belastingoverdracht doorgaans puntvormig via de steunpunten op de ondergrond. Toepassing op zachte of onvoldoende draagkrachtige ondergronden wordt afgeraden omdat de voeten van de ondersteuningsconstructie in de grond kunnen zakken, waardoor de realiseerbare stuwhoogte beperkt wordt en het systeem daardoor scheef kan komen te staan en uiteindelijk zou kunnen kantelen. Ook kan in lengterichting makkelijk lekkage ontstaan tussen meer en minder verzakte delen. Een aanvullende verankering in de draagkrachtige ondergrond kan zijdelingse verplaatsing onder belasting voorkomen.

Het werken met vaste palletafmetingen kan bij variërende ondergrondhoogtes of restlengtes tot aansluitproblemen leiden, die vaak met zandzakken moeten worden opgevangen. Framesystemen met dunwandige wandelementen zijn in dit opzicht flexibeler en kunnen overlappend worden geplaatst of worden aangepast aan bestaande constructies.

Sommige producenten bieden systemen met verschillende constructiehoogtes aan zodat grote hoogteverschillen van de ondergrond kunnen worden gecompenseerd.

Voor een snelle installatie van framesystemen is een systematische opslag noodzakelijk. Na gebruik moeten framesystemen worden gecontroleerd, gereinigd en gedroogd, en kunnen ze vervolgens opnieuw worden gebruikt.

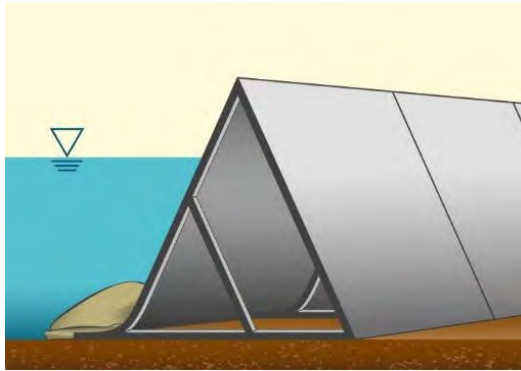
Een goedkope variant van industrieel geproduceerde framesystemen kan met europallets worden gerealiseerd. Framesystemen met europallets zijn weinig flexibel qua hoogte vanwege de gestandaardiseerde breedte van elk europallet. Bij toepassing van europallets zijn stuwhoogtes en steunpuntafstanden bepaald door de standaardafmetingen (1,20 m × 0,80 m). Bij één palletrij is de beschermingshoogte circa 1,0 m; met een tweede rij kan deze worden vergroot tot maximaal circa 1,8 m. Het voordeel is dat Europallets vaak in grote hoeveelheden beschikbaar zijn.

Figuur 1.7 Framesysteem van Europallets (Foto: Ulrich Förster)



DAMSYSTEMEN:

Figuur 1.8 Schematische weergave van een damstelsel met geïntegreerde spreidrem ter plaatse van de voetconstructie (Massolle, 2023).



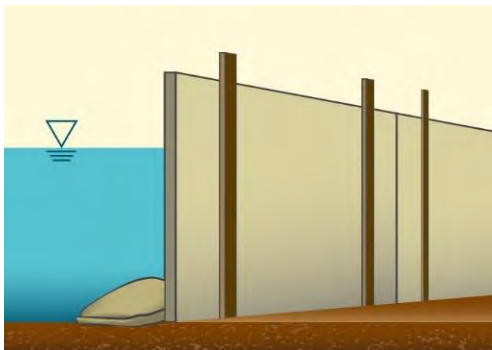
Damsystemen zijn zelfdragende wandssystemen met een verbrede voetconstructie, waarbij de stabiliteit wordt ontleend aan eigen gewicht en geometrie. De waterkering kan bestaan uit waterdichte elementen of worden gerealiseerd door toepassing van een aan de waterzijde aangebrachte afdichtingsbaan.

Het wandelement fungeert gelijktijdig als draag- en stutconstructie, waardoor voor de realisatie van de beschermingsbarrière relatief weinig opbouwstappen noodzakelijk zijn. De constructies bestaan doorgaans uit lichte materialen, zoals kunststof, aluminium of een combinatie daarvan, zodat bij een beperkt eigen gewicht toch voldoende stabiliteit kan worden bereikt en ergonomisch gunstige arbeidsomstandigheden tijdens de opbouw mogelijk zijn. Optredende trekkrachten ter plaatse van de voet van de constructie worden opgenomen binnen het systeem zelf of door toepassing van spreidremmen.

De afzonderlijke elementen kunnen aaneengeschakeld worden tot een doorlopende beschermingslijn. Indien de constructie niet op zichzelf waterdicht is, dient de waterdoorlatendheid te worden beperkt door middel van een aan de waterzijde aangebrachte afdichtingsbaan (zeil of folie). Ter voorkoming van zijdelingse verplaatsing kunnen grondankers worden toegepast, hoewel deze met name bij verweerde of slappe bodems beperkingen kennen. Richtingsveranderingen in de beschermingslijn kunnen met behulp van systeemspecifieke hoekelementen worden gerealiseerd.

Voor de aansluiting op oneffenheden en variaties in terreinhoogte (bijv. stoepanden) zijn speciale paselementen beschikbaar. Aansluitingen op bestaande bouwwerken worden gerealiseerd met speciale aansluitstukken of door toepassing van zandzakken.

Na inzet worden damsystemen gereinigd, geïnspecteerd op beschadigingen en in droge toestand opgeslagen, zodat hernieuwde inzet mogelijk blijft.

Plaatsystemen:**Figuur 1.9** Schematische weergave van de opbouw en werking van een plaatsysteem (Massolle, 2023).

Plaatsystemen zijn eenvoudige, tijdelijk inzetbare wandsystemen die bestaan uit schotten of platen in combinatie met ingeheide wapeningstaven of houten palen. Zij worden niet als commercieel systeem aangeboden, maar gelden als eenvoudige, lichtgewichtige noodoplossing die met gangbare materialen kan worden opgebouwd. Het constructieve principe is eenvoudig en maakt gebruik van materialen die veelal beschikbaar zijn op gemeentelijke bouwdepots, bouwplaatsen en bij bouwmarkten.

De stabiliteit van paneelsystemen wordt gerealiseerd door het inslaan van wapeningstaven of palen in de ondergrond, waarmee de schotten op hun plaats worden gehouden. De systemen zijn uitsluitend geschikt voor toepassing bij geringe opstuwhoogtes ($\leq 0,50$ m) en vereisen een ondergrond waarin het inslaan van deze elementen technisch mogelijk is. Met name bij sterk verweekte of slappe bodems kan dit een beperking vormen. Indien aanvullende afdichting noodzakelijk is, kan deze worden gerealiseerd door toepassing van een aan de waterzijde met zandzakken verzwaarde afdichtingsbaan.

Voor het compenseren van oneffenheden in het terrein kunnen vooraf geplaatste zandzakken worden toegepast. Door de eenvoudige constructiewijze zijn plaatsystemen beperkt aanpasbaar aan variaties in terreinhoogte en aansluitingen op bestaande constructies, waardoor de inzetbaarheid in complexe situaties gering is.

In het algemeen hebben locatieafhankelijke mobiele hoogwaterbeschermingssystemen geen extra verankering aan de grond nodig. Sommige producenten bieden deze mogelijkheid echter wel, wat een veiligheidstoeslag met zich meebrengt of noodzakelijk kan zijn als er hoge stroomsnelheden of een grote windbelasting op het systeem worden verwacht. Zowel zandzakken als ZVS worden in crisissituaties gebruikt, vooral wanneer permanente beschermingssystemen tegen overstromingen zoals dijken (dreigen te) falen of wanneer er geen permanente beschermingssystemen tegen overstromingen beschikbaar zijn omdat men dacht dat het bedreigde gebied geen risico liep. Bij extreme overstromingen worden dus zowel zandzakken als ZVS gebruikt. Tot nu toe is er geen wettelijke verplichting om de functionaliteit van een ZVS aan te tonen.

In het rapport “Van zandzak naar innovatie” (STOWA, 2025) is een grondslag gelegd hoe innovatie mobiele tijdelijke waterkeringen bij overstromingsdreiging juridisch sneller en effectiever ingezet kunnen worden.

In het algemeen zijn ZVS geschikt voor hoogwaterbescherming en kunnen ze qua functionaliteit worden gelijkgesteld aan zandzakken (zie Pinkard e.a., 2007; Niedersächsischer Landtag, 2014; Massolle e.a., 2018). De effectiviteit van het individuele systeem kan verschillen afhankelijk van de constructie, geometrie en vulling. Desalniettemin hebben besluitvormers betrouwbare informatie nodig over de algemene functionaliteit van een individueel ZVS. Deze informatie is niet altijd beschikbaar en vaak niet van een onafhankelijke bron.

1.3 VOORDELEN VAN EN BESTAANDE BELEMMERINGEN VOOR EEN BREDERE INZET VAN MOBIELE KERINGEN IN DE HOOGWATERBESCHERMING

Het inzetten van zandzakken is tijdrovend en zeer intensief wat betreft materiaal en personeel (of menskracht meer in het algemeen). ZVS hebben het potentieel om veel efficiëntere waterkeringen te zijn omdat het gebruik ervan aanzienlijk minder materiaal, menskracht en tijd vergt dan conventionele zandzakken. Er zijn bijvoorbeeld 16.500 zandzakken en 250 ton zand nodig om een 100 m lange en 1,0 m hoge zandzakdam op te bouwen (THW, 2017). Zonder rekening te houden met bijkomende inspanningen, zoals de logistiek van de aanvoer van materiaal en menskracht, zouden 60 personen ongeveer 10 uur nodig hebben om de zandzakken te vullen en de dam op te bouwen (cf. THW, 2017). Het voordeel van het gebruik van zandzakken ligt echter in de mogelijkheden voor flexibele inzet en de jarenlange praktijkervaring. Figuur 1.2 toont brandweerlieden die een dijk verhogen door een tijdelijke dam van zandzakken op te werpen.

Figuur 1.10 Brandweer bouwt een zandzakdijk op tijdens het Elbe hoogwater 2013 (Lankenau e.a., 2020)



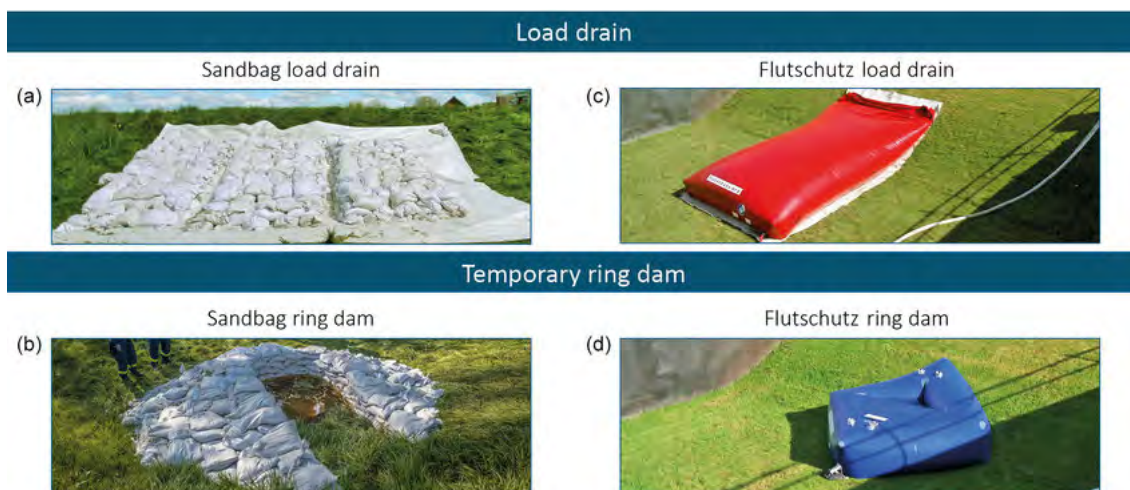
ZVS hebben helemaal geen vulling nodig of de vulling wordt geplaatst met technische hulpmiddelen zoals pompen (watervulling), wielladers (zandvulling) of kranen (stortelementen van beton). De systemen kunnen dus met aanzienlijk minder tijd en minder mensen worden opgezet en ontmanteld (zie Massolle e.a., 2018). De logistieke inspanningen worden geminimaliseerd als er geen vulling nodig is of als er water wordt gebruikt, dat meestal lokaal

kan worden verkregen. In tegenstelling tot zandzakken zijn ZVS herbruikbaar en hoeven na een overstroming niet tegen hoge kosten te worden weggegooid. Vanuit dit oogpunt kunnen ZVS ook geschikt zijn voor geplande beschermingsmaatregelen tegen overstromingen in gebieden waar geen permanente beschermingsmaatregelen tegen overstromingen kunnen worden toegepast. Het grootste nadeel van ZVS zijn de hogere aanschafkosten. Door de lagere financiële uitgaven voor helpers, logistiek en afvoer van materiaal kunnen deze hogere investeringskosten echter door hergebruik worden gecompenseerd.

Een ander nadeel is het nog beperkte vertrouwen in en de beperkte algemene kennis over de functionaliteit van ZVS. Naast het lage vertrouwen in de algemene functionaliteit van een ZVS, zijn gevoeligheid voor vandalisme of mechanische invloeden, zoals de impact van drijfvuil of voertuigen en het collectief falen van ZVS (waardoor een domino-effect ontstaat) een grote zorg. In het algemeen kan de functionaliteit van zandzakdammen ook door vandalisme of mechanische invloeden in gevaar worden gebracht, maar minder door collectief falen, tenzij de zandzakdam ernstig overstroomt waarbij de stroming over een lange afstanden de dam overspoelt. Echter kan ook een zandzakdam falen als er bij het plaatsen van de zandzakken niet zorgvuldig is gewerkt, want ook een zandzakdam begint bij de zwakste schakel met falen.

Tijdelijke keringen van zandzakken of lineaire ZVS worden aangelegd om het achterland te beschermen tegen inundatie. Daarnaast worden zandzakken ook gebruikt op binnentaluds, om sterk verzadigde dijken gericht te beveiligen op geselecteerde plekken waar veel kwel optreedt. Dit kan met behulp van een tijdelijke opkisting of over een groter gebied met behulp van een ballastdrain (dit is een soort steunberm van zandzakken, of een drainage in vorm van een geotextiel of een andere water wegleidende constructie). Het merk Flutschutz biedt vergelijkbare ZVS voor het verzwaren en draineren van het binnentalud of het opkisten van een wel (Figuur 1.3). Op zandzakdammen en lineaire ZVS worden bij een hoogwater hoge belastingen uitgeoefend. Op opkistingen en ballastdrainages daarentegen worden over het algemeen lagere belastingen uitgeoefend omdat deze binnendijks worden toegepast waardoor zij niet onderhevig zijn aan de directe hoge hydrostatische belasting door het buitenwater of de dynamische impact die door golven of drijfvuil veroorzaakt wordt. Deze systemen lopen daarom minder gevaar hun functionaliteit tijdens de inzet te verliezen.

Figuur 1.11 Dijkversterkende maatregelen voor een verzadigde dijk over een uitgebreid gebied (lastdrain) en voor een zeer lokale kwelwaterafvoer (tijdelijke ringdam als opkisting). Zandzaksystemen (a, b) en bijbehorende ZVS (c, d) worden getoond. (Lankenau e.a., 2020).



In Duitsland werden tijdens de overstroming van de Elbe in 2013 slechts in uitzonderlijke gevallen ZVS gebruikt (AQUARIWA, 2019; Mobildeich, 2019), ondanks het feit dat het gebruik van zandzakken voor mobiele waterkeringen zeer tijd-, arbeids- en materiaalintensief is. Figuur 1.4 toont twee ZVS na de overstroming van de Elbe in 2013. De twee systemen werden succesvol toegepast om te voorkomen dat het achterland overstroomde (Niedersächsischer Landtag, 2014).

Om het vertrouwen van besluitvormers in ZVS te vergroten en de beschikbaarheid van alleen goed functionerende ZVS te bevorderen, is het wenselijk om systematische tests uit te voeren op functionaliteit, stabiliteit en hantering en om relevante certificeringsprocedures te ontwikkelen en hanteren. Naast de functionaliteit van ZVS moeten ook hun kosten en efficiëntie in termen van benodigde menskracht, tijd en logistiek in vergelijking met zandzaksystemen worden onderzocht om de besluitvormers te ondersteunen.

Figuur 1.12 ZVS in de buurt van Gartow (Nedersaksen, Duitsland) na de overstroming van de Elbe in 2013 met behulp van (a) AQUARIWA en (b) Quick Damm type E (Lankenau e.a., 2020).



1.4 CERTIFICERING

Op internationaal niveau bestaat er al een overeenkomstige certificering. Deze kan worden toegekend door de wereldwijd actieve test- en certificeringsdienst FM Approvals (FM Approvals, 2019), gebaseerd op de American National Standard for Flood Abatement Equipment (ANSI en FM Approvals, 2014), en door het British Standards Institution (BSI, 2019a), gebaseerd op de PAS (Publicly Available Specification) voor hoogwaterbeschermingsproducten (specificatie type 2, tijdelijke en demonteerbare hoogwaterbeschermingsproducten; BSI, 2014). Specifieke ZVS die zijn gecertificeerd door FM Approvals zijn te vinden via het National Flood Barrier Testing & Certification Program (NF-BTCP, 2019), en ZVS die zijn gecertificeerd door het BSI Kitemark zijn te vinden via het BSI (BSI, 2019b). In Nederland of Duitsland is momenteel geen overeenkomstig certificerings- of testsysteem voor ZVS beschikbaar. Er is echter wel enige informatie te vinden over het ontwerp en zowel het geplande als het ongeplande gebruik van ZVS in Duitstalige landen, met name in de aanbevelingen van de folder “Mobile Hochwasserschutzsysteme – Grundlagen für Planung und Einsatz”, uitgegeven door de

Duitse vereniging van ingenieurs voor water- en afvalbeheer en cultuurbouw (BWK, 2005), in het handboek Mobiele hoogwaterkering, uitgegeven door de Oostenrijkse vereniging voor water- en afvalbeheer (ÖWAV, 2013), en in de besluitvormingshulp Mobiele hoogwaterkering, uitgegeven door de Zwitserse vereniging van kantonnale brandverzekeraars en het Zwitserse federale bureau voor water en geologie (VKF en BWG); zie Egli (2004).

1.5 EERDER UITGEVOERDE TESTS VAN ZVS

Er zijn relatief weinig publicaties over vergelijkende studies van zandzaksystemen met ZVS. Bij tests in het testbassin van het US Army Corps of Engineers (USACE) werden één zandzakdam, twee zandgevulde containersystemen en één framesysteem onderzocht (Pinkard e.a., 2007). Naast de tijd die besteed werd aan het opbouwen en ontmantelen van de systemen, werden ook de operationele kosten van een systeemopstelling met een lengte van ongeveer 305 m en een hoogte van ongeveer 0,91 m ingeschat. Hierbij werd echter geen rekening gehouden met logistieke aspecten. Bovendien werd verondersteld dat de inzet van menskracht bij de bouw van de zandzakdam op vrijwillige basis zou zijn. Daarnaast wijkt de in deze studie geschatte behoefte aan zandzakken af van de in Duitsland gebruikelijke aanpak, omdat zandzakdammen in de VS een bredere basis hebben.

Onderzoek naar de functionaliteit van ZVS werd ook uitgevoerd door het UK Environment Agency (EA; Ogunyoye e.a., 2011) op basis van drie informatiebronnen: literatuur, workshops voor gebruikers en interviews met producenten en distributeurs van producten. De meeste systemen bleken voldoende bescherming te bieden, maar in sommige gevallen leidden operationele processen of onnauwkeurige beoordelingen tot systeemfalen. De beoordelingen hadden betrekking op de fysieke, operationele en structurele kenmerken van tijdelijke mobiele keringen die in 2009 op de Britse markt verkrijgbaar waren. De systemen werden onderverdeeld in tubesystemen, bassinsystemen, vrijstaande keringen en framesystemen. Het rapport benadrukt verder de relevantie van levenscycluskosten bij het gebruik van ZVS. Naast de aanschafkosten omvatten deze ook kosten voor onderhoud en reparatie van de systemen, arbeidskosten (in het onderzoek waren de helpers in vaste dienst), opleidingskosten, kosten voor het uitvoeren van praktijkoefeningen en kosten voor opslag en transport van de systemen. Een voordeel van een ZVS daarentegen is het voorkomen van schadekosten tijdens de levensduur als wordt uitgegaan van een goed functionerend systeem. Een voorbeeldberekening van de levenscycluskosten van een ZVS is niet uitgevoerd in het rapport. Alleen de aanschafkosten van ZVS, deels inclusief de training van helpers (werknemers) door de producenten, voor een 100 m lang systeem met een kerende hoogte van ongeveer 1,0 m over de vier onderzochte categorieën - tubes, containers, vrijstaande keringen en framesystemen - worden genoemd.

In een Canadees onderzoek waarin de geschiktheid van innovatieve systemen als alternatief voor zandzakken werd beoordeeld - voornamelijk op basis van de literatuur, commerciële brochures, theoretische overwegingen en stabiliteitsberekeningen - werden vier verschillende systeemtypen onderzocht. De bestudeerde typen waren met water of lucht gevulde tubesystemen, schanskorfachtige systemen gevuld met zand of grond, dambalken en vangrails voor snelwegen. Naast de beoordeling van de functionaliteit van de systemen worden de factoren genoemd die in aanmerking moeten worden genomen voor een kostenberekening van ZVS, maar er worden geen vergelijkende berekeningen uitgevoerd. De vermelde kosten hebben betrekking op de prijzen van producenten voor een systeem met een beschermingslengte van 30 m en een kerende hoogte van ongeveer 1,0 m. Extra financiële middelen waarmee reke-

ning moet worden gehouden, omvatten de kosten voor opslag, montage en demontage van de systemen en voor opleiding van de helpers. Bovendien dient met de duurzaamheid van de systemen rekening te worden gehouden omdat een lange levensduur een positief effect heeft op het aantal keren dat een systeem kan worden hergebruikt (Biggar en Masala, 1998).

In een studie uitgevoerd door de Universiteit van Kentucky (McCormack e.a., 2012) werden de mogelijke toepassingen van met zand gevulde tijdelijke waterkeringen om wegen tegen overstromingen te beschermen geanalyseerd op basis van al bestaande operationele ervaring. De beschouwde systemen zijn echter niet vergelijkbaar met die in deze studie.

In Duitsland zijn ZVS volgens de richtlijnen van ANSI en FM Approvals in het Centrum voor Klimaatimpactonderzoek (KLIFF) van de Technische Universiteit Hamburg-Harburg (TUHH) op een betonnen ondergrond getest (Gabalda e.a., 2013). De tests werden voornamelijk uitgevoerd in opdracht van de producenten, die de informatie slechts sporadisch hebben gepubliceerd (zie Massolle e.a., 2018). Recentelijk hebben Popp e.a. (2019) de functionaliteit en gerelateerde kosten van ZVS onderzocht in vergelijking met zandzakken wanneer ze worden gebruikt om tijdelijk de hoogte van een dijk te verhogen. Hun onderzoeken hebben geen betrekking op individuele ZVS, maar op verschillende systeemtypen (tube, bassin en frame). Het is echter niet duidelijk wat er is meegenomen in de kostenberekening. Ze concluderen dat ZVS in de toekomst vaker zullen worden gebruikt om een dijk tijdelijk te verhogen vanwege de voordelen die ZVS bieden in termen van tijd, materiaal en personeel.

In geen van de in de literatuur genoemde voorbeelden werden de functionaliteit en de kosten van de innovatieve mobiele ringdamachtige opkistsystemen of ballastdrainages (zoals die van bijvoorbeeld Flutschutz) onderzocht.

1.6 AANLEIDING VOOR HET UITVOEREN VAN TESTS DOOR DE HOGESCHOOL BREMEN IN DE TESTFACILITEIT VAN THW IN HOYA

ZVS kunnen een essentiële bijdrage leveren aan het crisismanagement vanwege hun functionaliteit, tijdbesparende eigenschappen en lagere eisen aan materiaal en personeel. Deze bijdrage wordt nog relevanter met het oog op de verwachte gevolgen van klimaatverandering. Er was echter maar weinig informatie beschikbaar over onafhankelijk uitgevoerde praktische tests van ZVS. Voor sommige ZVS waren er helemaal geen praktische of onafhankelijke tests beschikbaar en een vergelijkende studie van de totale kosten van zandzakken en ZVS ontbrak volledig. Beide factoren - functionaliteit en economische haalbaarheid - zijn bijzonder relevant voor besluitvormers bij het beoordelen van de geschiktheid van het gebruik van ZVS, die een groot potentieel hebben om operationele waterkeringsmaatregelen, met name voor crisisbeheersing, veel efficiënter te maken voor wat betreft tijd, menskracht en materiaal. Daarom werd besloten om systematische tests van ZVS uit te voeren in de testfaciliteit van het Instituut voor Water- en Kustbouwkunde (IWA) van de Hogeschool Bremen, Duitsland. Hiermee kon de hoeveelheid beschikbare informatie over de functionaliteit van ZVS worden vergroot. De focus van de tests lag op de functionaliteit, de stabiliteit en de bediening van de geteste systemen. De eerste resultaten van de tests met betrekking tot installatietijden, te keren waterhoogten en lekverlies werden gepubliceerd in Massolle e.a. (2018). Het artikel van Lankenau e.a. (2020) vat de ervaringen samen die zijn opgedaan met de tests met betrekking tot de functionaliteit, stabiliteit en hanteerbaarheid van de verschillende systemen in overeenstemming met de richtlijnen voor schadepreventie van de Duitse verzekeraars voor mobiele waterkeringen (VdS Schadenverhütung GmbH,

2014), die op hun beurt zijn gebaseerd op de aanbevelingen van de Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) (BWK, 2005), de Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF) en het Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) (Egli, 2004). De hiermee verkregen systeembeoordelingen vormden de basis voor een praktische beoordeling van de operationele geschiktheid van ZVS. Bovendien vergelijkt Lankenau e.a. (2020) zandzakken met ZVS in fictieve, maar realistische scenario's om een vergelijking mogelijk te maken van de kosten rond de inzet van het systeem, de tijd die ermee gemoeid is en het aantal benodigde helpers. De vergelijkende studie dient er toe om de praktische geschiktheid van ZVS te verduidelijken. Bovendien wordt hierbij rekening gehouden met zowel aanschafkosten als ook de kosten, inspanningen en logistiek van het op- en afbouwen van de systemen.

Naast tijdelijke waterkeringen worden hier ook andere passende tijdelijke dijkverdedigingsmaatregelen behandeld: innovatieve ballastdrainages ter stabilisatie van verzadigde binnentaluds en opkistingen in vorm van tubevormige ringdammen voor zandmeevoerende wellen. De berekende operationele kosten zijn altijd afhankelijk van het onderliggende systeemmodel of van de afmetingen van het desbetreffende zandzakstelsel en andere factoren. Dit vraagt uiteraard om een zekere mate van vereenvoudiging, waardoor er verschillen zijn tussen de bevindingen van de eerder genoemde onderzoeken van Pinkard e.a. (2007) en Ogunyoye e.a. (2011) en het onderzoek van Lankenau e.a. (2020).

2

ZANDZAKVERVANGENDE SYSTEMEN (ZVS) EN BIJBEHORENDE GELIJKWAARDIGE ZANDZAKMETHODEN

De in deze rapportage beschreven onderzoeken richten zich op de volgende drie operationele hoogwaterbeschermingsmaatregelen: (1) tijdelijke waterkeringen, (2) ballastdrainages, die bij een verzadigde dijk op het binnentalud worden geplaatst, en (3) tubeachtige ringdammen die als opkisting bij het optreden van (zandmeevoerende) wellen als gevolg van piping (dit is zanduitspoeling uit de diepe ondergrond beneden de dijkbasis) of microinstabiliteit (dit is zanduitspoeling uit de dijk kern) kunnen worden ingezet.

Het klassieke hulpmiddel bij hoogwaterbescherming zijn zandzakken. Zandzakken hebben zich al vele jaren bewezen. Zandzakken worden gemaakt van jute of plastic, hebben geen gestandaardiseerde afmetingen en kunnen veelal na gebruik tijdens een hoogwater niet weer opnieuw worden gebruikt. Vooral voor lange en/of hoge beschermingsconstructies zijn een groot aantal zakken en een grote hoeveelheid zand nodig. Als gevulde zandzakken correct worden opgeslagen zijn ze maximaal 5 jaar houdbaar. Niet gevulde zandzakken kunnen tot 10 jaar worden bewaard. Houd er echter rekening mee dat de houdbaarheid van gevulde zandzakken ernstig kan worden beperkt als ze onder slechte omstandigheden worden opgeslagen. Bij opslag in de open lucht kunnen zandzakken, vooral jutezakken, zo sterk vergaan dat ze na een paar maanden al niet meer geschikt zijn voor gebruik. Zandzakken worden daarom meestal onge vuld opgeslagen, waardoor ze langer houdbaar blijven. In principe minimaliseert dit ook de logistieke inspanningen omdat het gemakkelijker is om grote aantallen zandzakken en grote hoeveelheden zand apart te vervoeren.

In het geval van hoogwater moeten zandzakken en/of zand naar de plaats van inzet worden getransporteerd en, indien nodig, worden de zandzakken handmatig gevuld met bijvoorbeeld scheppen of machinaal met behulp van zandzakvulmachines. De gevulde zandzakken worden dan met voertuigen of, indien de bereikbaarheid door bijvoorbeeld een slechte ondergrond beperkt is, door middel van menselijke kettingen, helikopters of boten naar de plaats van bestemming getransporteerd. Indien van toepassing, moeten de zandzakken na het transport worden gelost en individueel op hun plaats worden gelegd. Al deze stappen samen resulteren in aanzienlijke logistieke inspanningen, een grote behoefte aan menskracht en vergen bovendien veel tijd.

De opbouw van deze drie noodmaatregelen met zandzakken is niet gestandaardiseerd; er kunnen enigszins verschillende technieken en hoeveelheden zandzakken worden toegepast. In principe zijn de volgende constructies gebruikelijk: (1) de tijdelijke waterkering is een trapeziumvormige zandzakdam, (2) de ballastdrainage bestaat uit meerdere lagen van zandzakken die extra gewicht op de teen en het onderste deel van het binnentalud van een dijk

leggen waarbij de afvoer van kwelwater niet gehinderd wordt, (3) een U- of ringvormige dam wordt gebruikt om lokale kwel aan het binnentalud van een dijk af te dammen en de zandmeevoering van wellen tegen te gaan. Bij de inzet van zandzakken als tijdelijke kruinverhoging van een dijk is ermee rekening te houden dat bij een sterk verweekte dijk de stabiliteit al achteruit is gegaan en dat het extra gewicht van een daarop opgebouwde zandzakdam de stabiliteit nog meer kan aantasten.

ZVS vergen daarentegen veel minder logistieke inspanning, tijd en menskracht, vooral omdat de systemen uit grotere eenheden bestaan die ofwel helemaal niet gevuld worden ofwel tijdens de opbouw met technische middelen gevuld worden. Bovendien is water als vulmateriaal normaliter bij een hoogwater direct bij de opbouwlocatie beschikbaar. In tegenstelling tot zandzakken zijn ZVS tijdens hun levensduur opnieuw te gebruiken. Hierbij moet echter de door de producent opgegeven garantieperiode vergeleken worden met de werkelijke houdbaarheid. Navraag bij producenten leerde dat niet alle producenten garantie geven of dat garantie vaak maar voor een paar jaar gegeven wordt. Bij navraag verklaarden sommige producenten echter dat de daadwerkelijke levensduur van hun demonstratiemodellen 10 jaar of meer bedroeg. Gezien de materialen die gebruikt worden bij de productie van de ZVS, zoals dekzeil, gegalvaniseerd staal of met glasvezel versterkte kunststof, kan zeker worden aangenomen dat een ZVS een levensduur van 10 jaar of meer kan hebben.

Figuur 2.1 De verschillende door Hogeschool Bremen geteste ZVS. (T) zijn tubesystemen, (B) zijn bassinsystemen, (D) is een dam-systeem en (TR) is een framesysteem (Lankenau e.a., 2020).



Tabel 2.1 geeft een korte beschrijving van de door Lankenau e.a. (2022) onderzochte systemen. Figuur 1.3 en Figuur 2.1 tonen de ZVS die getest zijn in de tests. Voor elk van de tests werd ten minste één van de in Figuur 1.1 getoonde containertypes en wandsystemen geselecteerd. Opklapsystemen konden eerst niet worden getest omdat er geen producent werd gevonden die bereid was zijn systeem voor de tests beschikbaar te stellen. Op een later moment kon het systeem “Water-gate” worden beproefd. Deze test wordt door Massolle (2023) besproken. Bulkelementen en paneelsystemen werden niet getest omdat in de praktijk voor het gebruik van bulkelementen technische hulpmiddelen beschikbaar moeten zijn om de elementen snel te installeren. Dit is vaak om logistieke redenen niet haalbaar of niet mogelijk omdat het draagvermogen van de ondergrond tijdens een hoogwater is verminderd. De toepassing van paneelsystemen is beperkt tot geschikte grondsoorten en lage waterstanden. Bulkelementen en paneelsystemen werden vanwege de bereikbaarheid met zwaar materieel en om schade aan proefopstellingen door het diep inrammen van steunpalen te vermijden buiten beschouwing gelaten.

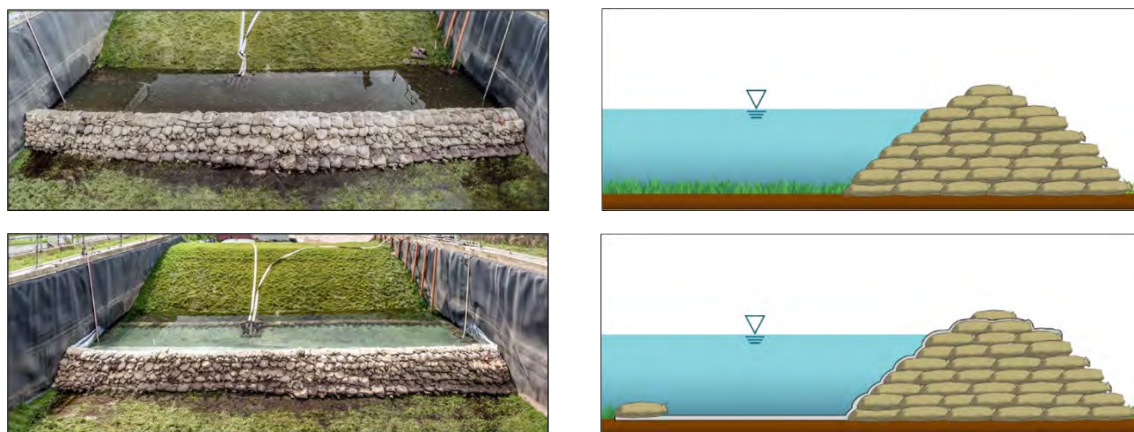
Tabel 2.1 Korte beschrijving van de door Hogeschool Bremen geteste ZVS.

Naam product	Beschrijving
Bassinsysteem	
AQUARIWA	Platen buigen tot cilindrische bassins. Indien gevuld met water (maar ook andere vulmaterialen zijn mogelijk), zijn waterzakken binnenin de bassins noodzakelijk. De bodem van het bassin is bedekt met een plastic rooster dat aan de platen is gelast om de stabiliteit van de bassins te vergroten. De ruimtes tussen de bassins worden afgedicht met een plastic zeil aan de waterzijde dat wordt verzwaard met zandzakken.
INDUTAINER	Een bak met plastic zakken, gevuld met water. De bovenkant is vastgebonden. De bassins zijn met elkaar verbonden met houten schotten. De ruimte tussen de bassins is afgedicht met een plastic zeil dat is verzwaard met zandzakken.
Quick Damm Type M (niet meer verkrijgbaar)	Open, inklapbaar stalen frame met een kunststofbassin gevuld met water. De ruimtes tussen de bassins worden afgedicht door het systeem zelf.
Framesysteem	
Aqua Defence	Panelen van hardschuim bedekt met plastic zeil op opvouwbare steunelementen. Het zeil wordt verzwaard met zandzakken.
Aqua Barrier	EUR-pallets bedekt met plastic dekzeil op opvouwbare steunelementen. Het zeil wordt verzwaard met zandzakken.
Damsysteem	
NOAQ Boxwall (Waterschot)	Een zelf-verankerende waterkering in de vorm van L-vormige kunststof schotten die in elkaar worden geschoven en aan de bovenkant worden verbonden met een klem. De onderkant is afgedicht met een dunne strook schuim aan de waterzijde en zo gevormd dat eventueel water onder het systeem naar de luchtzijde kan weglopen.
Tubesysteem	
Tiger Dam	Gesloten, met water gevuld systeem, gespannen in een piramidevorm en vastgezet met wiggen. De verbindingen worden afgedicht met een mof. Gebruik van een plastic zeil en verankering aan de grond zijn mogelijk.
Hydrobaffle	Gesloten, met water gevuld systeem met een tussenliggende plaat (“baffle”, dit is een gepatenteerd intern stabilisatie-element) om rollen te voorkomen. Het systeem wordt zo gelegd dat de voegen elkaar overlappen.
Mobildeich (Mobiele Dijken)	Gesloten, met water gevuld systeem dat bijeengehouden wordt in pakketten van twee tot drie buizen met netmantel en afsluitzeil. Het zeil wordt verzwaard met ijzeren kettingen. Onder de buizen wordt een geotextiel geplaatst.
Flutschutz (tube met dubbele kamer)	Gesloten, met water gevuld systeem met twee buizen van verschillende diameter. De buizen zijn aan elkaar gelast om rollen te voorkomen. Onder de bovenstroomse tube wordt een afdichtingsmat (schort) geplaatst. De ruimtes tussen de tubes worden afgedicht door het systeem zelf, terwijl de verbindingen worden vastgemaakt met een touw.
Öko-Tec Tubewall	Gesloten luchtgevuuld systeem met een gelaste opstaande rand en kunststof rooster. Een drainagemat wordt onderaan tussen de schort en het rooster geplaatst. Het schort wordt verzwaard met loodgordels.

Ballastdrainage	
Flutschutz Auflastfilter	Gesloten, met water gevuld tubesysteem. Door Lankenau e.a. (2022) wordt aanbevolen om onder het systeem ook een drainagemat te plaatsen.
Tijdelijke ringdam als opkisting	
Flutschutz Quellkade	Gesloten, met water gevulde buis met een driehoekig stabiliserend zeil dat aan de buis is gelast.

Om de functionaliteit, stabiliteit en hanteerbaarheid van de verschillende systemen te kunnen vergelijken werd een 0,8 m hoge en 2,1 m brede zandzakdam in de testfaciliteit opgebouwd (Figuur 2.2); zie Massolle e.a. (2018) voor meer details. Naast de lijnvormige ZVS werden in de testfaciliteit op het talud van de dijk de Flutschutz Auflastfilter (ballastdrainage) en de Flutschutz Quellkade (ringdamachtige opkisting) opgebouwd (zie Figuur 1.3). De systemen werden op de droge en dus stabiele dijk geplaatst, wat niet volledig met de werkelijkheid overeenkomt. De afmetingen van de systemen en verdere eigenschappen van de geteste ZVS staan in Tabel 4.5 beschreven. Voor opbouw instructies verwijzen we naar de homepage van de producent.

Figuur 2.2 Zandzakdam zonder (boven) en met (daaronder) folie aan de bovenstroomse kant in de IWA testfaciliteit (Lankenau e.a., 2020).



In het geval dat een leverancier meer dan één systeemgrootte heeft aangeboden, werd voor de tests een variant geselecteerd die geschikt is voor een te keren waterhoogte van 0,6 m. Deze hoogte komt overeen met de aanbevelingen in het technisch bulletin Mobile Hoogwaterbeschermingssystemen (BWK, 2005) voor het niet vooraf geplande gebruik van ZVS bij operationele hoogwaterbescherming. Deze hoogte wordt aanbevolen vanwege het toenemende risico voor bezwijken van de dragende ondergrond met stijgende waterstanden. Het niet overschrijden van de gespecificeerde maximale waterstand minimaliseert het risico op falen van de fundering van de ZVS. Als grotere systeemhoogten nodig zijn, moet het risico per geval worden afgewogen. Het probleem is dat, zelfs als er tijdens een hoogwater een geotechnisch deskundige ter plaatse is, een nauwkeurige analyse vanwege tijdsdruk en beperkte informatie over grondparameters niet mogelijk is. Aangezien sommige systemen niet specifiek voor waterhoogten van 0,6 m ontworpen zijn, werden systemen met grotere afmetingen gebruikt, zoals AQUARIWA, Aqua Defence, Hydrobaffle en Tiger Dam.

De geteste ZVS zijn slechts een selectie van de systemen die op de markt verkrijgbaar zijn. Bovendien wordt een van de onderzochte systemen, het Quick Damm Type M, niet meer geproduceerd maar is dit nog wel in gebruik. Uit de marktanalyse bleek dat sommige

systeemtypes, zoals bassinsystemen en tubesystemen in ruimere op de markt beschikbaar zijn dan andere. Uit het aantal beschikbare producten van een bepaald systeemtype kunnen echter geen conclusies over de functionaliteit ervan getrokken worden.

Tubesystemen en bassinsystemen worden meestal met water gevuld om stabiliteit te bereiken; niet veel tube- of bassinsystemen kunnen met zand worden gevuld. Zandvullingen werden voor de experimentele opbouw niet overwogen omdat in de testfaciliteit niet aan de eisen voor het vullen en demonteren kon worden voldaan. Daarom werden tube- en bassinsystemen getest die alleen met water gevuld worden. De Öko-Tec Tubewall is een uitzondering. Bij dit systeem wordt de tube met lucht gevuld. Het systeem wordt gestabiliseerd door een kunststofplaat, een zogenaamd schort, dat aan de waterzijde van het systeem wordt uitgespreid en door wrijving aan de buis wordt bevestigd. De buis wordt alleen gestabiliseerd door de verticale hydrostatische druk die op het horizontaal aangebrachte schort werkt. Geen van de andere geteste systemen met een plastic dekzeil als bovenstrooms schort gebruikte een dergelijke wrijvingsvergrendeling. Een schort zonder wrijvingsvergrendeling wordt meestal gebruikt om de lektheid van een ZVS te verbeteren, wat ook de opwaartse druk onder het ZVS vermindert. Een aan de waterzijde liggend schort moet altijd worden gefixeerd, vaak met zandzakken. Frame- en damsystemen behoeven geen vulmateriaal.

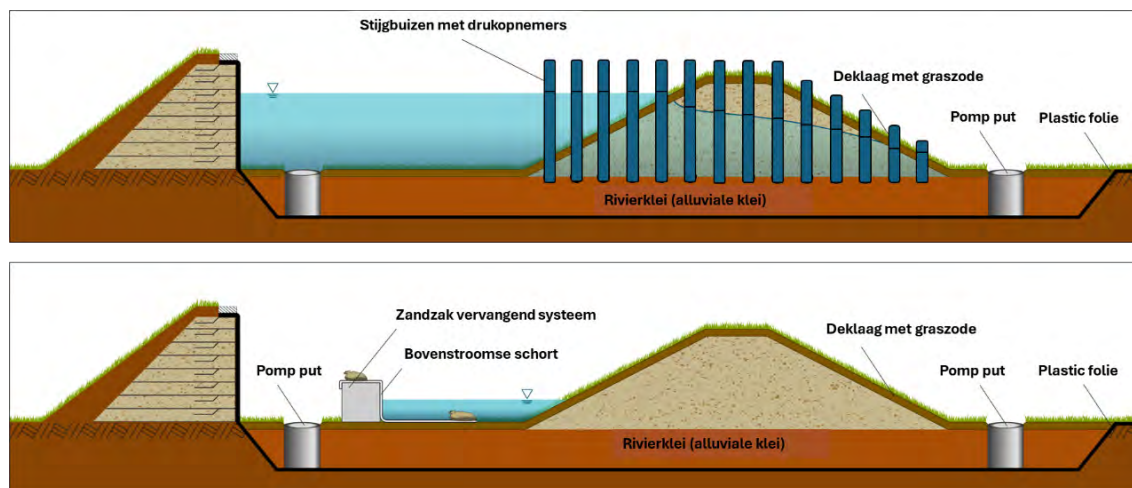
3

FUNCTIONALITEIT, STABILITEIT EN HANTERING VAN DE GETESTE ZVS

3.1 BESCHRIJVING VAN DE TEST

De tests werden uitgevoerd in de IWA-testfaciliteit Deze werd opgebouwd op het terrein van het THW Trainingscentrum Hoya. Dit centrum maakt onderdeel uit van het onderzoeks- en ontwikkelingsproject DeichSCHUTZ (2014 - 2017) waarin systemen werden ontwikkeld om opdrijven in dijken met een risico op bezwijken te verminderen. Dit project werd gefinancierd door het Duitse federale Ministerie van Onderwijs en Onderzoek. De faciliteit bestaat uit een U-vormig bassin waarin een 15 m brede opening door een dam wordt afgesloten (zie Massolle e.a., 2018). Voor de ZVS-tests werden de systemen over de hele breedte van het bassin opgebouwd, parallel aan de as van de dam. Het systeem werd vervolgens gevuld met water (Figuur 3.1). Hiermee is een realistische simulatie van de hydrostatische belasting van de systemen mogelijk. Andere mogelijke belastingparameters zoals stroming, golven, wind, drijf hout en impact van schepen kunnen in de IWA-testfaciliteit niet worden onderzocht.

Figuur 3.1 Illustratie van de testopbouw in de IWA testfaciliteit bij de THW Training Center in Hoya. Hier wordt een ZVS met een bovenstrooms schort getoond (Lankenau e.a., 2020 (aangepast)).

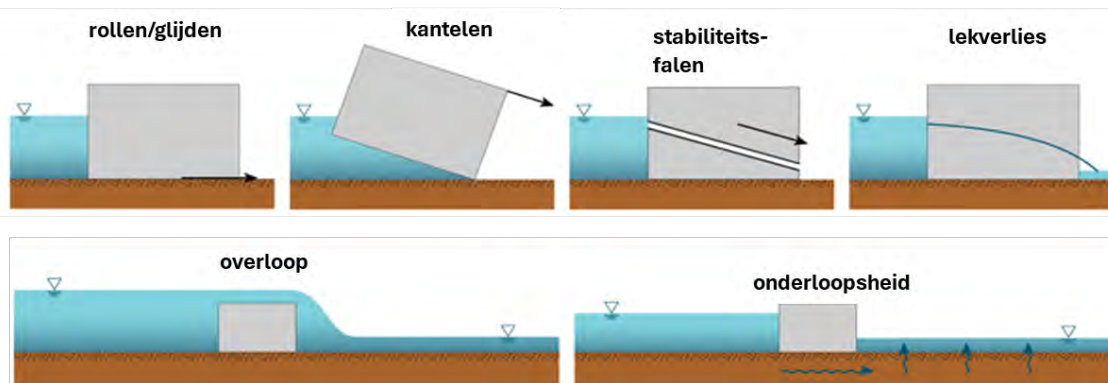


Tijdens de tests hielden de systemen het water vast. De waterhoogte werd opeenvolgend verhoogd totdat het systeem uiteindelijk faalde. Typische faalmechanismen van ZVS worden in Figuur 3.2 getoond. De systemen faalden door glijden en rollen of kantelen; stabiliteitsfalen trad bij geen van de geteste systemen op. Als er geen falen van het systeem optrad, werd het systeem zo aangepast dat ze niet alleen zoveel mogelijk water konden tegenhouden, maar ook konden overstromen. De kwelsnelheid, de som van kwel door de ondergrond en lekkage door het systeem, werden gemeten. De resultaten zijn gepubliceerd in Massolle e.a. (2018). Een ZVS moet niet alleen functioneel zijn, maar ook in vele opzichten praktisch toepasbaar.

Overwegingen zijn onder andere hanteerbaarheid tijdens het opbouwen en ontmantelen, de benodigde ruimte (zowel tijdens gebruik als bij opslag), herbruikbaarheid en vandalismegevoeligheid.

Al met al konden uit de testopbouw en het bijbehorende onderzoek conclusies worden getrokken over de betrouwbaarheid en de praktische toepasbaarheid van de geteste systemen.

Figuur 3.2 T ypische bezwijkmechanismen van ZVS (BWK, 2005, aangepast)



De systemen werden aanvankelijk belast tot een waterhoogte van 0,6 m, in overeenstemming met de aanbevelingen van de BWK-brochure Mobile hoogwaterbeschermingssystemen (BWK, 2005). Na het instellen van een constante kwelsnelheid bij een kerende hoogte van 0,6 m (zie Massolle e.a., 2018), werd de waterhoogte stapsgewijs verder verhoogd totdat het systeem faalde omdat de waterhoogte de belastingsgrens van het systeem overschreed of omdat een deel van het systeem overstroomde. Zie Figuur 3.5 en Massolle e.a. (2018) voor een overzicht van de systeemhoogten en de bereikte opgestuwde waterniveaus.

De Quick Damm Type M en Aqua Barrier systemen waren niet in voldoende lengte beschikbaar en werden daarom in combinatie met het AQUARIWA systeem geïnstalleerd. Het testbassin werd slechts kort tot een hoogte van 0,6 m met water gevuld. Het NOAQ boxwall-systeem (in Nederland ook bekend onder de productnaam Waterschot) heeft slechts een haalbare beschermingshoogte van 0,5 m, maar werd toch getest vanwege de eenvoud van het systeem en de snelle installatie. In principe beveelt de producent het gebruik van het NOAQ boxwall-systeem alleen op verharde, ondoorlatende oppervlakken aan, omdat deze een beter afdichtend effect hebben op de onderliggende ondergrond. In de praktijk kan echter ook een folie worden toegepast als onderloopsheid een probleem vormt zoals bij een bestrating, waar het water door de voegen van de klinkers heen kan stromen en het daaronder liggende zandbed kan uitspoelen.

Volgens het trainingmateriaal van de producent kan het Tiger Dam systeem met of zonder verankering aan de grond en extra kunststof schorten aan de waterzijde worden toegepast, maar komt het alleen in aanmerking voor FM Approvals certificering als ook de schorten en het verankeringsysteem aanwezig zijn (NFBTCP, 2019). Beide varianten werden onderzocht. De spanbanden die om de tubes werden getrokken, werden op elke tweede wig vastgemaakt met een touw dat aan palen aan de land- en waterzijde werd bevestigd. Ten slotte werd aan de waterzijde een plastic schort voor het systeem uitgespreid, dat tot aan de bovenkant van de bovenste buis reikte.

Volledige opstuwing van water in de geteste systemen en overloop van het water kon niet over de gehele lengte van de ZVS worden gerealiseerd vanwege oneffenheden in de bodem van het bassin en de beperkte pompcapaciteit in de IWA-testfaciliteit. Deze beperking is met name relevant in gevallen waarin een overloopbelasting optrad, omdat door de oneffenheden slechts een geringe overloophoogte in het rechtergedeelte van de testfaciliteit kon worden bereikt (Figuur 3.3).

Als er bij het gebruik van ZVS overloop optreedt, moet worden voorkomen dat de grond aan de landzijde wordt weggespoeld. Anders kan systeemfalen optreden.

Het overlopende water moet kunnen worden afgevoerd of tenminste over een voldoende groot gebied kunnen worden verdeeld. Theoretisch kan een ZVS ook overstromen als het systeem door verticale waterdruk wordt afgedicht. Bij een stijgend waterniveau wordt het systeem als gevolg van de toenemende verticale druk stabiel. Een uitstekend schort aan de waterzijde biedt daarom meer bescherming omdat de resulterende opwaartse krachten onder het systeem hierdoor verminderd worden. Of het systeem overloopt, hangt ook af van de geometrie en/of de massa. Met een stijgend waterniveau neemt de kans op falen door kantelen, glijden of rollen toe. Systemen die niet van het stabiliserende effect van de verticale waterdruk profiteren worden bij een stijgend waterpeil instabieler. Wat betreft de stabiliteit zijn een groot volume en/of een laag zwaartepunt van groot voordeel. De uitgevoerde tests houden geen rekening met de mogelijkheid dat de ondergrond bij stijgend waterniveau bezwijkt, aangezien de afdamming in de testopbouw alleen op een stabiele vloer plaatsvond. Vooral bij hoge waterniveaus kan bezwijken van de ondergrond echter een belangrijke oorzaak van falen van de mobiele kering zijn.

Figuur 3.3 Een overstromend ZVS (Aqua Defence) (Lankenau e.a., 2020).



3.2 TESTRESULTATEN

De systemen werden door twee personen opgezet en op een grasmat getest. In sommige gevallen waren er grote verschillen tussen de door de producent aangegeven opbouw tijden en de tijdens de tests gemeten tijden (Massolle e.a., 2018). Om de systemen op te kunnen zetten, moesten ze handmatig over een afstand van maximaal 15 - 20 m worden van de rand van het bassin naar het installatiepunt worden vervoerd. Het is goed denkbaar dat snellere installatietijden kunnen worden bereikt op oppervlakken die beter geschikt zijn voor voertuigen en betere logistieke omstandigheden bieden. Aan de andere kant kunnen in de praktijk ook aanzienlijk langere afstanden bij handmatig transport – en dus langere montagetijden in vergelijking met de testomstandigheden – voorkomen. De installatietijden voor de met water gevulde ZVS zijn ook sterk afhankelijk van de beschikbare pompcapaciteit en de mogelijke watertoevoer. In het algemeen kan worden gesteld dat de installatie en demontage van de systemen in het algemeen met slechts twee personen mogelijk is en vele malen sneller is dan de bouw van een zandzakdam. Daarnaast is het ook mogelijk om de installatietijd door meer inzet van menskracht te optimaliseren. Systemen die niet gevuld moeten worden hebben ook een duidelijk tijdvoordeel bij de montage en demontage.

Het opbouwen van de systemen spreekt vaak voor zich en de instructies zijn eenvoudig te volgen. Toch is het aan te raden om bij de instructie een expert in te schakelen om mogelijke montagefouten met verstrekkende gevolgen te voorkomen. Het is eveneens aan te raden om regelmatig met het opbouwen van een systeem te oefenen. Bij het Öko-Tec tubewall-systeem bestaat bijvoorbeeld het risico dat de drainagemat omklapt, waardoor de functionaliteit van het systeem in gevaar komt.

Voor sommige systemen wordt aanbevolen voorzorgsmaatregelen tegen opdrijven te nemen. Systemen zoals de NOAQ-boxwall, Tiger Dam of Öko-Tec zijn afhankelijk van deze voorzorgsmaatregel. De bescherming wordt door een schort stroomopwaarts, een drainagesysteem, een afdichting aan de waterkant of verankering van het systeem bereikt. Systemen zoals de tweekamerbuis (DCT) van Flutschutz zijn goed beschermd tegen uitval door opdrijven als gevolg van hun hoge bulkgewicht. Hier zijn geen verdere maatregelen nodig. Het volledig ballasten van een bovenstrooms schort met zandzakken of andere gewichten wordt echter nog steeds aanbevolen, omdat dit ook onderloopsheid aanzienlijk kan verminderen (zie Massolle e.a., 2018).

Voor systemen met een beperkt contactoppervlak (Aqua Defence, Aqua Barrier en Tiger Dam) lopen het risico om in verzadigde grond weg te zakken. Dit risico geldt ook voor het AQUARIWA-systeem, waarvan de bodem wel vlak is, maar waarvan de kunststofzijwand enigszins ongelijk ligt. Precieze gegevens over hoe lang het zou duren voordat het systeem zou bezwijken konden niet uit de uitgevoerde test worden afgeleid, vanwege de relatief korte duur van de test van slechts enkele uren (Massolle e.a., 2018). In principe bestaat er een verband tussen de verzakkingsdiepte, de mate van de uitgeoefende belasting, het type ZVS, de voorafgaande vochtigheid/verzadiging van de ondergrond en de duur van het hoogwater, dat enkele dagen of zelfs weken kan duren. Tijdens de opstuwing van het water kon een lichte verzakking van de systemen met een beperkt contactoppervlak worden waargenomen, maar dit leidde niet tot falen tijdens de tests, vermoedelijk vanwege de korte tijdsduur van slechts enkele uren waarin water werd opgestuwd. Figuur 3.4 toont het Aqua Defence systeem tijdens de ontmanteling. Het systeem zakte het diepst in de ondergrond in het gebied met de grootste waterhoogte tijdens het opstuwten, te zien aan de bovenkant van

Figuur 3.4. In dit gebied liep het systeem echter ook over zodat een deel van het water in de grond terecht kwam.

Figuur 3.4 Steunpilaren die na het opstuwen in de verzadigde grond zijn gezakt (Aqua Defence) (Lankenau e.a. 2020).



Op deze plek overstroomde het systeem terwijl het testbassin met water werd gevuld. Een deel van de verzakking was waarschijnlijk te wijten aan erosie van de ondergrond.

Vooral bij zandige grondsoorten bestaat het risico dat de ondergrond bezwijkt door hydraulische grondbreuk of erosie als het water onder het systeem doorstroomt. Vooral als gepompt wordt, moet ervoor worden gezorgd dat de grond onder de systemen niet door het weggepompte water wordt geërodeerd. Op verharde grond bestaat het risico dat de wrijving tussen het systeem en de ondergrond door de aanwezigheid van losse zand- of grindkorrels verminderd is. In dit geval wordt aanbevolen de gebieden rond de contactoppervlakken voor de installatie te vegen. Kleine oneffenheden kunnen worden uitgevlakt met zandzakken of met kalk die bij contact met water opzwellt. Bij het installeren van de systemen moet erop worden gelet of er over of langs de geplande lijn van het systeem hellingen in het terrein zijn, omdat dit het risico op kantelen, glijden of rollen vergroot. Sommige systemen (Flutschutz DCT, Hydrobaffle, Tiger Dam en Aqua Barrier) verschoven of vervormden toen het testbassin met water werd gevuld, als gevolg van de flexibiliteit in hun constructie of uitzetting van het materiaal, maar stabiliseerden daarna weer. Het begin van falen bij overbelasting werd bij alle systemen zichtbaar door verschuiving, maar deze indicatie was meestal zo kort zichtbaar dat er geen mogelijkheid was om tegenmaatregelen te nemen.

Wat betreft het kweldebiet zijn de geteste systemen vergelijkbaar met een zandzakdam of met een zandzakdam met een uitstekend kunststofschoot (Massolle e.a., 2018).

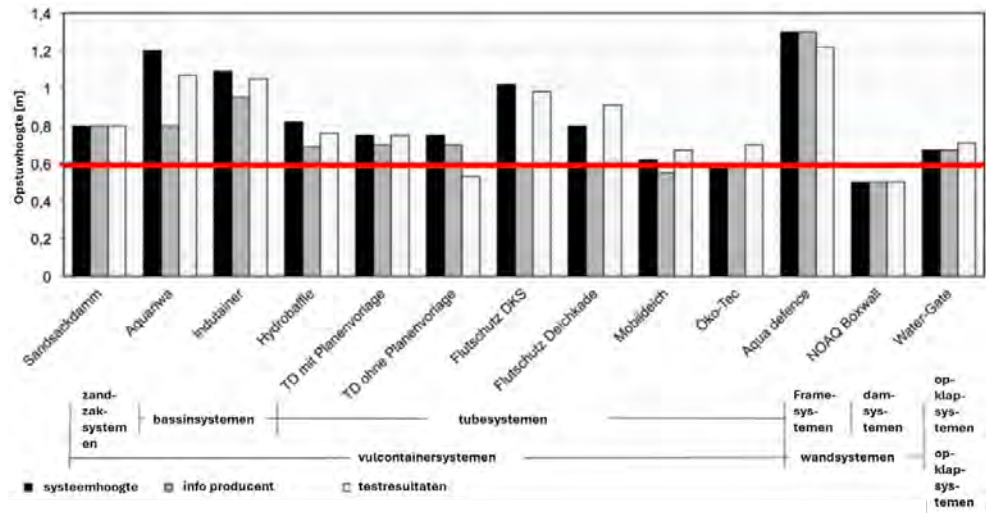
Samenvattend kan worden gesteld dat alle geteste systemen stabiel bleven bij de waterniveaus die door hun producenten waren opgegeven (Figuur 3.5). De systemen Aqua Defence, NOAQ boxwall, Mobildeich, Öko-Tec tubewall (Öko-Tec TW) en Tiger Dam met verankering en schoot (Tiger Dam met A) hielden de volledige waterhoogte met weinig overstrooming. De systemen die niet tot de maximale capaciteit konden worden opgestuwd (AQUARIWA,

INDUTAINER, Flutschutz DCT en Hydrobaffle) waren in staat om hogere waterniveaus te bereiken dan gespecificeerd door de producenten. Bij het tubesysteem Tiger Dam kon de door de producent gespecificeerde beschermingshoogte van 0,6 m alleen worden bereikt door het gebruik van een schort aan de waterzijde en een verankering aan de grond. Een testopbouw zonder schort en verankering dreigde vroegtijdig te falen. De Quick Damm Type M en Aqua Barrier systemen waren niet in voldoende hoeveelheden beschikbaar en konden alleen worden getest in combinatie met het AQUARIWA systeem. Daarom werd het water slechts opgestuwd tot een hoogte van 0,6 m. Omdat de tests zonder verdere belasting door stroming, golven, drijfhout, enz. werden uitgevoerd, kan niet worden afgeleid of de door de producenten opgegeven beschermingshoogtes kunnen worden verhoogd. Beschermingshoogtes zijn de maximaal toelaatbare te keren hoogtes. Deze zijn bij sommige systemen lager dan de daadwerkelijke hoogte van het systeem. Om stabiliteitsredenen is bij deze systemen voor de betrouwbaarheid het aanhouden van een bepaald vrijboord noodzakelijk. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de voor- en nadelen van de verschillende systeemtypen zoals deze bepaald zijn in het kader van deze tests.

Tabel 3.1 **Overzicht van de belangrijkste voor- en nadelen van verschillende systeemtypen.**

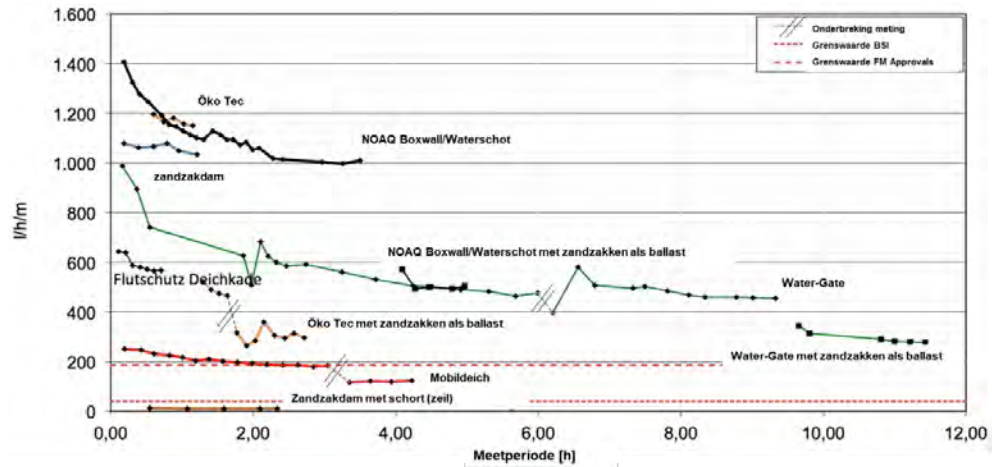
Systeemtype	Voordelen	Nadelen
Bassinsysteem	<ul style="list-style-type: none"> • Hoge stabiliteit, zelfs met een laag volume of geen vastgehouden water (onder invloed van wind of iets dergelijks). • Dicht goed af, zelfs met een laag volume aan vastgehouden water. • Zandvulling biedt een hoge mate van veiligheid. 	<ul style="list-style-type: none"> • Installatietijd. • Vulmateriaal.
Tubesysteem	<ul style="list-style-type: none"> • Hoge stabiliteit, zelfs met een laag volume of geen vastgehouden water (onder invloed van wind of iets dergelijks). • Dicht goed af, zelfs met een laag volume aan vastgehouden water. 	<ul style="list-style-type: none"> • Installatietijd. • Vulmateriaal.
Opklap-, frame- en damsystemen	<ul style="list-style-type: none"> • Installatietijd. • Geen vulmateriaal. • Laat meestal overloop toe (m.u.v. opklapsysteem). 	<ul style="list-style-type: none"> • Goede stabiliteit alleen bij een toenemende hoogte van het vastgehouden water (problematisch bij windinvloed of iets dergelijks). • Goede afdichting alleen bij hogere niveaus van vastgehouden water. • Opklapsysteem heeft ter stabilisatie soms ook een kleine extra stut nodig. • Bij opklapsysteem erop letten dat het systeem gelijkmatig omhoog komt.

Figuur 3.5 Tijdens de tests bereikte waterstanden (Massolle, 2024 (aangepast)). De rode lijn geeft de maximale waterhoogte van 0,6 m aan, die wordt aanbevolen voor het ongeplande gebruik van ZVS (BWK, 2005).

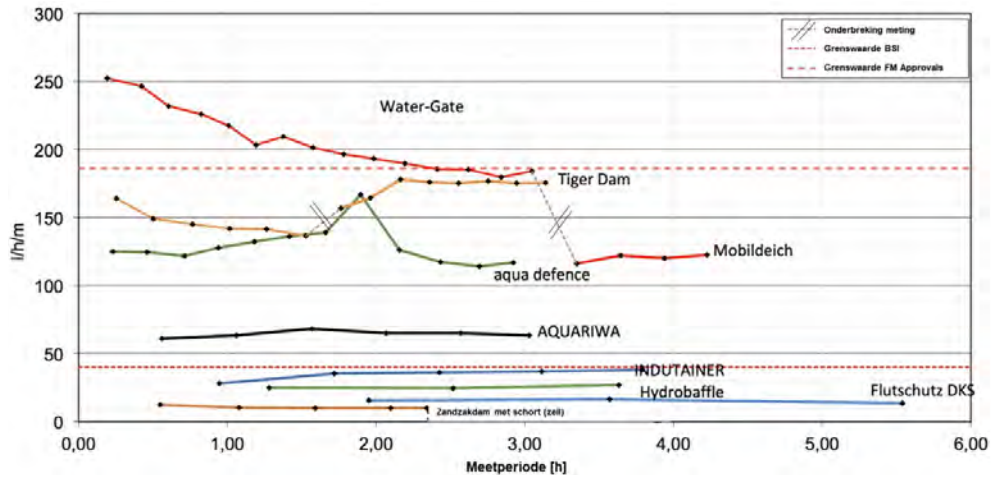


De volgende figuren geven het lekverlies voor de door de Hogeschool Bremen geteste systemen aan.

Figuur 3.6 Lekverlies van de door HS Bremen geteste systemen met een hoge doorlatendheid bij een te keren waterstand van 0,60 m (Massolle, 2023)



Figuur 3.7 Lekverlies van de door HS Bremen geteste systemen met een lage doorlatendheid bij een te keren waterstand van 0,60 m, (Massolle, 2023)



Als referentiewaarde zijn ook de ver verliezen van een zandzakdam met en zonder dekzeil als schort aan de waterzijde en aanbevolen grenswaardes volgens BSI en FM Approvals aangegeven. Het valt op dat een zandzakdam zonder schort met rond 1050 l/h/m een heel groot lekverlies toont, die door de meeste mobiele keringsystemen, behalve Öko Tec en Waterschot, duidelijk wordt onderschreden.

Een extreem gering lekverlies, die zelfs onder de strenge grenswaarde van 40 l/h/m (BSI) valt, wordt door een zandzakdam met schort bereikt. Hier vallen alleen Indutainer, Hydrobaffle en Flutschutz Deichkade. De iets minder strenge grenswaarde van 180 l/h/m (FM Approvals) wordt door Tiger Dam, Mobildeich, Aqua Defence en AQUARIWA onderschreden en door Water-Gate alleen bij aanvullende fixering met zandzakballast bereikt.

De Mobildeich kenmerkt zich door een duidelijke afname van het lekverlies na verloop van tijd. In Figuur 3.7 is het lekverlies na een onderbreking van de meting van 15 uur met ruim 60 l/h/m gedaald.

3.3 DEMONTAGE

De demontage van de geteste ZVS was over het algemeen niet ingewikkeld. Bij met water gevulde systemen zijn het aantal, de positie en de grootte van de openingen voor het leegmaken van de systemen van grote invloed op de ledigingstijd en op de mogelijkheid van eenvoudige, volledige lediging. Zelfs als er maar een kleine hoeveelheid restwater in het systeem achterblijft, kan het resulterende gewicht een beheersbaar niveau overschrijden. Alle systemen moeten worden schoongemaakt en gedroogd voordat ze voor hergebruik kunnen worden opgeslagen.

Het INDUTAINER-systeem kan als een wegwerpsysteem worden beschouwd omdat reinigen en drogen moeilijk is vanwege het complexe ontwerp. Het heeft echter een relatief lage aankoopprijs. De inzet van dit systeem kan economisch voordelig zijn, zelfs als het maar één keer gebruikt wordt. Sommige andere ZVS hebben wel beperkte verwijderingskosten na gebruik. Dit geldt in het bijzonder voor systemen waarbij het bovenstroomse schort met zandzakken geballast is. De zandzakbehoefte is met ongeveer vier zandzakken per meter echter relatief laag.

Deze tests werden uitgevoerd onder geïdealiseerde omstandigheden met een bundel houten latten als drijf hout. Aangezien het falen van een ZVS kan leiden tot overstroming van het achterland met een navenant hoog schadepotentiaal en ZVS door hun ontwerp gevoeliger zijn voor mechanische stootbelasting en vandalisme, moeten deze risico's bijzonder kritisch worden geëvalueerd. Mechanische impact en vandalisme zijn echter ook mogelijk bij het gebruik van zandzaksystemen. Daarom zouden deze aspecten, ondanks hun bijzondere relevantie voor ZVS, geen uitsluitingscriterium moeten zijn. In plaats daarvan is het raadzaam om hogere eisen te stellen aan het monitoren van ZVS tijdens gebruik.

De richtlijnen voor schadepreventie van de Duitse verzekeraars voor mobiele waterkeringsystemen (VdS Schadenverhütung GmbH, 2014) bevatten een voorbeeld van een evaluatieformulier voor ZVS, dat bedoeld is als hulpmiddel bij het nemen van beslissingen bij het evalueren van systemen voor gebruik in waterkeringen. De geteste ZVS werden beoordeeld volgens deze richtlijnen; ter vergelijking werd de zandzakdam ook beoordeeld volgens deze richtlijnen (Tabel 3.2). Voor noodmaatregelen met zandzakken is de beoordeling vergelijk-

baar met de beoordeling van een zandzakdam, ballastdrainage en tijdelijke ringdam. De evaluatiecriteria hebben betrekking op toepassing, stabiliteit, productie, duurzaamheid, installatie, demontage, onderhoud en logistiek. Als een specificatie niet kon worden bepaald of afgeleid uit de resultaten van de tests, werden de specificaties van de producent gebruikt of werd de evaluatie uitgevoerd op basis van theoretische beoordelingen. De faalmechanismen die verband houden met het oppervlak waarop een ZVS is geïnstalleerd, zoals de faalmechanismen die worden veroorzaakt door hydraulische groundbreuk of erosie, werden niet onderzocht vanwege hun afhankelijkheid van de variabele omstandigheden op de locaties die in de praktijk voorkomen. Er is ook geen rekening gehouden met de aansluiting van de systemen op muren en dergelijke, de mogelijkheid om de systemen in bochten of hoeken te leggen en het gedrag van de systemen op verschillende ondergronden (zoals zacht, vast, ruw, glad, vlak, ongelijk, doorlatend en ondoorlatend). De criteria waarop de systeemevaluaties zijn gebaseerd, worden beschreven in Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Evaluatie van het systeem (Lankenau e.a., 2020).

	zandzakken	Aqua-riwa	Indu-tainer	Quick DAMM	Aqua Barrier	Aqua Defence	NOAQ DCT Water-schot	Flutschutz Dubbel-kamerbuis	Hydro-baffle	Mobil-deich	Öko-Tec met buis-wand	Tigerdam zonder schort en verankering	Tigerdam met schort en verankering	Flut-schutz ring-dijk	Flut-schutz last-filter	Uitleg en opmerkingen
Toepassingsgebied																
oneffen ondergrond	+	-	-	o	o	o	o	o	+	+	o	+	+	+	+	Test en eigen inschatting
onverharde grond	+	-	-	+	-	-	o	+	+	+	+	o	o	+	+	Test en eigen inschatting
te keren waterhoogte	+	o ²	o	o	o	o	-	o	+ ²	+ ²	o ²	-	+ ²	/	/	Test
In hoogte verstelbaar	+	+	-	-	-	-	-	-	o	-	o	o	o	/	o	Gegevens producent
overstroombaar	ns	o ³	-	ns	o	o	+	-	+	+	-	+	+	/	/	Test
installatie in water	+	o	-	-	o	o	o	-	+ ⁴	+ ⁴	-	-	-	/	/	Eigen inschatting
benodigde ruimte bij gebruik	o	-	-	o	-	-	+	-	o	-	-	+	-	/	/	Gegevens producent
Stabiliteit																
kantelstabiliteit	+	-	-	o	o	o	o	+	+	+	+	o	+	/	/	Test en eigen inschatting
stabiliteit tegen rollen en/of glijden	+	+	o	o	+	+	o	o	-	+	o	-	+	o	o	Test en eigen inschatting
stabiliteit tegen opdrijven	+	+	+	o	+	+	o	o	-	+	o	-	+	/	/	Eigen inschatting
verankering	-	-	-	-	o	o	-	-	-	-	+	/	+	/	/	Gegevens producent
weerstand tegen mechanische effecten	+	o	o	o	o	o	-	o	-	+	-	-	o	+ ⁵	+ ⁵	Eigen inschatting
weerstand tegen vandalisme	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	o	-	-	Eigen inschatting
Domino-effect	+	+	-	+	o	o	-	-	o	-	-	-	+	/	/	Eigen inschatting
Aanschaf en duurzaamheid																
kosten	+	o	+	ns	o	-	o	o	o	o	-	+	+	-	-	Gegevens producent
levensduur	o	o/ ⁶	- ⁶	ns	ns	ns	o ⁷	+	+	o ⁷	o ⁷	+	+	+	+	Eigen inschatting
herbruikbaarheid	-	o	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Gegevens producent
Installatie																
installatietijd	-	o ⁹	o ⁹	ns	+	+	+	o ⁹	o ⁹	o ⁹	+	- ⁹	- ⁹	+ ⁹	+ ⁹	Test
benodigde apparatuur	-	-	-	o	o	o	+	o	o	o	o	o	-	o	o	Gegevens producent
personen	-	+	+	+	+	+	+	o	+	+	+	+	+	+	+	Gegevens producent en eigen inschatting
vereist vulmateriaal	-	o ¹⁰	o	o ¹⁰	+	+	+	o	o	o	+	o	o	o	o	Gegevens producent
aantal individuele elementen	-	-	o	+	+	o	+	+	+	o	o	-	-	+	+	Gegevens producent
eenvoud van installatie	+	+	+	+	+	o	+	+	+	+	o	-	-	+	+	Test
gewicht van de individuele elementen	+	+	+	o	+	+	+	o ⁻¹¹	o ⁻¹¹	o ¹²	o	o	o	+	o	Gegevens producent
Demontage en onderhoud																
eenvoud van demontage	+	o ¹³	+	o ¹³	+	+	+	o	+	+	+	+	o	o	+	Test
afvalverwijdering	-	o ¹⁰	o	o ¹⁰	-	o	+	+	+	+	+	+	o	+	+	Gegevens producent
reiniging	/	o	-	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	Eigen schatting
reparaties en reserveonderdelen	/	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	Eigen schatting
Logistiek																
ruimte voor opslag en transport	-	+	+	o	+	+	+	o	o	o	o	+	+	o	o	Gegevens producent

De symbolen kunnen als volgt worden opgevat: goed is +, gemiddeld is o, slecht is -, niet relevant is / en niet gespecificeerd is ns. ¹ Voor zandzakken zijn de gegevens van de producent gebaseerd op onze eigen schattingen. ² Gegevens van de producent (omdat niet alle systeemhoogten zijn getest). ³ Mogelijk met zandvulling. ⁴ Gegevens producent. ⁵ Alleen vanaf landzijde. ⁶ Tijdens continu gebruik. ⁷ Wettelijke garantie, gegevens producent. ⁸ o: Waterzak, gegevens producent; +: Glasvezelversterkte kunststofplaat, gegevens producent. ⁹ Volgens pompcapaciteit. ¹⁰ Met zandvulling -. ¹¹ Volgens systeemlengte. ¹² Met haspel. ¹³ Zandvulling, eigen schatting. Flutschutz :ringdijk = opkisting; lastfilter = ballastdrainage

Tabel 3.3 Evaluatiecriteria (Lankenau e.a., 2020)

Toepassingsgebied	Beoordelingscriteria
Oneffen ondergrond	Toepasbaar op oneffenheden, stoepranden, enz.
Onverharde grond	Speciale eisen voor de gesteldheid van het funderingsoppervlak
Te keren waterhoogte	Hoogte van het te keren water: <0,6 m is -, 0,5-1,5 m is o en >1,5 m is + Aanbevelingen voor ongepland gebruik van ZVS volgens BWK worden in acht genomen (2005)
In hoogte verstelbaar	Latere verhoging mogelijk
Overstroombaarheid	Overloopcapaciteit volgens producent (M) of bepaald in tests van auteurs (AT) Nee is -, ja (AT of M) is o, en ja (AT én M) is +
Installatie in water	Specificaties van de producent of eigen schatting op basis van de kenmerken van het systeem
Benodigde ruimte bij gebruik	Diepte inclusief eventueel schort aan de waterzijde van de ZVS ≤ 1: 0 m is +, ≤ 2: 0 m is o en > 2,0 m is - (verwijst naar de geteste systeemvarianten)
Stabiliteit	
Kantelstabiliteit	Tubesystemen zijn minder gevoelig voor kantelen dan dam- of framesystemen. Hoe zwaarder de geïnstalleerde systemen, hoe minder gevoelig ze zijn voor kantelen. Het wegzakken in de grond, inclusief selectief wegzakken, verhoogt het risico op kantelen. Verankerung of beveiliging tegen opdrijven gaat kantelen tegen.
Rol- en/of schuifstabiliteit	Buissystemen zijn over het algemeen gevoeliger voor wegglijden. Hoe lager het gewicht en hoe gladder het funderingsoppervlak van het systeem, hoe gemakkelijker het systeem kan wegglijden. Verankerung of beveiliging tegen opdrijven gaat wegglijden of wegglijden tegen. De Flutschutz Auflastfilter (ballastdrainage) en Flutschutz Quellkade (ringdijk-achtige opkisting) moeten altijd gedeeltelijk op het horizontale vlak voor de landzijde van de dijk worden geplaatst.
Stabiliteit tegen opdrijven	Het risico op systeemfalen als gevolg van drijfvermogen is groter bij gevulde systemen met een lager gewicht. Afhankelijk van de vorm kunnen opdrijfkrachten ook aan de waterzijde werken (bijvoorbeeld in buissystemen). Systemen met een groot fundatieoppervlak die hun lastdragende werking verkrijgen door de verticale waterdruk van buitenaf, hebben ook een groter risico op defecten als gevolg van drijfvermogen. Een schort aan de waterzijde, afwatering, een afdichting of verankerung gaat defecten als gevolg van het drijfvermogen tegen.
Verankerung	Het systeem kan worden verankerend tegen wind, stroming, wegglijden of rollen.
Weerstand tegen mechanische effecten	Gevoeligheid voor beschadiging, bijvoorbeeld door de impact van drijfvuil
Weerstand tegen vandalisme	Gevoeligheid voor opzettelijke schade
Domino-effect	Bedreiging voor de hele dam door het falen van afzonderlijke elementen
Aankoop en duurzaamheid	
Kosten	EUR ≤ 100 per meter is +, EUR ≤ 300 per meter is o, EUR > 300 per meter is - Verwijst naar de geteste systeemvarianten
Levensduur	Levensduur volgens de producent ≤ 1 jaar is -, 1-5 jaar is o, > 5 jaar is +
Herbruikbaarheid	Gegevens van de producent
Installatie	
Installatietijd	Installatietijd volgens de producent of op basis van eigen tests. Voor alle watergevulde systemen is de installatietijd afhankelijk van de gebruikte pomp.
Benodigde uitrusting	Dekzeilen, zandzakken, slangen, pompen, adapters of blazers dekzeil én andere is -, dekzeil of andere is o, geen benodigde uitrusting is +
Personeel	≤ 2 personen is +
Vereiste voor vulmateriaal	Zandvulling is -, watervulling is o, geen vulling is +
Aantal afzonderlijke elementen	Aantal afzonderlijke onderdelen
Eenvoud van de installatie	Systeeminstallatie eenvoudig te begrijpen en uit te voeren
Gewicht van afzonderlijke elementen	≤ 35 kg is +, 35-100 kg is o, > 100 kg is - Verwijst naar de door Lankenau e.a. geteste systeemvarianten. In Nederland ligt de ABO-grens wel bij 20-25 kg.
Demontage en onderhoud	
Eenvoud van demontage	Systeemontmanteling eenvoudig te begrijpen en eenvoudig uit te voeren
Afvoerkosten	Afvoer van folie, dekzeilen en zandzakken of algemene afvoer na gebruik
Schoonmaakkosten	Inspanning die nodig is voor het reinigen van het systeem
Reparaties en reserveonderdelen	Kleine beschadigingen kunnen door de gebruiker worden gerepareerd. Materiaal en reserveonderdelen zijn beschikbaar.
Logistiek	
Ruimte voor opslag en transport	Compactheid van het gedemonteerde systeem

4

INZETKOSTEN, BENODIGDE TIJD, HELPERS EN LOGISTIEK

4.1 BESCHRIJVING VAN SCENARIO'S

4.1.1 BESCHOUWDE SYSTEMEN

De kosten en de benodigde tijd, hulpmiddelen en logistiek voor de installatie en demontage van zandzaksystemen en ZVS werden bepaald voor de volgende drie cases:

1. Tijdelijke kering.
2. Ballastdrainage in het geval van een verzadigde dijk over een uitgestrekt gebied.
3. Opkisting/ringdam als maatregel tegen zware lokale uitstroom van kwel op het binnentalud van een dijk.

In case 1 werden naast de zandzakdam drie verschillende ZVS-types (bassin, tube en frame) overwogen. Voor de tijdelijke waterkering werd op basis van de ervaringen met de in hoofdstuk 2 beschreven testresultaten één producent van elk systeemtype geselecteerd. Hoewel er meer dan één geschikt systeem voor elk systeemtype op de markt beschikbaar was, moest de reikwijdte van het onderzoek om financiële redenen en tijdsredenen worden beperkt. Wat hun functie betreft, d.w.z. bescherming tegen overstroming, kunnen de gekozen systemen worden beschouwd als gelijkwaardig aan zandsystemen op basis van de ervaring met de tests. Hoewel de systemen verschillende veiligheidsmarges vertonen, kan de mate van veiligheid alleen in detail worden gedefinieerd als men de relevante parameters kent, zoals de wrijvingscoëfficiënt. Deze vielen echter buiten de scope van de uitgevoerde analyse. In de cases 2 en 3 worden de enige geschikte ZVS op de markt geleverd door het merk Flutschutz.

De prestaties van de systemen op de droge dijk waren in overeenstemming met de inlichtingen van de producent. Bovendien is het werkingsmechanisme van de vergelijkbare ZVS hetzelfde als voor zandzakken. Het is daarom aannemelijk dat de ZVS Flutschutz Auflastfilter (ballastdrainage) en Flutschutz Quellkade (ringdam als opkisting) gelijkwaardig zijn aan zandzaksystemen, zonder rekening te houden met mogelijke verschillen in veiligheidsmarges. Bij het bepalen van de kosten voor de opbouw en demontage van de systemen werd rekening gehouden met kosten voor logistiek (het huren van de vrachtwagen en chauffeur en het betalen voor brandstof en reparatie) en helpers, evenals kosten voor materialen (zand, zandzakken en aanschafkosten van ZVS, inclusief onderdelen) en de afvoer van zand en zandzakken.

4.1.2 UITGANGSPUNTEN

Voor de mobiele tijdelijke waterkeringen werd uitgegaan van een beschermingslengte van 100 m en een beschermingshoogte van 1,0 m. Voor de zandzakdam werd van een hoogte van 1,0 m uitgegaan, aangezien de zandzakdam theoretisch bescherming kan bieden tegen waterstanden tot de volledige hoogte van de dam. Het ZVS AQUARIWA (bassinsysteem) met

een beschermingshoogte van 1,0 m en een vrijboord van 0,5 m, Flutschutz (tweekamer-tubesysteem) met een beschermingshoogte van 0,6 m en een vrijboord van 0,3 m, en het Aqua Defence product (framesysteem) met een maximale beschermingshoogte van 1,3 m (identiek aan de systeemhoogte) werden vergeleken. De verschillen in de beschermingshoogten zijn systeemspecifiek en kunnen daarom niet worden vermeden. De praktijktesten (cf. Massolle e.a., 2018) hebben aangetoond dat de Flutschutz (tweekamer-systeem) een waterhoogte tot 1,0 m kan keren; door de zijdelingse druk die wordt uitgeoefend bij het vullen van het testbassin, kan de prestatie nog worden verhoogd tot boven de systeemhoogte van 0,9 m zoals gespecificeerd door de producent. In case 2 werd één Flutschutz ballastdrainage vergeleken met de equivalente lengte van een zandzakballastdrainage, en in case 3 werd één Flutschutz Quellkade (ringdamachtige opkisting) vergeleken met één zandzakopkisting (zie Figuur 1.3).

Bij alle kostenberekeningen werd ervan uitgegaan dat de technische bijstand zou worden verleend door de rampendiensten van het Duitse federale agentschap voor technische bijstand (Technisches Hilfswerk THW). Dergelijke federale bijstand vindt plaats in het kader van samenwerking tussen instanties en wordt in het algemeen aangevraagd door de verantwoordelijke deelstaatautoriteiten tijdens extreme overstromingen in Duitsland. De kosten van de ter beschikking gestelde middelen - voornamelijk voertuigen, pompen en slangen alsmede helpers van het THW - werden berekend op basis van de verordening inzake de uitvoering en facturering van door het THW verleende bijstand (Verordnung über die Durchführung und Abrechnung von Hilfeleistungen des Technischen Hilfswerks), in overeenstemming met de bijlage bij §4 (3) van de factureringsverordening THW (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2019). Tijdens een overstroming kunnen naast het THW ook de Bundeswehr en andere hulporganisaties zoals brandweer en politie worden ingezet. Afhankelijk van de organisatie kunnen de individuele kosten variëren; hiermee is in deze kostenraming echter geen rekening gehouden.

De afstand tussen het vulstation voor zandzakken of de opslagplaats van de ZVS en de plaats van maatregeluitvoering is 5 km, d.w.z. 10 km voor één retourrit. Bij een optimale toegang tot de locatie van uitvoering is ook de inzet van vrachtwagens mogelijk. Door de sterk doorweekte ondergrond in de cases 2 en 3 is de toegang vanaf de dijkverdedigingsweg tot aan de dijkteen beperkt; daarom zijn extra helpers nodig om een zandzak-keten te vormen en de zandzakken naar de dijk door te geven. De vergelijkbare ZVS in case 2 en 3 kunnen door twee personen naar de dijk worden gedragen. De maatregel wordt in deze voorbeeldcases uitgevoerd met personeel en middelen van het THW. Het THW levert vrachtwagens, pompen en slangen voor de met water gevulde ZVS. Bovendien wordt aangenomen dat de reisafstanden voor de installatie en demontage van de systemen even lang zijn. Daarom is er ook geen verschil in logistiek voor wat betreft installatie en demontage.

De behoefte aan zandzakken en zand, evenals de benodigde inzet voor het vullen en leggen van de zandzakken, is gebaseerd op empirische waarden van het THW (THW, 2017). De benodigde tijd voor de installatie van de ZVS werd geschat op basis van empirische waarden van de auteurs (zie Massolle e.a., 2018). In het geval van met water gevulde systemen is de tijd die nodig is om een ZVS te demonteren korter dan de tijd die nodig is voor de installatie, omdat de systeemonderdelen tegelijkertijd kunnen leeglopen zonder dat er pompen nodig zijn. Voor de met water gevulde systemen werd de benodigde tijd voor demontage daarom geschat op 20% van de tijd die nodig is voor de installatie.

In de praktijk zijn deze ramingen afhankelijk van de omstandigheden en de toegankelijkheid ter plaatse. Bovendien wordt de demontage in Duitsland niet door de federale overheid en dus ook niet door het THW gefinancierd. Met het einde van het hoogwater, en dus de overstromingsgevaar c.q. de ramp, wordt de hulp van de federale overheid beëindigd; de gemeenten en bestuursdistricten worden verantwoordelijk voor de genomen maatregelen. Door een gebrek aan helpers kan dit na grote overstromingen vaak tot aanzienlijke problemen leiden. In Nederland vindt de praktische uitvoering doorgaans door lokale aannemers plaats onder leiding van het regionale waterschap.

Voor het reinigen van de systemen werd uitgegaan van de volgende tijden:

- Flutschutz tweekamerstroom, lengte 10 m: 1,5 h.
- Aqua Defence, lengte 1,22 m: 5 min.
- AQUARIWA, lengte 1,5 m: 5 min.
- Flutschutz Auflastfilter (ballastdrainage): 1 h.
- Flutschutz Quellkade (ringdamachtige opkisting): 1 h.

De behoefte aan zandzakken voor ZVS met bovenstrooms schort (AQUARIWA en Aqua Defence) is vier zandzakken per strekkende meter. De basisbehoefte aan menskracht is 10 personen voor het zandzakplaatsen 2,5 personen per ZVS, rekening houdend met toezicht-houders (zoals groepsleiders). In het geval van ZVS kunnen groepsleiders op twee verschillende toepassingslocaties tegelijk toezicht houden; daarom wordt slechts met een halve persoon rekening gehouden voor toezicht bij de installatie van een ZVS per 100 m. De andere twee personen installeren het ZVS, wat in totaal resulteert in 2,5 personen per ZVS. In de praktijk zouden de systemen door een groter team van personen geïnstalleerd kunnen worden, maar voor de berekening werd uitgegaan van fictieve teams met een minimum aantal personen. De vergoeding wordt geschat op € 22,00 per uur (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2019). Het gemiddelde gewicht van een zandzak is 12 kg (THW, 2017). Er werd uitgegaan van 15 kg zand per zandzak waarbij rekening is gehouden met overvulling en zandverliezen. Aan de andere kant wordt er geen rekening gehouden met een reservemarge voor defecte zandzakken. Er wordt ervan uitgegaan dat deze is opgenomen in de toeslag in zandbehoefte. De geschatte aankoop prijs voor zandzakken van € 0,20 houdt rekening met de lichte prijsstijging die te verwachten is tijdens een overstroming. Zand is berekend met een prijs van € 10,50 per ton.

De hier veronderstelde reiskosten zijn € 1,52 per liter diesel en 25 l per 100 km. Er is geen rekening gehouden met inzet van vrijwilligers of van de particuliere sector. Echter, de deelname van andere vrijwilligers, bijvoorbeeld lokale mensen, kan de kosten van de bouw van een zandzakdam aanzienlijk verlagen, aangezien de kosten van de helpers de grootste kostenfactor vormen. Er moet echter rekening mee worden gehouden dat in het geval van vrijwilligers uit de lokale bevolking, de resulterende kosten meestal door de vrijwilligers zelf worden gedragen; de kosten worden dus alleen overgedragen. De berekening houdt ook geen rekening met kosten voor (1) reizen, voedsel, accommodatie of de sanitaire behoeften van de helpers; (2) hogere aanvoerdert die duurder zijn; (3) lange transportroutes en alternatieve transportmiddelen in geval van slechte bereikbaarheid; (4) andere materiële vereisten (zoals scheppen voor het vullen van de zandzakken); (5) het transport van zand en aanvullende materialen; (6) de opslag van ZVS, zandzakken en scheppen, enz.; en (7) noodzakelijke reparaties aan ZVS.

In principe zijn de geselecteerde ZVS herbruikbaar. Van het AQUARIWA-systeem moeten de binnenzakken na gebruik van het systeem echter worden vervangen, wat veel afval zal opleveren en niet duurzaam is; de prijs per zak is laag en werd daarom verwaarloosd in de berekening. Voor de vervanging van versleten elementen wordt echter 5% van de investeringskosten geraamd. Aangenomen wordt dat bij kleinere hoeveelheden ZVS, opslag ter plaatse zonder problemen mogelijk is. Alleen in het geval van grotere voorraden worden hogere eisen gesteld aan de opslagcapaciteit.

Zandzakken moeten net als ZVS worden opgeslagen, maar ze hebben een aanzienlijk kortere houdbaarheid dan ZVS (zie hoofdstuk 2). Met het oog hierop worden in de berekening de reparatievereisten van ZVS gelijkgesteld aan de inspectie- en vernieuwingsvereisten van opgeslagen zandzakken.

De noodzaak om de ZVS regelmatig te testen is gelijkgesteld aan de eis om hoogwateroefeningen uit te voeren wanneer men vertrouwt op het gebruik van zandzaksystemen. Er is bovendien van uitgegaan dat de zandzaksystemen, net als de ZVS, tijdens een hoogwater voortdurend moeten worden gemonitord om hun functionaliteit te controleren en de systemen op schade door mechanische invloeden of vandalisme te controleren. Indien dit nodig wordt geacht, moeten de ZVS met kortere intervallen worden geïnspecteerd dan zandzaksystemen. Maar de extra inspanning voor het uitvoeren van inspecties is relatief laag en werd daarom verwaarloosd.

4.2 KOSTEN VAN INZET

Het overzicht van de totale kosten van installatie en demontage van de mobiele keringssystemen laat zien dat (onder de huidige omstandigheden) de kosten als gevolg van eenmalig gebruik van de ZVS ongeveer 30-60% hoger zijn dan voor zandzakken. Aangezien de ZVS grotendeels herbruikbaar zijn, worden de hogere investeringskosten van de ZVS echter al tijdens hun tweede toepassing gecompenseerd. Tabel 4.1 toont de kostenramingen voor de tijdelijke keringen (case 1) en Tabel 4.2 toont de kostenramingen voor de ballastdrainage (case 2) en de ringdam voor opkisting (case 3). In alle gevallen zijn de kosten voor het installeren van de systemen hoger dan de kosten voor het demonteren ervan. Terwijl de demontagekosten van de zandzakdam ongeveer 70% van de installatiekosten bedragen, bedragen de demontagekosten van ZVS in vergelijking met hun installatiekosten slechts enkele procenten.

In het geval van zandsystemen moeten zowel zand als zandzakken eerst worden aangeschaft. Deze zijn meestal slechts in beperkte hoeveelheden voorradig, en in het geval van aanschaf tijdens een hoogwater kan worden verwacht dat de prijzen sterk zullen stijgen, zelfs hoger dan de hier veronderstelde kosten van zandzakken. De zandzakken moeten vervolgens met veel tijd en moeite gevuld en gelegd worden. In de laatste tijd worden echter in toenemende mate ook zandzakvulmachines ingezet of zelf aangekocht. Deze aspecten moeten worden afgewogen tegen de hoge initiële investeringskosten van de ZVS, die daarentegen meerdere keren kunnen worden gebruikt.

Er wordt uitgegaan van een gemiddelde nieuwe aanschafbehoefte van 5% van de initiële investeringskosten binnen de levensduur van het systeem, om beschadigde systemen na gebruik te vervangen. Het aantal zandzakken dat nodig is om de schorten aan de waterzijde van een ZVS te ballasten en af te dichten is verhoudingsgewijs onbeduidend. De logistieke kosten van installatie en demontage zijn redelijk gelijk voor zandconstructies en ZVS

vanwege de veronderstelde gelijke transportafstanden; voor zandzakken zijn ze iets hoger dan voor ZVS vanwege de grotere omvang van zandzaksystemen. In principe zijn de logistieke kosten van alle systemen in deze berekening relatief laag, wat ook komt door de relatief lage kosten van het gebruik van THW-voertuigen waarvan hier is uitgegaan. Bij de demontage zijn de kosten van zandzakken hoger dan van de ZVS, vanwege de extra behoefte aan menskracht en het afvoeren van zandzakken. Als het echter mogelijk is om zwaar materieel in te zetten voor de afbouw van een zandzakdam, kunnen deze kosten lager uitvallen dan in de hier uitgevoerde berekening, omdat er minder menskracht nodig is en minder tijd mee gemoeid is. Over het geheel genomen zijn de grootste kostenposten voor zandzakken de kosten voor de inzet van helpers en de aanschaf van materialen (zand en zandzakken). Voor de ZVS is de grootste kostenpost het onderhoud van de systemen. Als naast de installatiekosten ook de demontagekosten worden meegerekend, is de aanschaf van ZVS vanuit financieel oogpunt zinvol, aangezien de extra kosten in vergelijking met zandzakken al tijdens de tweede inzet worden gecompenseerd. In de vergelijking van de investeringskosten is geen rekening gehouden met mogelijke kwantumkorting voor ZVS bij de aanschaf van langere systeem lengtes.

Vanuit financieel oogpunt is het gebruik van ZVS als tijdelijke waterkering vooral interessant voor bescherming tegen hogere waterstanden. Als de te keren hoogte wordt verlaagd, dalen de installatiekosten van de tijdelijke zandzakdam omdat er minder zandzakken nodig zijn. De benodigde te keren hoogte is echter niet al lang van tevoren bekend. ZVS kunnen daarentegen zelden flexibel in hoogte worden versteld, zodat bij lagere systeemhoogtes de kosten van ZVS ten opzichte van zandzakdammen met een geringe hoogte pas na een aantal inzetbeurten terugverdiend worden. De kosten voor de bouw van een zandzakdam met een hoogte van 0,50 m en een lengte van 100 m bedragen bijvoorbeeld slechts € 8.090 voor opbouw en € 5.352 voor het amoveren, wat neerkomt op een totaal van € 13.442 voor installatie en demontage. Als een ZVS in verschillende systeemhoogtes wordt aangeboden, kunnen ook besparingen worden verwacht als lagere systeemhoogtes worden ingezet, maar deze zijn minder significant. Hierbij moet ook worden opgemerkt dat de aanschafkosten van ZVS die door andere producenten worden geleverd, kunnen verschillen van die van de producenten die hier in beschouwing zijn genomen.

Als er voldoende natuurlijk voorkomend water (bijv. rivierwater) in de onmiddellijke nabijheid beschikbaar is, zijn de kosten voor het vullen van de met water te vullen systemen relatief laag (ongeveer € 400 Flutschutz DCT en € 150 AQUARIWA). Als er echter tankwagens moeten worden ingezet, neemt de logistieke inspanning toe en daarmee de operationele kosten. Desondanks blijven de voordelen van ZVS in tijd, menskracht en materiaal in alle hier bekeken gevallen bestaan.

4.3 TIJD, HULP EN LOGISTIEKE VEREISTEN

Voor de cases 1, 2 en 3 zijn de geschatte behoeften aan tijd, hulpmiddelen en logistiek weergegeven in Tabel 4.3 en Tabel 4.4. "Tijd materialen" verwijst naar de tijd die nodig is om de zandzakken te vullen; Aqua Defence en AQUARIWA ZVS hebben zandzakken nodig om het schort aan de waterzijde te verzwaren. Logistieke tijd omvat de tijd voor het laden en lossen van de vrachtwagens en de tijd voor de heen- en terugreis tussen het vulstation of de opslagplaats en de plaats van gebruik. Hiervoor is 1 uur per vrachtwagen geraamd. Er wordt verondersteld dat er een onbeperkt aantal vrachtwagens beschikbaar is, wat natuurlijk slechts theoretisch mogelijk is. Dit resulteert in een totale logistieke tijd van 1 uur.

In werkelijkheid zou de totale tijd toenemen, afhankelijk van het werkelijke aantal beschikbare vrachtwagens.

Installatietijd verwijst naar de installatie van het specifieke systeem, indien nodig inclusief extra tijd voor een zandzak-keten. Tijd voor demontage verwijst naar de demontage van de individuele systemen en naar de tijd die nodig is voor het schoonmaken van de ZVS, inclusief extra tijd voor een zandzak-ketting. Er werd geen rekening gehouden met de tijd die nodig is voor de verwijdering of opslag van ZVS.

De voordelen van de ZVS in termen van tijd, menskracht en materiaal zijn duidelijk herkenbaar. In case 1 vergt het gebruik van ZVS ongeveer 25% - 30% van de tijd, ongeveer 5% - 7% van de uren voor helpers en ongeveer 5% van de vrachtwagens in vergelijking met de zandzakdam. Als er meer helpers of vrachtwagens worden gebruikt, verschuiven de verhoudingen, maar blijft de totale inspanning gelijk. In case 2 en case 3 is ongeveer 40% van de tijd en ongeveer 6% van de uren voor helpers nodig bij het gebruik van ZVS in tegenstelling tot zandzaksystemen. De logistieke gegevens in case 2 en case 3 zijn berekend op basis van volledig beladen vrachtwagens. Er kunnen acht Flutschutz Auflastfilters of Flutschutz Quellkades per vrachtwagen worden vervoerd, dus bij gebruik van deze ZVS is er slechts ongeveer 8-9 % van de vrachtwagens nodig die nodig zijn voor zandzakken.

Indien bij het plaatsen van een zandzakstelsel het terrein slecht toegankelijk is, moeten de zandzakken over langere afstanden worden doorgegeven door middel van een zandzakketen (zie Figuur 1.2). Dit kan leiden tot een aanzienlijk grotere behoefte aan helpers of tot het gebruik van alternatieve transportmiddelen, zoals helikopters of boten, die zandzakken slechts in kleine aantallen kunnen vervoeren. Dit kan ook de transporttijd aanzienlijk verlengen, evenals de kosten. Er zijn talrijke scenario's mogelijk. Deze kunnen daarom niet in detail worden besproken. ZVS hebben vanwege hun relatief lage gewicht ook bij slechte toegankelijkheid van het terrein geen extra helpers nodig. Het benodigde aantal kan veel gemakkelijker worden geplaatst, bijvoorbeeld door het gebruik van speciale voertuigen die wel op natte grond kunnen komen, maar niet veel gewicht kunnen dragen.

Tabel 4.1 Vergelijking van de kosten voor de installatie en demontage van zandzaksystemen en ZVS – tijdelijke waterkering, beschermingslengte 100 m (case 1).

	Zandzakdam	Flutschutz Twee-kamertube	Aqua defence	AQUARIWA
Helpers, incl. lager commando	10	3	3	3
Zandzakbehoefte (40 x 60 cm, leeg)	16.500	-	400	400
Installatie				
Tijd per dam (h)	61,9	7,5	8,5	10,7
Kosten helpers (€)	13.613	413	467	589
Kosten materiaal, incl. vervanging (€)	5.899	42.930	47.400	51.759
Kosten vrachtwagens, incl. brandstof (€)	642	35	38	28
Totale installatiekosten zonder materialen (€)	14.254	448	504	617
3% diverse kosten (€), gebaseerd op totale operationele kosten van €15-150	150	15	15	19
Totale installatiekosten (€)	20.303	43.393	47.919	52.417
Demontage				
Tijd per dam (h)	20,6	16,6	14,0	9,1
Kosten helpers (€)	4.538	908	713	391
Kosten materiaal, incl. vervanging (€)	8.250	-	200	200

	Zandzakdam	Flutschutz Twee-kamertube	Aqua defence	AQUARIWA
Kosten vrachtwagens, incl. brandstof (€)	641	35	38	28
Totale kosten demontage zonder materialen (€)	5.179	943	750	419
3% diverse kosten (€), gebaseerd op totale operationele kosten van €15-150	150	28	23	15
Totale kosten ontmanteling (€)	13.579	971	973	634
Installatie en demontage totaal				
Totale kosten (€)	33.882	44.364	48.892	53.051

Tabel 4.2 Vergelijking van de kosten van de installatie en demontage van zandzaksystemen en ZVS – ballastdrainage (case 2) en opkisting (case 3).

	Ballastdrainage		Opkisting	
	Zandzak ballast- drainage	Flutschutz Auflastfilter	Zandzak opkisting	Flutschutz Quellkade
Helpers, incl. pelotonleiding	10	3	3	3
Zandzakbehoefte (40 x 60 cm, leeg)	980	-	900	-
Installatie				
Tijd per element (h)	4,9	0,5	4,5	0,5
Kosten helpers (€)	1.078	28	990	28
Kosten materiaal, incl. vervanging (€)	351	3.069	322	3.749
Kosten vrachtwagens, incl. brandstof (€)	41	7	38	7
Totale installatiekosten zonder materialen (€)	1.119	34	1.028	34
3% diverse kosten (€), gebaseerd op totale operationele kosten van €15-150	34	15	31	15
Totale installatiekosten (€)	1.503	3.118	1.381	3.798
Demontage				
Tijd per dam (h)	2,5	1,1	2,3	1,1
Kosten helpers (€)	539	61	495	61
Kosten materiaal, incl. vervanging (€)	490	-	450	-
Kosten vrachtwagens, incl. brandstof (€)	41	7	38	7
Totale kosten demontage zonder materialen (€)	580	67	533	67
3% diverse kosten (€), gebaseerd op totale operationele kosten van €15-150	17	15	16	15
Totale kosten demontage (€)	1.088	82	999	82
Installatie en demontage totaal				
Totale kosten (€)	2.591	3.201	2.380	3.880

Tabel 4.3 Vergelijking van tijd, helpers en logistieke vereisten voor de installatie en demontage van zandzaksystemen en ZVS – tijdelijke waterkering (case 1).

	Zandzakdam	Flutschutz Tweekamer-tube	Aqua defence	AQUARIWA
Helpers, incl. pelotonleiding	10	3	3	3
Vrachtwagens	26	2	2	1
Installatie				
Tijd materialen (h)	41,3	-	2,0	2,0
Tijd logistiek (h)	1,0	1,0	1,0	1,0
Tijd installatie (h)	20,6	7,5	6,5	8,7
Totale tijd, incl. logistiek (h)	62,9	8,5	9,5	11,7
Totale tijd voor helpers (h)	618,8	18,8	21,2	26,8
Demontage				
Tijd materialen (h)	-	-	-	-
Tijd logistiek (h)	1,0	1,0	1,0	1,0
Tijd demontage, incl. schoonmaken van het ZVS (h)	20,6	16,5	13,0	7,1
Totale tijd, incl. logistiek (h)	21,6	17,5	14,0	8,1
Totale tijd voor helpers (h)	206,3	41,3	32,4	17,8
Installatie en demontage totaal				
Totale tijd, incl. logistiek (h)	84,5	26,0	23,4	19,8
Totale tijd voor helpers (h)	825,0	60,0	53,6	44,5

Tabel 4.4 Vergelijking van tijd, helpers en logistieke vereisten voor de installatie en demontage van zandzaksystemen en ZVS – ballastdrainage (case 2) en opkisting (case 3).

	Ballastdrainage		Opkisting	
	Zandzak ballast- drainage	Flutschutz Auflastfilter	zandzak opkisting	Flutschutz Quellkade
Helpers, incl. pelotonleiding	10	3	3	3
Vrachtwagens	2	1	2	1
Installatie				
Tijd materialen (h)	2,5	-	2,3	-
Tijd logistiek (h)	1,0	1,0	1,0	1,0
Tijd installatie (h)	2,5	0,5	2,3	0,5
Totale tijd, incl. logistiek (h)	5,9	1,5	5,5	1,5
Totale tijd voor helpers (h)	49,0	1,3	45,0	1,3
Demontage				
Tijd materialen (h)	-	-	-	-
Tijd logistiek (h)	1,0	1,0	1,0	1,0
Tijd installatie (h)	2,5	1,1	2,3	1,1
Totale tijd, incl. logistiek (h)	3,5	2,1	3,3	2,1
Totale tijd voor helpers (h)	24,5	2,8	22,5	2,8
Installatie en demontage totaal				
Totale tijd, incl. logistiek (h)	9,4	3,6	8,8	3,6
Totale tijd voor helpers (h)	73,5	4,0	67,5	4,0

Tabel 4.5 Systeemaftmetingen en verdere eigenschappen van de in Lankenau e.a. (2020) geteste ZVS.

producent/ distributeur	productnaam	W (m)	S (m)	L (m)	B (m)	G (kg)	D (m)	systeem	hoofd- bestand- deel	vulma- teriaal	water- doorla- tend	verankering	materiaal, benodigd- heden	homepage
bassinsysteem														
Aquariwa GmbH	AQUARIVA	0,5 – 1,0 (met water) 1,0 – 1,5 (met zand)	0,9 - 1,5	-	-	15,0 – 39,0	1 – 1,5	platen buigen tot cilindrische containers gevuld met water, zand of grind	glasvezel versterkt kunststof-plaat met rooster, folie waterzak	water, zand, grind	nee	geen	dekzeilen, zandzakken, slangen, pompen of wielladers, kieper	https://aquariwa.de/
Indutainer	INDUTAINER	niet gespecificeerd	1,05	0,93	0,93	7,0	-	met water gevuld bekkensysteem	polypropyleen doek, polyurethaanschuim	water	nee	geen	dekzeil, pompen, slangen, vul hulp indien nodig	https://www.indutainer.com/
Quick Damm GmbH	Quick DAMM	1,0	1,0	2,0	1,0	50,0	-	open, inklapbaar stalen frame met een geotextiel bak, gevuld met zand of grind of een plastic container gevuld met water	stalen frame, geotextiel of weefsel met kunststof coating, dekzeil	water, zand, grind	verschilt	geen	wielladers, kiepers of pompen en slangen	Webpagina niet meer bereikbaar
framesysteem														
ALTRAD plettac assco GmbH	Aqua Defence	1,3	1,3	1,3	1,7	ca. 41,5 per m	-	hardschuimpanelen bedekt met dekzeil op inklapbare steunelementen	hardschuim panelen, gegalvaniseerde steunelementen, dekzeil	-	nee	Niet gespecificeerd	zandzakken	https://plettac-assco.de/produkte/sonstiges/aqua-defence
Geodesign Barriers (formerly RS Stepanek KG)	Aqua Barrier	0,65 – 1,8	0,65 – 1,8	1,23	niet gespecificeerd	niet gespecificeerd	-	europallet bedekt met dekzeil opvouwbare en inklapbare elementen	houten pallets, gegalvaniseerde steunelementen	-	nee	Niet gespecificeerd	houten pallets, dekzeilen, zandzakken	https://geodesignbarriers.com/ https://www.hs-silberbauer.at/hochwasserschutz/aqua-barrier-mobiles-plattensystem.html
damsysteem														
NOAQ Flood Protection AB Waterschot	NOAQ boxwall (Waterschot)	0,5	0,53	0,71	0,68	3,4	-	aan elkaar aangesloten L-vormige elementen	ABS (acrylonitril butadien styreen)	-	nee	geen	eventueel dekzeil bij oneffen ondergrond of op bestrating	https://noaq.com/ https://waterschot.nl/
tubesysteem														
European Flood Control GmbH	Tiger Dam	0,4; 0,75; 1,0	0,5 per tube	15,0	-	30 per tube	0,5 per tube	gesloten, met water gevuld buizensysteem, vastgebonden in piramidevorm	PVC	water	nee	Mogelijk als extra bescherming tegen wegglijden	dekszeilen, zandzakken, pompen, slangen	https://eu-floodcontrol.eu/
Hochwasser schutz Agentur	Hydrobaffle	0,23 – 1,83	0,31 – 2,44	3,0 – 32,0	0,7 – 5,49	2,6 – 20,3	0,7 – 5,5	gesloten, met water gevuld buizensysteem	kunststof-gecoat weefsel, dekzeil	water	nee	geen	pompen, slangen, vierkante sleutels voor de afdichting	https://www.hochwasserschutz-agentur.de/

producent/ distributeur	productnaam	W (m)	S (m)	L (m)	B (m)	G (kg)	D (m)	systeem	hoofd- bestand- deel	vulma- teriaal	water- doorla- tend	verankering	materiaal, benodigd- heden	homepage
Mobildeich GmbH	Mobildeich	0,45 – 2,6	0,45 – 2,6	10,0 – 50,0	0,4 – 2,6	5 - 56 per m	0,45 – 1,5	gesloten, met water gevulde buizensysteem, bijeengehouden als een pakking uit twee tot drie buisjes met netbekleding en afdichtend dekzeil	PVC-gecoat polyesterweefsel	water	nee	geen	pompen, slagen, Y-stuk	https://www.mobildeich.de/
Optimal Umwelttechnik GmbH	Flutschutz dubbelkamerbuis	0,6	0,9	10,0 – 15,0 – 20,0	-	110 - 220	1,5 / 0,9	gesloten, met water gevulde buissysteem	polyester weefsel gecoat op beide zijden	water	nee	geen	bladblazer, pompen, slangen	https://optimal-umwelttechnik.de/hochwasserschutz/doppelkammerschlauch-flutschutz
Öko-Tec Umweltschutzsysteme GmbH	Öko-Tec met buiswand	0,5 – 1,5	0,5 – 1,5	5,0 – 20,0	1,5 – 2,3	4,0 – 9,5 per m	0,5 – 1,5	gesloten luchtgevuuld buissysteem	PVC	lucht	nee	Indien nodig als wind op de kant van de beschermingszone of bij stroming op de waterkant	blower	https://oeko-tec.de/oeko-tec-tube-wall/
ballastfilter														
Optimal Umwelttechnik GmbH	Flutschutz Auflastfilter (lastdrain/lastfilter)	-	0,6	7,0	3,5	70,0	-	gesloten, met water gevuld tubesysteem	polyester weefsel, gecoat op beide zijden	water	nee	geen	pompen, slangen	https://optimal-umwelttechnik.de/hochwasserschutz/auflastfilter-flutschutz
tijdelijke ringdam														
Optimal Umwelttechnik GmbH	Flutschutz Quellkade	1,0	1,0	2,9	2,9	35,0	-	gesloten, met water gevuld tubesysteem	polyester weefsel, gecoat op beide zijden	water	nee	geen	bladblazer, pompen, slangen	https://optimal-umwelttechnik.de/hochwasserschutz/quellkade-flutschutz

W = te keren waterhoogte, S = systeemhoogte, L = lengte, B = breedte, G = ongevuld gewicht, D = diameter

5

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

5.1 CONCLUSIES UIT HET ONDERZOEK VAN LANKENAU E.A. (2020)

Binnen het onderzoek van Lankenau e.a. (2020) zijn testen uitgevoerd met verschillende ZVS, waarbij de nadruk lag op stabiliteit, functionaliteit en hantering. De ervaringen met de tests laten zien dat ZVS door hun functionaliteit, hun werk- en tijdbesparende eigenschappen en hun lagere benodigde hoeveelheid materiaal het potentieel hebben om de inzet van noodmaatregelen efficiënter te maken dan met het gebruik van zandzakken alleen. Aangezien ZVS technische systemen zijn waarvan de functionaliteit eerst bewezen moet worden voordat ze als noodmaatregel geaccepteerd en ingezet kunnen worden, wordt de invoering van een Nederlands of zelfs Europees test- en certificeringssysteem dringend aanbevolen.

Een basis voor de ontwikkeling van een certificeringssysteem volgens Duitse normen is al beschikbaar in de BWK-brochure Mobiele hoogwaterbeschermingssystemen (BWK, 2005) en de internationale certificeringssystemen van FM Approvals (FM Approvals, 2019) en BSI Kitemark (2019a), evenals in de hier beschreven testresultaten van Lankenau e.a. (2020), Massolle e.a. (2018) en Massolle (2023) van de testfaciliteit Hoya en de ervaringen bij de hoogwateroefening Wolkbreuk en van tests van de TU Delft op de testfaciliteit Flood Proof Holland in Delft.

Bij het gebruik van ZVS in plaats van zandzakken moet ook rekening worden gehouden met andere aspecten. Deze omvatten de lagere flexibiliteit van ZVS om adaptief te worden toegepast in noodsituaties, hogere eisen aan getraind personeel, het creëren van gevaren

door montagefouten, defecten in de constructie, mechanische invloeden door drijfhout, voertuigen en mensen, vandalisme, de mogelijkheid van collectief falen (domino-effect), en de invloeden van stromingen, wind en golven. De gevaren die worden geïntroduceerd door het gebruik van ZVS kunnen niet volledig worden uitgesloten, maar de gevaren kunnen worden geminimaliseerd door het nemen van de juiste voorzorgsmaatregelen, bijv. het instellen van veiligheidszones naast de systemen, het verankeren van systemen in de grond, en het nauwlettend in de gaten houden van de ZVS en hun omgeving aan de waterzijde.

ZVS maken het ook gemakkelijk om hogere waterstanden te keren, wat aan de ene kant een voordeel is maar aan de andere kant ook leidt tot een grotere kans op bezwijken van de ondergrond als een te hoog waterniveau worden opgestuwd. Dit speelt vooral bij kruinverhogingen van een dijk. In het algemeen kan het gebruik van ZVS leiden tot hogere eisen aan de ondergrond. Veel van de hier genoemde aspecten kunnen worden vastgelegd in richtlijnen om beleidsmakers te ondersteunen met betrekking tot het mogelijke gebruik van ZVS.

Bovendien is bij ZVS er mee rekening te houden dat hun beschermingsniveau (dit is de door het systeem nog veilig te keren waterhoogte) vaak lager is dan hun constructieve hoogte. Bij hogere waterstanden dreigen deze instabiel te worden omdat zij dan opdrijven. Dit geldt

met name voor met water gevulde systemen. Daarenboven zijn vele systemen qua te keren hoogte niet uitbreidbaar. Systemen worden met een vaste hoogte of met meerdere vaste hoogtes aangeboden. Het is echter nauwelijks mogelijk deze achteraf nog te verhogen, door deze op elkaar te stapelen. Bij sommige tubesystemen bestaat nog de mogelijkheid een derde tube op twee naast elkaar liggende tubes te plaatsen of met andere hulpstukken de kerende hoogte iets te vergroten.

Daarbij zijn ook niet alle systemen die wel tot hun volledige hoogte water kunnen keren ook veilig overstroombaar.

Rekening houdend met mogelijke catastrofale gevolgen in het geval van falen, moet de installatie van ZVS gepland en uitgevoerd worden onder toezicht van specialisten en is een gerichte observatie van de ZVS tijdens het hoogwater vereist. ZVS zijn eerder een geschikte aanvulling op zandzaksystemen dan een volledige vervanging daarvan. Vooral vanwege hun eenvoudige, flexibele hantering en hun robuuste en betrouwbare inzetbaarheid in verschillende gebruikssituaties, zijn zandzakken een essentieel middel in de operationele hoogwaterbescherming. Ongeacht of ZVS in de toekomst steeds meer toepassingen zullen vinden, zandzakken zullen een belangrijke rol blijven spelen in de bescherming tegen hoogwater vanwege hun eenvoudige toepassing en hoge mate van flexibiliteit, zelfs als ze bijvoorbeeld alleen worden gebruikt om gaten te dichten waarvoor voorgefabriceerde systemen van een bepaalde lengte niet geschikt zijn.

De operationele kosten zijn hier voor specifieke scenario's en met verschillende vereenvoudigingen bepaald maar het maakt niettemin een benaderende schatting van de operationele kosten van het plaatsen van zandzaksystemen en ZVS onder realistische omstandigheden mogelijk. Bij eenmalig gebruik vertonen alle ZVS hogere totale kosten, inclusief kosten voor investering, logistiek, installatie en demontage. De hogere totale kosten zijn met name het gevolg van de hogere aanschafkosten van de onderzochte ZVS.

ZVS zijn echter herbruikbaar. Aangezien de aankoopkosten van de ZVS tijdens hun hergebruik worden gecompenseerd, speelt voor het compenseren van de hogere aankoopkosten het aantal keren dat een ZVS binnen zijn levensduur kan worden toegepast een beslissende rol.

Omdat ZVS met relatief lage logistieke inspanning vervoerd kunnen worden, is een meer gecentraliseerd opslagsysteem denkbaar, waarbij de systemen bij hoogwater vervoerd kunnen worden vanuit verder gelegen regio's, die niet direct getroffen zijn door het hoogwater naar de plaats waar er op dat moment behoefte aan is. Dit maakt ook een door meerdere waterschappen gezamenlijk uit te voeren en daarmee kosteneffectieve acquisitie interessant.

Alle onderzochte ZVS vertonen duidelijke tijd-, materiaal- en personeelbesparende voordelen. Met al deze aspecten, in het bijzonder het tijdbesparende voordeel, dat cruciaal kan zijn om snel bescherming te bieden, moet rekening worden gehouden. De tijd-, materiaal- en personeelbesparende eigenschappen van ZVS zouden de mogelijkheid kunnen bieden om ZVS te gebruiken tijdens zware neerslaggebeurtenissen en overstromingen met slechts korte waarschuwingstijden. Dergelijke gebeurtenissen kunnen gepaard gaan met hoge stroomsnelheden, wat resulteert in potentieel hoge dynamische belastingen. Verder onderzoek en een speciale testroutine zouden nodig zijn om betrouwbare uitspraken te kunnen doen over de functionaliteit van een ZVS tijdens dergelijke gebeurtenissen.

Vanuit technisch oogpunt worden besluitvormers geconfronteerd met vragen over de betrouwbaarheid van ZVS, die in het algemeen een goede functionaliteit vertonen, die vergelijkbaar is met die van zandzaksystemen en, wat betreft benodigde tijd, menskracht

en materiaal, betere resultaten opleveren dan zandzakken alleen.

De vraag naar een goed aangetoonde functionaliteit van ZVS kan worden aangepakt door onafhankelijke testroutines en certificeringen in te voeren. Vanuit economisch oogpunt worden besluitvormers geconfronteerd met de uitdaging van hogere investeringskosten als ZVS worden aangeschaft. De hier uitgevoerde onderzoeken geven aan dat dit niet met economische verliezen gepaard gaat, als ZVS vervolgens ook worden hergebruikt. ZVS kunnen bovendien in een aanzienlijk kortere tijd worden opgezet, wat vaak de basis is voor een effectieve bescherming.

5.2 RESULTATEN EN CONCLUSIES UIT ENQUÊTE ONDER NEDERLANDSE DIJKBEHEERDERS

Bij 18 Nederlandse waterkeringbeheerders werd middels een enquête geïnventariseerd of, en zo ja over welke, mobiele tijdelijke keringsystemen zij al beschikken en wat hun ervaringen hiermee zijn. Ook is gevraagd of zij eventueel van plan zijn mobiele keringsystemen aan te schaffen en wat hun verwachtingen ten aanzien van hun inzetmogelijkheden zijn c.q. wat hen anders tot nu toe ervan weerhoudt deze aan te schaffen.

Op deze enquête hebben 15 dijkbeheerorganisaties gereageerd. De vragen en antwoorden van deze enquête zijn opgenomen in Bijlage A.

In de volgende subparagrafen wordt behandeld welke punten uit deze enquête naar voren kwamen.

5.2.1 INSTELLING TEGENOVER MOBIELE KERINGEN EN OPGEDANE ERVARINGEN

De waterkeringbeheerders beschikken alle over traditionele maatregelen zoals zandzakken en big bags.

Over zandzakvervangende systemen beschikken slechts 5 waterkeringbeheerders:

- Watergate (HHNK).
- Flexwall van 50 cm kerende hoogte (WDOD, in het verleden).
- Slamdam (HHSK, WSBD).
- Waterschot (WF, WL).
- TubeBarrier (WSBD).
- NoFloods tubebARRIER (WSBD).
- Mobildeich (WL).
- Geodesign Barrier (WL).

Daarnaast worden soms ook bulksystemen zoals betonblokken of snelwegbarrières voor kruinverhogingen en demontabele keringen zoals schotbalken ingezet. HDSR heeft inmiddels een zogenaamde block bag laten ontwikkelen, een vormvaste variant van de big bag, die vanwege haar blokvorm beter aansluit, afsluitbaar is en daardoor ook stapelbaar.

In 2023 heeft Waterschap Limburg (WL) een Europese aanbesteding gedaan voor het afsluiten van twee 4-jarige raamovereenkomsten voor het leveren van mobiele waterkeringen. De

gekozen leveranciers zijn Geodesign Barriers uit Zweden en MWK (Mobiële Waterkeringen) uit Nederland.

Bij de aanbesteding is een uitvraag gedaan voor type noodkeringen van 50 en 100 cm hoog waardoor deze uiteindelijk in aanschaf gunstiger zijn dan de tussenliggende hoogtes van 40, 60 of 80 cm.

WL heeft eind 2025 ervoor gekozen om bij alle noodplannen te werken met standaard containers ingericht met óf 600 m Geodesign Barriers E51 van 50 cm hoog óf 360 meter Geodesign Barriers P101 van 100 cm hoog.

De desbetreffende dijkbeheerders zijn met de eigen systemen goed vertrouwd, oefenen er regelmatig mee en proberen het aantal hiermee ervaren personen uit te breiden, zodat deze weer andere mensen kunnen aansturen. Ieder jaar wordt bij WL op de eigen testlocatie geoefend, en als er definitieve noodplannen zijn wordt er ook op locatie geoefend.

Bij de oefening Wolkbreuk hebben ook waterkeringbeheerders van meerdere organisaties deelgenomen en eerste ervaringen opgedaan met de systemen Haawal, Box Barriers, Geodesign Barrier, Waterschot, Mobildeich, TubeBarrier en Flexibele Waterdam Buitink (zie ook §5.3).

Figuur 5.1 Impressie van de oefening Wolkbreuk. Bij de hier weergegeven testopstelling zijn de systemen Waterschot, Buitink Flexibele Waterdam en Geodesign Barrier gezamenlijk getest.



Met het combineren van mobiele systemen of het omgaan met aansluitingen naar andere systemen zoals muren hebben de meeste keringbeheerders echter nog nauwelijks of geen ervaring. Alleen tijdens de oefening Wolkbreuk (november 2026 bij HDSR) is hiermee geëxperimenteerd. Bovendien heeft men deze systemen in Nederland tot nu toe nog nooit tijdens calamiteiten ingezet.

Sommige keringbeheerders zien op dit moment vanuit waterveiligheid geen noodzaak, maar ook geen echte meerwaarde om mobiele keringen aan te schaffen. Omdat de meeste primaire keringen inmiddels op voldoende hoogte zijn, ziet men eigenlijk geen aanleiding om met mobiele keringen hoogtetekorten bij dijken te compenseren. Ook gaat men ervan uit dat men de stijging van het water op een zodanige termijn ziet aankomen, dat er voldoende capaciteit is om zandzakken e.d. toe te passen, waarmee men al ruime ervaring heeft.

Men ziet wel voordelen in de snelheid van plaatsing en de geringere vervoersbeweging, maar de prioriteit ligt toch vooral bij de basisvoorzieningen (zandzakken, big bags, bekramingen). De hogere investeringskosten en de nodige opslag voor mobiele keringen schrikken veeleer af. Men weet ook vaak niet of men op deze systemen überhaupt kan vertrouwen. Zandzakconstructies zijn immers zwaarder en daardoor stabiel en minder windgevoelig. Ook wordt verondersteld dat de toepassing van mobiele systemen op primaire keringen langs de kust vanwege de omvang van de golfbelasting uitgesloten is.

Er bestaat vooral onduidelijkheid omtrent de volgende aspecten:

- Wat is de meerwaarde van mobiele keringen bij primaire keringen?
- Wat gebeurt er met een opgezette kering als de maximaal toegelaten kerende hoogte (beschermhoogte) wordt overschreden?
- Hoe is onderloopsheid te verhelpen?
- Hoe snel is een lek / beschadiging gerepareerd?

Naast de inzet bij een hoogtetekort van primaire keringen ziet men vooral de volgende toepassingsmogelijkheden:

- Inzet bij wateroverlast als gevolg van extreme neerslag om water weg te leiden.
- Afdammen van watergangen.
- Compartimentering van boezemwater.
- Inzet als ringdijk (noodkering) bij beverschade.
- Gebruik als kwelkade om het binnendijkse waterpeil lokaal tijdelijk te kunnen verhogen.
- Kruinhoogte verhoging bij regionale keringen van 25 cm over grote lengtes.
- Remmen van overslagwater (bij primaire keringen).
- Kleinschalig de gevolgen van een lekkage of scheur beperken.

Ook wordt benadrukt dat het heel wenselijk zou zijn dat systemen binnen meerdere waterschappen en overheden kunnen worden ingezet.

5.2.2 MOGELIJKE TESTLOCATIES

Bij de meeste waterschappen ziet men mogelijkheden om een tijdelijke testopbouw te kunnen realiseren of in het beheergebied, op de bestaande dijken of in de uiterwaarden. HHNK is bezig met voorbereiding van een semipermanente oefenlocatie.

Waterschap Limburg heeft specifiek voor de marktconsultatie en de aanbesteding van mobiele keringen een testlocatie aangelegd in de groene rivier langs de Roer bij de Keersluizen in Roermond (Figuur 5.1 t/m Figuur 5.7).

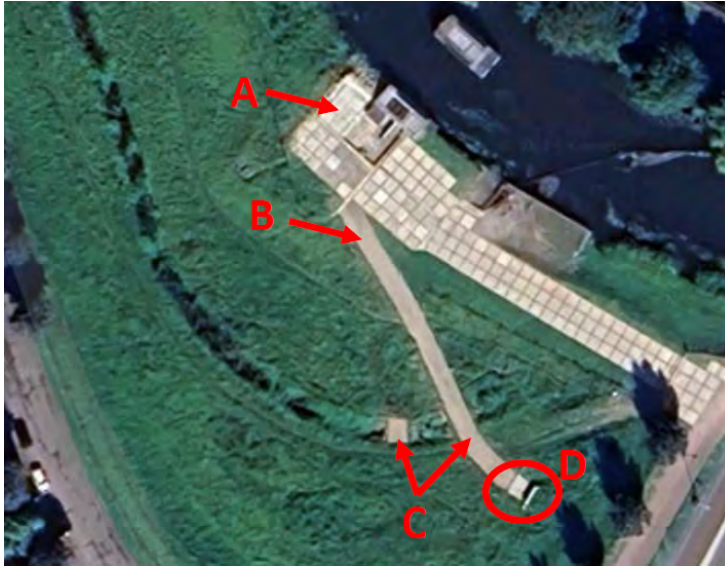
Figuur 5.2 Testlocatie Field Lab bij Waterschap Limburg in Roermond, test van twee stroken met de Geodesign Barrier, één langs een verharde weg en één op het onregelmatige grasterrein.



Figuur 5.3 Testlocatie bij Waterschap Limburg in Roermond, test Mobildeich.



Figuur 5.4 Inrichting testlocatie Field Lab Roermond: A) pomp opstelplaats, B) hellingbaan, C) 2 duikers met afsluiter, D) trottoir met rechte wand.



Figuur 5.5 Field Lab: testtrottoir met stoeprand naast een asfaltweg (links) en een rechte wand achter de stoep (rechts)



Figuur 5.6 Field Lab: testtrottoir met stoeprand. Twee rijen van Waterschot worden via twee gevelelementen aan elkaar gekoppeld om de stoeprand te overbruggen.



Figuur 5.7 Field Lab: Twee rijen van mobiele keringen op een helling over verschillende ondergronden geplaatst. Testen van watergeleiding en waterberging.



Figuur 5.8 Field Lab: mobiele kering op een hobbelig terrein met helling.



5.2.3 DOOR DE KERINGBEHEERDERS AAN EEN MOBIELE KERING GESTELDE EISEN EN WENSEN

Waterschap Limburg (WL) heeft na een marktconsultatie voor de aanschaf van mobiele keringen de eigen eisen duidelijk beschreven in een programma van eisen voor de aanbesteding in 2023.

Hiertoe zijn door WL voor twee verschillende soorten keringen programma's van eisen opgesteld:

- Noodkering die bij een calamiteit in korte tijd op te bouwen moet zijn **als snelle interventie voor het sturen en keren van waterstromen** met een standaard hoogte.
- Keringen die op verschillende ondergronden toepasbaar zijn voor het **robuust keren van water (barrièrevorming)**.

Algemene eisen aan een noodkering:

- De noodkering dient voldoende (m.b.t. sturen & keren) c.q. aantoonbaar (m.b.t. keren) getest (bij voorkeur via certificering) te zijn op voldoende sterke en stabiliteit op het gebied van alle voorkomende faalmechanismen zoals bezwijken door overslaand of overstromend water, onderloopsheid en onvoldoende sterkte in de kering zelf.
- De noodkering dient bij intensief gebruik (2 keer per jaar) een minimale levensduur te hebben van 10 jaar, bij extensief gebruik (1 keer per 5 jaar) 15 jaar.
- De noodkering moet minimaal 72 uur waterkerend zijn.
- De folie dient geschikt te zijn voor meervoudig intensief gebruik en op een integrale manier verzaamd te zijn om onderloopsheid te voorkomen dan wel tot een minimum te beperken.

Specifieke eisen voor een snelle interventie voor het sturen & keren van waterstromen met een standaard hoogte:

- De totale noodkering dient eenvoudig te plaatsen te zijn met hoofdzakelijk menskracht en zonder zwaar materieel, inhoudende dat het gewicht van de kering proportioneel moet zijn tot de wijze van plaatsen. Alles snel handmatig plaatsen heeft de voorkeur.
- Het materieel moet snel inzetbaar zijn rekening houdende met:
 - Klein transportvolume waardoor zo min mogelijk transportvoertuigen nodig zijn.
 - Snel op (of in) en af (of uit) te laden zijn en makkelijk verplaatsbaar op locatie.
- Bij voorkeur is de kering gecertificeerd met een gepaste certificering.
- Aantoonbaar getest op langstroming.

Specifieke eisen voor het robuust keren van water (barrièrevorming) tot berekende hoogte:

- De totale noodkering kan afhankelijk van het type ondergrond uit meerdere systemen bestaan die in zijn geheel eenvoudig te plaatsen moet zijn met hoofdzakelijk menskracht en eventueel specifiek hulpmaterieel. Dit betekent dat het gewicht van de kering proportioneel moet zijn tot de wijze van plaatsen.
- Het materieel moet snel inzetbaar zijn, rekening houdende met:
 - De opslag van de materialen in aangeboden hulpmiddelen die snel op en afladen mogelijk maken.
 - Het transport van de materialen met meerdere typen transportmiddelen mogelijk moet zijn afgestemd op de inzetlocatie.
- De noodkering en benodigde hulpmiddelen worden geleverd in rekken of kisten die zowel met palletvorken als met hijskettingen verplaatst kunnen worden en die in de opslag voor voldoende bescherming van de materialen zorgen. Deze rekken dienen stapelbaar te zijn tot een hoogte van max. 5 m.

Ook HHNK heeft een memo opgesteld rondom basisrandvoorwaarden voor de inzet en stabiliteit van noodwaterkeringen, gericht op hun beheergebied.

De volgende wensen en eisen aan mobiele keringen werden in de enquête door de andere waterschappen genoemd:

- Het systeem moet snel, goedkoop, makkelijk én breed inzetbaar zijn.
- De investeringskosten moeten zich wel terug kunnen verdienen. Daarom is ook de levensduur van belang.
- Men is meer op zoek naar één flexibel systeem dat bij alle waterkeringen (primair en regionaal) kan worden ingezet, dus het meest ideale systeem.

- Men is geïnteresseerd in systemen die snel inzetbaar, makkelijk op te bouwen en al stabiel zijn bij lage te keren waterstanden.
- De systemen moeten in hoogte uitbreidbaar zijn om ook bij verder stijgende waterstanden nog te kunnen beschermen.
- De systemen moeten voldoende stabiliteit hebben. Stabiliteit wordt hierbij belangrijker geacht dan plaatsingstijd. Dit geldt zowel voor het systeem zelf als voor het wrijvingscontact met de ondergrond.
- Een goede aansluiting op de ondergrond (minimale onderloopsheid / weinig lekwater).
- De systemen moeten het tracé ook bij kleine bochten (kleine boogstraal of kleine hoekverdraaiing) kunnen volgen, dus ook het kunnen maken van scherpe knikken, en dan ook voldoende stabiel zijn..
- Het systeem moet bij twee typen weersomstandigheden opgesteld kunnen worden:
 - Preventiesituatie: Weliswaar natte omstandigheden met veel wind, maar waarbij maatgevende boezempeil nog niet is opgetreden (onbelaste opstelling).
 - Maatgevende situatie: Hevige regenval, veel wind, maatgevende omstandigheden gepaard met golfoverslag (belaste opstelling).
- De noodwaterkering moet zich stabiel gedragen bij windbelasting. Tevens moet de noodwaterkering opgesteld kunnen worden bij stormachtige weertypen.
- Bij boezemsystemen treedt onder maatgevende omstandigheden gemiddeld een golfhoogte van 20 centimeter op. Deze golfhoogtes moet het systeem dus minimaal kunnen keren.
- Overtopping mag niet leiden tot instabiliteit van de noodkering.
- Het systeem moet stabiel blijven bij golfwerking. Hiermee wordt bedoeld dat het systeem kortstondig golven moet kunnen keren. Het systeem moet stabiel blijven bij de wisselwerking van kortstondig belasten en ontlasten van het systeem, inclusief de zuigende werking van de golf.
- Men is op zoek naar systemen, het liefst maar één systeem, dat kan worden toegepast op verschillende en steeds wisselende ondergronden . Dit betreft zowel wijziging qua samenstelling en vorm, denk aan onverhard/verhard (gras/wegverharding), overgang trottoir/weg en bij drempels en wildroosters, het liefst ook toepassing in een beek.
- Systemen waarmee je vele wellen kunt opkisten op oneffen ondergrond met lichte materialen, waarbij waterhoogte in de kist kan worden gevarieerd.
- Middelen die snel inzetbaar zijn over grote lengtes en in staat zijn een beperkte hoogte van enkele cm tot 25 à 50 cm te kunnen keren.

5.3 CONCLUSIES UIT LITERATUURONDERZOEK, PRODUCTBESCHRIJVINGEN EN ERVARINGEN VANUIT OEFENINGEN

5.3.1 FUNCTIONELE BEOORDELINGSKENMERKEN VOOR DE SELECTIE VAN SYSTEMEN

De systeemhoogte van een tijdelijke mobiele kering is de verticale afstand tussen het vlak waar de voet van de mobiele kering op staat en de bovenkant van de mobiele kering. DIN 19712 Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern (waterkeringen langs rivieren) geeft een oriëntatiehulp voor de aan een mobiele kering te geven eisen aan een mobiele kering, afhankelijk van de systeemhoogte en het schadepotentiaal (hoog, middel gering) van het te beschermen gebied. Hieruit resulteert een bepaalde bouwklasse I, II of III, waarbij klasse I het hoogste schadepotentiaal vormt en voor alle systeemhoogtes van toepassing is. Bij een gering schadepotentiaal geldt klasse I voor systeemhoogte van > 3 m, klasse III voor systeemhoogtes < 1,5 m.

Bij mobiele keringen wordt in de DIN 19712 Tabel 3 afhankelijk van de bouwklasse een minimaal vrijboord aanbevolen:

- Overstroombare systemen: 0,2 m.
- Niet overstroombare systemen (voor klasse II en III): 0,5 m.
- Niet overstroombare systemen (voor klasse I):
 - 0,5 m bij een systeemhoogte van < 0,75 m.
 - 0,5 – 1,0 m bij een systeemhoogte 0,75 m t/m 1,5 m.
 - 1,0 m bij een systeemhoogte van > 1,5 m.

Bij de aanschaf van een mobiele keringen is daarom met de desbetreffende nog veilig te keren waterhoogte (= systeemhoogte - vrijboord) rekening te houden.

Afgezien van de aanschaf- en exploitatiekosten verschillen systemen van mobiele waterkeringen onderling wat betreft de constructie, de toegestane toepassingsgebieden en de noodzaak en kosten van logistiek en onderhoud.

De functionele kenmerken die als beoordelingscriteria worden gebruikt, kunnen in de volgende rubrieken worden onderverdeeld:

- Type systeem.
- Toepassingsgebied:
 - Toepassingsmogelijkheden.
 - Passeerbaarheid na opbouw (overheen lopen of t.b.v. materiaalvoer).
 - Mogelijkheid tot latere aanpassing in hoogte tijdens gebruik.
 - Grenzen of beperkingen van het systeem volgens tests en keuringen, bijv. maximaal te keren waterniveau.
- Materiaal:
 - Gevoeligheid voor vorst.
 - Weerstand tegen zout water.
 - UV-straling.
- Stabiliteit:
 - Stevigheid en draagvermogen van één element.
 - Het al dan niet optreden van een domino-effect als één element faalt.
 - Stabiliteit (bijv. weerstand tegen drijfvuil of mechanische invloeden).
 - Gevoeligheid voor vandalisme.
- Waterdichtheid:
 - Toegestane lekverliezen.
 - Aanpassingsvermogen van het systeem aan oneffen oppervlakken en bij overgangen (stoep, muur) en het draagvermogen van de ondergrond.
- Kosten voor aanschaf:
 - Levensduur.
 - Duurzaamheid (hergebruik of verwijdering).
 - Noodzakelijke structurele voorwaarden en extra kosten hiervoor.
- Kosten en inspanning voor opbouw:
 - Tijd.
 - Apparatuur.
 - Personeel.
 - Instructie en training voor installatie.

- Kosten voor onderhoud na gebruik:
 - Benodigde tijd.
 - Apparatuur.
 - Aantal personen.
- Logistiek:
 - Het gewicht van afzonderlijke elementen.
 - Maximale afmetingen van het standaardsysteem.
 - Benodigde opslagcapaciteit (bijv. per 100 m).
 - Opslaglocatie: buiten of beschermd binnen.
 - Benodigde transportcapaciteit.
- Referenties: bijv. toepassing in de praktijk tijdens een hoogwater.

Informatie van producenten moet altijd kritisch worden bekeken voor wat betreft het mogelijke toepassingsgebied en het prestatievermogen. Deze dienen door een onafhankelijke test- of certificeringsinstantie te worden bepaald.

5.3.2 CONCLUSIES N.A.V. VERDERE LITERATUURSTUDIES EN ERVARINGEN BIJ OEFENINGEN

De inzet van mobiele keringsystemen is beperkt mogelijk bij zeer grote te keren waterdieptes, bij een beperkte voorwaarschuwingstijd en bij een hoge intensiteit van de inwerkende factoren (golfslag, stromingssnelheid, botsing met drijfvuil).

Mobiele keringen worden normaliter in een crisissituatie als noodmaatregel op een locatie toegepast zonder specifieke kennis over deze locatie. Zij kunnen echter ook gepland worden ingezet, bijvoorbeeld als secundaire beschermingslijn als er een grote kans bestaat dat de waterkering zelf gaat overstromen of bezwijken, of als tijdelijke voorziening zolang de kering zelf nog niet volledig gerealiseerd of versterkt is. Deze worden dan op een vooraf bepaalde locatie bij een te verwachten extreme situatie met goede kennis over de locatie ingezet.

Bij de inzet in noodsituaties bestaan echter grotere onzekerheden en daarmee een groter risico op falen. Uit de hiermee verbonden risico's volgen maximale beschermingshoogtes die voor de in te zetten mobiele keringen worden aanbevolen. Een verhoging van de beschermingshoogte is volgens sommige producenten mogelijk. Het wordt echter aanbevolen per geval een risicobeschouwing door te voeren.

Volgens BWK Merkblatt 6 wordt bij noodsituaties een maximale beschermingshoogte van 0,6 m aanbevolen. Bij een vooraf geplande inzet van mobiele keringen is de aanbevolen maximale beschermingshoogte 1,2 m.

Verzwarende randvoorwaarden voor de inzet betreffen:

- Topografie: hellingen in langs- en dwarsrichting bepalen veiligheid tegen glijden en kantelen.
- Hoedanigheid van het terrein: gras, asfalt, klei en de actuele toestand (droog, nat, sneeuw, ijzelvorming) bepalen de veiligheid tegen wegglijden van het systeem.
- Opbouw in water: opbouw van het systeem kan in staand of stromend water nodig zijn. Dat betekent dat verankeringen en folies onder water moeten worden geplaatst.
- Toegangsmogelijkheden: de weg tot aan de locatie van plaatsing is niet altijd met voertuigen toegankelijk. De systeemelementen moeten dan handmatig worden getransporteerd en mogen niet zwaarder dan 30 kg zijn.
- Beschikbaarheid van vulmateriaal: Sommige systemen moeten met water, zand of

grind worden gevuld, wat niet altijd ter plekke beschikbaar is en wat tot vertraging kan leiden.

- Duisternis: De opbouw van vele systemen is moeilijk als het donker is, in het bijzonder als er veel kleine onderdelen moeten worden gemonteerd.
- Kou i.v.m. vorst: moeilijke opbouw van met water gevulde systemen.

Lange standtijden van mobiele keringen verhogen het risico op vandalisme, in het bijzonder als er geen bewaking mogelijk is.

Sommige van de hier beschreven principiële systemen van mobiele keringen worden door meerdere producenten aangeboden. Deze systemen lijken soms sterk op elkaar, ook omdat er kennelijk geen eenduidig patent op zit. Ze onderscheiden zich soms in essentiële details, die één systeem betrouwbaarder en daarmee veiliger kunnen maken dan vergelijkbare systemen.

Sommige systemen worden onder verschillende namen aangeboden, maar zijn identiek omdat ze in Nederland door een lokale verkoopmaatschappij worden aangeboden, zoals bijvoorbeeld NOAQ Boxwall van de Zweedse producent NOAQ Flood Protection AB, wiens product in Nederland ook onder de naam Waterschot bekend staat, omdat hun verkoop via het bedrijf Waterschot plaatsvindt. Er is echter ook een vergelijkbaar product NoFloods EasyWall op de markt dat sterk op de NOAQ Boxwall lijkt, maar bijvoorbeeld over een ander koppelsysteem beschikt en waar ook modules beschikbaar zijn die qua lengte individueel kunnen worden aangepast aan de nog te sluiten open ruimte.

5.4 CONCLUSIES OVER MOBIELE KERINGEN

De geschiktheid van mobiele hoogwaterbeschermingssystemen wordt niet alleen bepaald door de constructie zelf, maar vooral door de combinatie van belastingen, ondergrondcondities en inzetcontext. Een juiste systeemkeuze vereist daarom een integrale beoordeling van alle relevante inwerkingen.

Mobiele hoogwaterbeschermingssystemen moeten snel inzetbaar zijn, voldoende stabiliteit bezitten en veilig functioneren onder uiteenlopende randvoorwaarden. Afhankelijk van het toepassingsdoel worden zij ingezet voor:

- Lijnbescherming langs watergangen.
- Gebiedsbescherming door afscherming van lage terreindelen.
- Objectbescherming van gebouwen en infrastructuur.
- Geleiding en afbuiging van oppervlaktewater.

Belangrijke randvoorwaarden zijn de ondergrond (draagkracht, ruwheid, verzadiging), beschikbare ruimte, benodigde beschermingshoogte en de verwachte duur van de belasting.

De primaire belasting bestaat uit **hydrostatische waterdruk**, die toeneemt met de waterdiepte. Deze veroorzaakt:

- Horizontale krachten op wanden en dammen.
- Verticale krachten zoals opdrijven.
- Wrijvingskrachten tussen systeem en ondergrond.

De resulterende stabiliteit wordt bepaald door eigen gewicht, geometrie, wrijving en eventuele verankering. Onvoldoende afdichting kan leiden tot onderstroming, verhoogde lekkage en verlies van stabiliteit.

Bij stromend water treden **hydrodynamische krachten** op als gevolg van stromingssnelheid en aanstromingshoek. Deze krachten kunnen aanzienlijk zijn bij:

- Hoge stroomsnelheden.
- Afbuiging van de stroming.
- Aanwezigheid van bochten of vernauwingen.

Daarnaast vormen **drijf hout, puin en sedimenttransport** een relevante belasting door impact en extra krachtsafdracht op het systeem.

Bij hoge waterstanden kan wind een aanvullende belasting veroorzaken, vooral bij:

- Grote, vrijstaande wandsystemen.
- Open wateroppervlakken met voldoende strijklengte.
- Langdurige windbelasting.

Wind kan leiden tot extra horizontale krachten en, in combinatie met golven, tot dynamische belasting van het systeem.

Tot de buitengewone belastingen behoren onder meer:

- Golfslag en drukstoten.
- Aanvaring door voertuigen of zwaar drijf vuil.
- Ongelijkmatige ondergrondzettingen.
- Combinatieeffecten van meerdere belastingen.

Deze situaties vereisen conservatieve ontwerpkeuzes en beperken vaak de inzetbaarheid van lichtere of flexibele systemen.

Voor vele systemen geldt dat de beschermingshoogte vaak minder is dan de systeemhoogte. Dit geldt met name voor met water gevulde systemen, omdat hun eigen gewicht meestal niet veel hoger is en deze bij een hogere waterstand gaan opdrijven. Met zand, grind of grond gevulde systemen tonen daarom meer stabiliteit.

Bij de keuze voor de aanschaf van een mobiel keringssysteem dient men zich ervan bewust te zijn, dat vele systemen niet verder uitbreidbaar zijn qua hoogte, in het bijzonder tijdens de gebruiksfase. Dit is vooral van belang dat het oorspronkelijk voorspelde waterpeil toch dreigt te worden overschreden. Bovendien zijn vele systemen ook niet overstroombaar. Bij een niet-overstroombaar systeem is het moment van overbelasting van het systeem niet te voorspellen. Zonder waarschuwing vooraf treedt er een storing op door opdrijven, wegschuiven c.q. uit elkaar schuiven, als er weinig overlap of helemaal geen vaste verbinding tussen de modules aanwezig is, of omvallen. Hierbij kan een middelgroot tot groot deel van de mobiele kering falen en stroomt het opgestuwde water als een vloedgolf het beschermde gebied in.

Een ander aandachtspunt is de gevoeligheid voor lekverliezen en daarmee ook de weerstand tegen geleiden als gevolg van onderloopsheid. Starre systemen kunnen zich slecht aan oneffen ondergrond aanpassen. Daarom is vaak de inzet van folie of een zeil als een soort breed schort aan de waterzijde nodig om onderloopsheid te verminderen. De onderloopsheid

neemt hierbij pas met een toenemende te keren waterhoogte af, omdat met toenemende verticale kracht van het water op het schort deze het contact met het ondergrond en daarmee de afdichting verbetert. Dit speelt ook bij opklapsystemen en L-vormige damsystemen.

Bij het verhogen van dijken is het belangrijk om zo min mogelijk belasting op de dijk te brengen om een afschuiving te voorkomen. Met water gevulde tubesystemen hebben slechts de helft van het eigen gewicht van een zandzakkenwal van dezelfde hoogte en zijn daarom aanzienlijk minder ongunstig voor de stabiliteit van een sterk door hoogwater belaste dijk. Bovendien lopen er veel minder helpers op de dijk dan bij een zandzakkenwal.

De door producenten en leveranciers aangegeven opbouw- en demontagetijden gaan vaak uit van ideale omstandigheden en houden niet altijd rekening met alle nodige handelingen in het veld, zoals bereikbaarheid van de opbouwlocatie met zwaarder materieel en het eventueel nodige transport per hand over lange afstanden, in het bijzonder over een drassig gebied. Zulke extra handelingen betreffen de vaak nodige aanvullende toepassing van een zeil en het ballasten van de systemen met zandzakken, met name om nog een betere afdichting tegen onderloopsheid te bereiken.

Er kan worden geconcludeerd dat er geen enkel systeem op de markt beschikbaar is dat universeel voor alle omstandigheden, op alle ondergronden en voor alle doeleinden geschikt is. Mobiele keringen moeten veilig functioneren onder uiteenlopende randvoorwaarden. De resulterende stabiliteit wordt bepaald door eigen gewicht, geometrie, wrijving en eventuele verankering. Onvoldoende afdichting kan leiden tot onderloopsheid, verhoogde lekkage en verlies van stabiliteit.

De keuze hangt sterk af van:

- De constructie van de mobiele kering zelf.
- De ondergrondcondities (draagkracht, ruwheid, verzadiging).
- De inzetcontext (lijnbescherming, gebiedsbescherming, objectbescherming, geleiden of afbuigen van water).
- De beschikbare tijd en middelen.
- De verwachte belastingen (statisch/dynamisch).
- De verwachte beschermingshoogte.
- De duur van de belasting.

Ook binnen een mobiel keringssysteem bestaan vaak door verschillende producenten aangeboden verschillende varianten, die op het eerste gezicht wel identiek lijken, maar in detail toch erg kunnen verschillen en daardoor beduidende verschillen in kwaliteit en veilig kunnen tonen.

Al met al bekeken overtuigden de systemen Mobildeich, Geodesign Barrier en Haawal in de oefeningen het meest en is voor het systeem Mobildeich ook de prestatie bij overloop en onder impactbelasting onderzocht en officieel gecertificeerd.

In Bijlage B zijn testcriteria en een aanzet voor een testprogramma opgenomen.

6

REFERENTIES

STANDAARDEN:

American National Standard for Flood Mitigation Equipment. ANSI/FM Approvals 2510-2020, available at: https://asfpm-library.s3-us-west-2.amazonaws.com/General/ANSI_FM_Approvals_2510_American_National_Standard_for_Flood_Abatement_2020.pdf

American National Standards Institute (ANSI) and FM Approvals: American National Standard for Flood Abatement Equipment, ANSI/FM Approvals 2510, FM Approvals, Norwood, 2014.

British Standards Institution (BSI): PAS 1188-2:2014 Flood protection products – Specification, Part 2: Temporary products, Third Edition, The British Standards Institution Group Headquarters, London, 2014.

British Standards Institution (BSI): British Standards Institution

Homepage, available at: <https://www.bsigroup.com/en-GB/>, last access: 25 September 2019a.

British Standards Institution (BSI): Product directory search, available at: <https://www.bsigroup.com/en-GB/Product-Directory/>, last access: 25 September 2019b.

Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V.: Merkblatt: Mobile Hochwasserschutzsysteme – Grundlagen für Planung und Einsatz, BWK Bundesgeschäftsstelle, Sindelfingen, Deutschland, 2005.

DIN 19712:2013-01, Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern.

FM Approvals: FM Approvals Homepage, available at: <https://www.fmapprovals.com/>, last access: 25 September 2019.

FM Approvals: Approval Standard for Flood Abatement Equipment – Class Number 2510, March 2013.

National Flood Barrier Testing & Certification Program (NFBTCP): Products, available at: <https://nationalfloodbarrier.org/products/#!/prodsub-peri-barriers>, last access: 25 September 2019.

Technisches Hilfswerk (THW): THW-pocket card “Hochwasserschutz und Deichverteidigung” (“flood protection and dyke defence”), status 02.08.2017, unpublished, THW Training Centre

Hoya, Hoya, Germany, 2017.

TUHH Technische Universität Hamburg: HWSS Prüfung nach VdS-Richtlinie 3855 v2022-12-02 - Prüfung des HWSS MD100-2 der Firma Mobildeich, Hamburg 13.10.2025.

VdS Schadenverhütung GmbH: Mobile Hochwasserschutzsysteme: Hinweise für die Beschaffung, den Einsatz und die Bereitstellung, VdS 6001: 2014 – 02 (01), Köln, 2014.

VdS Schadenverhütung GmbH: VdS 3855: 2022-12 (02). VdS-Richtlinien für Hochwasserschutzsysteme für den Objektschutz. Allgemeine Anforderungen, Leistungskriterien und Prüfkriterien.

Productinformatie:

AQUARIWA: Mobiler Hochwasserschutz in Gartow im Juni 2013, available at: <http://www.aquariwa.de/die-einsaetze/aquariwa-in-gartow-juni-2013/#die-einsaetze/aquariwa-in-gartow-juni-2013/>, (last access: 25 September 2019).

Handbuch Aquariwa Hochwasserschutz-System, versie 2, 2011.

Mobildeich: Referenties, available at: <https://www.mobildeich.de/de/referenz.php#filme>, last access: 25 September 2019.

Reguliere referenties:

Biggar, K. and Masala, S.: Alternatives to sandbags for temporary flood protection, Alberta Transportation and Utilities Disaster Services Branch and Emergency Preparedness Canada, Edmonton, AB and Ottawa, ON, Canada, 1998.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Verordnung über die Durchführung und Abrechnung von Hilfeleistungen des Technischen Hilfswerks (THW-V), available at: <http://www.gesetze-im-internet.de/thw-abrv/anlage.html>, last access: 16 March 2019.

Egli, T.: Entscheidungshilfe Mobiler Hochwasserschutz, Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, Bern und Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel, 2004.

Gabalda, V., Garvin, S., Hunter, K., Florence, C., Salagnac, J.-L., Golz, S., ten Veldhuis, M.-C., Diez, J., and Monnot, J.V.: Flood Resilience Technologies, SMARTeST, available at:

https://www.ioer.de/fileadmin/internet/IOER_Projekte/PDF/FB_R/Flood-Resilience-Technologies_SMARTeST-Project_D23-final-July13.pdf (last access: 25 September 2019), 2013.

Lankenau, L., Massolle, C., Koppe, B., and Krull, V.: Sandbag replacement systems – a nonsensical and costly alternative to sandbagging? *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20, 197–220, 2020.

<https://doi.org/10.5194/nhess-20-197-2020>

Massolle, C., Lankenau, L., and Koppe, B.: Emergency Flood Control: Practice-Oriented Test Series for the Use of Sandbag Replacement Systems, *Geosciences*, 8, 482, <https://doi.org/10.3390/geosciences8120482>, 2018.

Massolle, C.: Operativer Hochwasserschutz – Eignung, Einsatz und Leistungsfähigkeit von Sandsackersatzsystemen in praxisorientierten Versuchsreihen (Proefschrift). Leibniz Universität Hannover, 2023.

<https://doi.org/10.15488/14745>

Massolle, C.: “Operational Flood Protection - Suitability, Use, and Performance of Sandbag Replacement Systems in Practice-Oriented Test Series”. Powerpointpresentatie tijdens 7th

Dutch-German Workshop “Forecasting meets First Responders”, Den Bosch, 7 & 8 november 2024.

McCormack, S. M., Van Dyke, C., Suazo A., and Kreis, D.: Temporary Flood Barriers, Research Report KYSPR-12-448, Kentucky Transportation Center, College of Engineering, University of Kentucky, Kentucky Transportation Cabinet Commonwealth of Kentucky and Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation, Kentucky, 2012.

Niedersächsischer Landtag: Antwort auf eine Grosse Anfrage. Niedersächsischer Landtag – 17. Wahlperiode, Drucksache 17/1730, available at: https://www.landtag-niedersachsen.de/drucksachen/drucksachen_17_2500/1501-2000/17-1730.pdf (last access: 25 September 2019), 2014.

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV): Arbeitsbehelf 42: Mobiler Hochwasserschutz, Wien, 2013.

Ogunyoye, F., Stevens, R., and Underwood, S.: Delivering benefits through evidence. Temporary and Demountable Flood Protection Guide, Environment Agency, Bristol, 2011.

Pinkard, F., Pratt, T., Ward, D., Holmes, T., Kelley, J., Lee, L. T., Sills, G., Smith, E., Taylor, P. A., Torres, N., Wakeley, L., and Wibowo, J.: Flood-Fighting Structures Demonstration and Evaluation Program: Laboratory and Field Testing in Vicksburg, Mississippi, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, 2007.

Popp, F., Lehmann, S., and Lehmann, B.: Flexibilität und Effizienz in der Deichverteidigung durch mobile Aufkantungssysteme, Wasserwirtschaft, 01, 29 – 33, 2019.

Simm, J., Sharp, M., Hemert, H. V., Iggabel, M., Pohl, R., Tourment, R., Wallis, M., Drake, C., Banks, J., Bramley, M., Chassé, P., Conforti, T., Jenkins, O., Mallet, T., Matheu, E., Royet, P., and Verigin, S. (Editorial Steering Board): The international levee handbook, C731,

Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), London, available at: <https://www.ciria.org/ItemDetail?iProductCode=C731F&Category=FREEPUBS&WebsiteKey=3f18c87a-d62b-4eca-8ef4-9b09309c1c91> (last access: 25 September 2019), 2013.

STOWA: STOWA-rapport 2008-W-05 Keuzemodel tijdelijke en demontabele waterkeringen. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort, 2008, available at:

<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202000-2010/Publicaties%202005-2009/STOWA%202008-W-05.pdf>

STOWA: STOWA-rapport 2025-35. Van Zandzak naar innovatie. Juridische kansen voor innovatieve overstromingsmaatregelen met beknopte roelichting gebruik van verschillende type mobiele keringen. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort, 2025, available at: <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202025/STOWA-2025-35-mobiele-keringen.pdf>

BIJLAGE A

ENQUÊTE OVER INZET MOBIELE KERINGEN

In het kader van dit onderzoek is door Deltares een enquête uitgezet om een overzicht te verkrijgen hoe waterkeringbeheerders tegen het gebruik van mobiele keringen aankijken. Hiervoor zijn onderstaande vragen aan verschillende organisaties gesteld.

Vragen:

1. Beschikt jouw organisatie over eigen mobiele keringen of zijn jullie van plan zelf welke aan te schaffen?
2. Indien nee, wat houdt jullie tegen om deze aan te schaffen?
3. Over welke systemen van mobiele keringen beschikt jouw organisatie? Zouden jullie willen aangeven wat jullie ervaringen zijn?
4. Wat zijn jullie ervaringen met het gebruik bij de inzet van de verschillende systemen van mobiele keringen bij oefeningen of calamiteiten?
5. Hoe vaak worden deze bij oefeningen ingezet en is men hiermee goed vertrouwd?
6. Hebben jullie al systemen met elkaar gecombineerd toegepast?
7. Heb je er een goed beeld van waar en onder welke omstandigheden je de verschillende systemen van mobiele keringen wel of niet deze kunt toepassen?
8. Welke systemen zou je eventueel (nog) willen aanschaffen en voor welke doeleinden?
9. In welke aspecten ben je hierbij bijzonder geïnteresseerd en welke specifieke wensen tot het testen van mobiele keringen hebben jullie?
10. Zien jullie mogelijkheden/kansen voor tests? Beschikken jullie zelf over testmogelijkheden of kennen jullie een geschikte testomgeving hiervoor?

Voor de enquête zijn in totaal 18 organisaties benaderd:

- Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR)
- Hoogheemraadschap van Delfland (HvD)
- Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK)
- Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard (HHSK)
- Waterschap Aa en Maas (WSAM)
- Waterschap Amstel Gooi Vecht (WSAGV)
- Waterschap Brabantse Delta (WSBD)
- Waterschap Drens Overijsselse Delta (WDOD)
- Wetterskip Fryslân (WF)
- Waterschap Hollandse Delta (HHHD)
- Waterschap Hunze en Aa's WSHA)
- Waterschap Limburg (WL)
- Waterschap Rivierenland (WSRL)
- Waterschap Rijn en IJssel (WSRIJ)
- Waterschap Scheldestromen (WSSS)
- Waterschap Vallei en Veluwe (WSVV)
- Waterschap Vechtstromen (WSVS)
- Waterschap Zuiderzeeland (WSZZ)

15 organisaties hebben op deze enquête gereageerd.

ANTWOORDEN:

1. BESCHIKT JOUW ORGANISATIE OVER EIGEN MOBIELE KERINGEN OF ZIJN JULLIE VAN PLAN DEZE ZELF AAN TE SCHAFFEN, WELKE DAN?

HDSR: Nee, wel beschikken wij over zandzakken en bigbags. Vanuit calamiteitenmaterieel hebben we afgelopen jaar 1000 block bags (de vierkante big bags die Dennis Koster (HDSR) heeft laten ontwikkelen) aangeschaft, die door z'n blokkerige vorm onderling beter aansluit. Er staat een budget gereserveerd om in de toekomst mobiele keringen aan te schaffen.

HHNK: Ja die hebben we, maar wordt niet gebruikt (zie vraag 3).. Mogelijk schaffen we in de toekomst een vervanger aan als deze voldoet aan de voorwaarden.

HHSK: Slamdams; waterzakken t.b.v. kruinverhoging. Circa 20 stuks met een werkende lengte van 5 m en hoogte van circa 50 cm.
Er is verkennend gekeken naar waterschot, maar vanwege prio bij de basisvoorzieningen nog geen uitbreiding gepland in 2026.

WDOD: We beschikken niet meer over een mobiele kering, we zijn wel van plan deze weer aan te schaffen.

WF: Ja, wij beschikken sinds vorig jaar over een aantal waterschotten naast de standaard zandzakken.

WL: Ja, Waterschot, Mobildeich en Geodesign Barrier

WSAM: nee

WSBD: Wij hebben drie verschillende typen mobiele keringen.

WSAGV: Waterschap Amstel, Gooi en Vecht heeft buiten zandzakken geen mobiele keringen. Er loopt wel een inventarisatie wat wij als waterschap in huis moeten/willen hebben voor de gehele crisisorganisatie en mobiele waterkeringen maken hier een onderdeel van uit

WSHA: Alleen coupures, maar geen mobiele waterkering die op meerdere plekken inzetbaar is.

WSHD: Nee, WSHD beschikt niet over eigen mobiele keringen. WSHD heeft voor de primaire waterkeringen in zijn beheer, wel constructies voor de plaatsing van vloedschotten en schotbalken in de primaire kering.

WSRIJ: Nee, behalve dan big bags en zandzakken

WSRL: WSRL beschikt niet over mobiele keringen en voor zover mij bekend zijn we niet op korte termijn van zins om dit aan te schaffen.

WSVV: Nee

2. INDIEN NEE, WAT HOUDT JULLIE TEGEN OM DEZE AAN TE SCHAFFEN?

HDSR: Allereerst is er voor de aanschaf een investering nodig.

Verder is een belangrijk kenmerk van mobiele keringen de snelheid om deze te installeren. Binnen ons areaal zien we de stijging van het water op een zodanige termijn aankomen, dat we voldoende capaciteit hebben om zandzakken e.d. toe te passen.

Marian Bootink geeft aan dat zij in gesprek is over verdere samenwerking met IKA, zodat materieel binnen meerdere waterschappen kan worden ingezet.

HHNK: Een goede vervanger van de zandzak hebben we nog niet gevonden. Een zandzak is 1,5 x zwaarder dan water en daardoor stabiel (bij goed neerleggen) en is niet windgevoelig.

HHSK: Prijs en prioriteit bij basisvoorzieningen als zandzakken en bekrammingen.

WDOD: n.v.t.

WF: Wij waren terughoudend omdat we niet weten of we erop kunnen vertrouwen.

WL: n.v.t.

WSAM: Dergelijke investeringen vragen om een noodzaak/aanleiding.

Ik sluit niet uit dat we dit in de toekomst gaan doen maar daar is het nu nog te vroeg voor.

WSBD: n.v.t.

WSAGV: Op dit moment is niet geheel duidelijk hoeveel we nodig hebben en welk soort voor ons beheersgebied het beste is. Ook een goede opslaglocatie houdt ons nu nog even tegen.

WSHA: We hebben twee goede zandzakvulmachines. Zandzakken zijn zeer divers inzetbaar en we hebben een grote buitendienst, dus we kunnen makkelijk een muurtje leggen.

WSHD: Standaard voorraden zandzakken en big bags gevuld en ongevuld op de werven in de regio's van WSHD worden op peil gehouden. Behoeftte aan mobiele keringen is nooit bij WSHD geïnventariseerd. Gemeente Zwijndrecht beschikt over boxbarriers, die werden ingezet bij hoogwater in de Oude Maas op het buitendijks laaggelegen Veerplein in Zwijndrecht. Afgelopen jaar heeft daar kadeverhoging plaatsgevonden, waardoor de boxbarriers daar niet meer ingezet hoeven te worden.

WSRIJ: Beperkte (geen) noodzaak vanuit waterkeringen omdat we weinig of geen hoog-tetekorten hebben. De kans is zeer klein ten aanzien van inzet voor dijken. Binnen het watersysteem is de kans op inzet groter, gegeven de kans op wateroverlast door extreme neerslag.

WSRL: Wij denken niet dat wij hier heel veel gebruik van kunnen maken. Dit komt vooral door de inrichting van het gebied. Daarnaast denk ik dat opslag en kosten ook mee spelen in deze overweging.

WSVV: We zien geen meerwaarde omdat we niet weten waar we deze in zouden kunnen zetten. Het enige is dat we denken aan de mogelijkheid om met een mobiele kering een kwelkade te kunnen aanleggen. Maar locaties waar water opgezet kan worden om tegendruk te

geven tegen kwel en piping hebben we van vaste stuw-tjes voorzien. Verder hebben we geen hoogtetekort in ons beheergebied als de Grebbedijk rond 2029 wordt opgeleverd.

3. OVER WELKE SYSTEMEN VAN MOBIELE KERINGEN BESCHIKT JOUW ORGANISATIE? Zouden jullie willen aangeven wat jullie ervaringen zijn?

HDSR: n.v.t.

HHNK: De Watergate is ooit gekocht als test. Dit systeem functioneert in de vorm die wij in de meeste gevallen niet hebben. Het systeem is met de brandweer getest op een verharde helling van een laaddok. De brandweer liet water van de helling spoelen en de Watergate ving dat halverwege de helling mooi op, dus presteerde goed. Daarna hebben we nog in een weiland de watergate getest door het slootpeil op te zetten/ te verhogen tot boven het maaiveld. Daar zag je dat door de trage waterstandsverhoging het water sneller onder de Watergate stroomde, dan dat het tijd had om in de zak te lopen en het systeem kerend te krijgen. Onze verwachting was dat de Watergate voldoende aansluiting met het maaiveld zou hebben dat de Watergate zich wel zou vullen, maar dat bleek op onverhard vlak terrein dus niet het geval. Bij verhard hellend terrein functioneert het beter.

HHSK: Slamdams als kruinverhoging bij regionale keringen. Vooral in de zomer tijdens verhoogde boezempeilen.

WDOD: We hadden 200 m Flexwall, die was 50 cm hoog en beviel goed. Deze Flexwall is naar Oekraïne gegaan. We zijn nu op zoek naar een systeem met een hogere kerende hoogte.

WF: Waterschot, we hebben nog geen echte ervaring, alleen tijdens oefeningen.

WL: Sinds 2023 tot heden hebben we de volgende containers mobiele keringen.

- Plateau container met 4 modules Mobildeich (Mobiele Dijken) zijnde:
 - 2 modules 20 meter lang 60 cm hoog.
 - 1 module 20 meter lang 75 cm hoog.
 - 1 module 40 meter lang 75 cm hoog.
- Eén standaard 20 ft container met 150 meter Waterschot 50 cm hoog in rolcontainers en 50 meter Waterschot 100 cm hoog. Inclusief 4 zakken folie met kettingen verzwaard in de afmetingen 10 x 3 meter en een krat zandzakken 60 stuks.
- Mobiele keringen aangeschaft via Interreg project Marhetak
 - 2 containers type Low Cube met achterdeuren en ieder 600 meter Geodesign Barrier 50 cm hoog incl. folie.
 - 1 container met 300 meter Geodesign Barrier 100 cm hoog incl. folie.
 - In alle containers 1 krat met bochten, muuraansluitingen en andere hulpmiddelen.
- Levering bestelling 2025 ontvangen en ingericht 12 februari 2026
 - 5 containers type Low Cube open side met ieder 300 meter Geodesign Barrier 100 cm hoog incl. folie en extra krat met bochten, muuraansluitingen en andere hulpmiddelen.

Op basis van de gebruikservaringen is er een duidelijke voorkeur voor het type Geodesign Barriers. Dit horen wij ook terug van alle mensen die de instructies van alle systemen hebben gedaan op onze testlocatie. Een container Geodesign Barrier vervangt 16.000 zandzakken = 5 opleggers. Snel op te bouwen (5 man 100 m/uur).

Figuur B.1 Container met Geodesign Barrier



In 2024 heeft het Waterschap Limburg ook nog 850 meter mobiele kering van het type Geodesign P121 aangeschaft waarvan 250 meter is gereserveerd voor een noodplan op een dijktraject in Stevensweert en 600 meter voor een noodplan langs de Geul ter bescherming van de kern Bunde bij een gezamenlijk optredend hoogwater van de Geul en de Maas. Tot 2028 loopt de raamovereenkomst die WL na de aanbesteding heeft afgesloten met Geodesign barriers uit Zweden en MWK (Mobiele Waterkeringen Nederland) voor de types Mobiele dijken en Waterschot. Het jaarlijks te besteden investeringskrediet bedraagt 400.000,-

WSAM: n.v.t.

WSBD: Slamdam: ervaring; we oefenen er wel eens mee, maar nog nooit ingezet bij calamiteiten.

Voordeel: makkelijk in gebruik, tevens goed bruikbaar voor het afsluiten van kleine watergangen. Niet windgevoelig

Nadeel: niet zo degelijk; onderdelen zijn na tien jaar aan vervanging toe.

Tubebarrier: ervaring; we oefenen er nauwelijks mee. Het ding is eigenlijk van de gemeente Steenbergen en ligt bij ons in opslag.

Voordeel: snel inzetbaar. Vereist enigszins vakkennis.

Nadeel: windgevoelig wanneer er geen water tegenaan staat.

NoFlood Barrier: ervaring; dit systeem beoefenen we jaarlijks. Hier hebben we het meest vertrouwen in. Hebben twee keer paraat gestaan bij calamiteiten, maar uiteindelijk niet ingezet.

Voordeel: voor ons het meest betrouwbare systeem, sluit goed aan op de bodem. Snel op te zetten.

Nadeel: windgevoelig tijdens het opzetten.

We hebben ons nooit verdiept in frame-of bassinsystemen;

WSAGV: Zandzakken en big bags, deze blijven onmisbaar, veelzijdig en eenvoudig in gebruik. Wel arbeidsintensief.

WSHA: We hebben Haawal flood barriers uit Noorwegen op bezoek gehad, mooi systeem. We hebben vroeger ook getest met Box Barriers. Bij andere oefeningen hebben collega's zeer diverse mobiele keringen beoefend, maar nog niet dermate enthousiast dat we die zijn gaan aanschaffen. Je moet een locatie in gedachten hebben voor een bepaalde mobiele kering.

Zomaar 300 m op voorraad hebben liggen is niet handig, dan zul je net zien dat het te kort is of niet past op die locatie vanwege bereikbaarheid of ondergrond.

WSHD: n.v.t.

WSRIJ: Big bags en zandzakken. We hebben een aanvalsplan voor kruinverhoging met snelwegbarrières. Als het HWBP project klaar is, kan dat plan de prullenbak in.

WSRL: n.v.t.

WSVV: geen

Wat zijn jullie ervaringen met het gebruik bij de inzet van de verschillende systemen van mobiele keringen bij oefeningen of calamiteiten?

HDSR: Tijdens oefening Wolkbreuk (november 2025) zijn meerdere systemen van mobiele keringen getest. Samen met Defensie en Deltares zijn deze systemen in de praktijk gebracht. Het was een leerzame ochtend waarbij de inzet van deze systemen kon worden getest. Ook was het mogelijk om onderling de beschikbare systemen te vergelijken.

HHNK: We zoeken naar een flexibel systeem dat bij alle waterkeringen (primaire en regionale keringen) ingezet kan worden. Dat is bij de Watergate niet het geval. We zien voordelen bij mobiele keringen in de snelle plaatsing, minder vervoersbewegingen en ARBO-technische voordelen t.o.v. zandzakken.

HHSK: Slamdams geïnstalleerd bij overloopsituaties regionaal & tijdens veldoefening als stabiliteitsverbetering bij een primaire waterkering, de slamdams werken goed, er moet wel altijd water in de buurt zijn (10 meter) om ze te vullen.

WDOD: Persoonlijk heb ik de beste ervaring met 4 systemen: Haawal, Geodesign Barrier, Mobildeich en de Flexibele Waterdam Buitink

WF: De eerste ervaring met Waterschot is positief. Snel en makkelijk in te zetten.

WL: Zie de beantwoording op de vorige vragen. Tijdens een echte calamiteit is op 2 locaties al eens gebruik gemaakt van het Geodesign systeem E51 en P101. En ook hier waren de gebruikers zeer enthousiast over de snelheid van opbouwen. Helaas hebben ze toen net geen water hoeven te keren.

WSAM: n.v.t.

WSBD: Alleen bij oefeningen gebruikt. Klaar gestaan voor verschillende calamiteiten (Limburg, Noord Duitsland), maar uiteindelijk niet ingezet.

WSAGV: Zandzakken en big bags zijn goed bruikbaar voor het ophogen van de kerende hoogte of het dichtzetten van watergangen.

WSHA: Bij oefeningen hebben we er ervaring mee opgedaan.

WSHD: n.v.t.

WSRIJ: n.v.t.

WSRL: Er lijkt niet echt 1 systeem te zijn dat voor veel zaken geschikt is, of het mist uitbreidbaarheid in de hoogte, of stabiliteit is een punt, of aansluiting op de ondergrond, of het kunnen maken van hele scherpe knikken enz.

WSVV: n.v.t.

4. HOE VAAK WORDEN DEZE BIJ OEFENINGEN INGEZET EN IS MEN HIERMEE GOED VERTROUWD?

HDSR: Gedurende oefening Wolkbreuk (november 2025) is voor de eerste maal met deze systemen geoefend.

HHNK: We oefenen soms met mobiele systemen. De ervaringen zijn zeer wisselend, afhankelijk van het systeem en we hebben de meest ideale nog niet gevonden.

HHSK: Incidenteel; Ploeg van ca 10 medewerkers is er goed vertrouwd mee.

WDOD: Ons vorige systeem [Flexwall] is een paar keer geoefend en ook daadwerkelijk ingezet. Ik heb geen exacte aantallen.

WF: Nog niet, nog geen ervaring mee.

WL: Ieder jaar tijdens de hoogwater week in oktober wordt op onze testlocatie geoefend, en als er definitieve noodplannen zijn wordt er ook op locatie geoefend.

WSAM: n.v.t.

WSBD: Jaarlijks oefenen we met deze materialen. Ja, men is hiermee goed vertrouwd.

WSAGV: We oefenen 1 à 2 maal per jaar, elke keer met een andere groep van het kantoorpersoneel. Zodat uiteindelijk al het kantoorpersoneel het ooit heeft gedaan. Hiernaast willen we een groep coördinatoren gaan opleiden welke vaker en uitgebreider gaan trainen zodat deze zelfstandig met een groep “ongetrainde mensen” een opdracht met zandzakken kunnen uitvoeren

WSHA: Als je het 1x hebt geoefend, spreekt het daarna wel voor zich. De meeste mobiele keringsystemen moet je 1x gedaan hebben en daarna kun je het zelf.

WSHD: Niet van toepassing bij WSHD voor mobiele keringen. De inzet van vloedschotten en schotbalken in coupures wordt jaarlijks functioneel getest. Afgelopen jaar is de inzet van het vloedschottensysteem in Dordrecht in zijn geheel getest.

WSRIJ: n.v.t.

WSRL: niet

WSVV: n.v.t.

5. HEBBEN JULLIE AL SYSTEMEN MET ELKAAR GECOMBINEERD TOEGEPAST?

HDSR: nee

HHNK: Nee, we zijn wel op zoek naar een goed systeem.

HHSK: Geen gecombineerde inzet

WDOD: Alleen tijdens de oefening Wolkbreuk

WF: Nog geen ervaring.

WL: Nee, maar als E51 en P101 in combinatie gebruikt worden is er een speciaal hulpstuk beschikbaar om ze te verbinden.

WSAM: n.v.t.

WSBD: nee

WSAGV: Nee, nog niet.

WSHA: Ja in de oefening wel, maar overlap is lastig.

WSHD: nee

WSRIJ: nee

WSRL: nee

WSVV: n.v.t.

6. HEB JE ER EEN GOED BEELD VAN WAAR EN ONDER WELKE OMSTANDIGHEDEN JE DE VERSCHILLENDE SYSTEMEN VAN MOBIELE KERINGEN WEL OF NIET DEZE KUNT TOEPASSEN?

HDSR: Ja, de presentatie gedurende oefening Wolkbreuk was een goed moment om de verschillende systemen met elkaar te vergelijken.

HHNK: We hebben een notitie opgesteld met de randvoorwaarden aangegeven. Deze kan gedeeld worden. [Is opgenomen in Bijlage C]

HHSK: Kruinverhogend bij regionaal; overslagremmend bij primair; compartimentering

WDOD: Redelijk beeld, er zijn nog wel een aantal wensen zoals opbouwen en laten staan tijdens harde wind, en het afdammen van een watergang zou ik nog graag met diverse systemen willen testen.

WF: Een redelijk goed beeld voor Waterschot, maar nog niet voor alternatieven.

WL: Ja, en daarom wordt dit in noodplannen ook goed beschreven.

WSAM: Naar onze mening wel.

WSBD: Persoonlijk wel. Bestuurlijk ligt inzet gevoelig. Kritiek over de kwetsbaarheid van de mobiele kering komt ook vaak ter sprake. Maar zelf vind ik dat als je zandzakken legt, er ook altijd bewaking bij dient te zijn.

WSAGV: Nee, we zijn vooral op zoek naar systemen die bij minimale overloop al waterkerend zijn en snel inzetbaar zijn.

WSHA: Grasdijken blijven lastige ondergrond om hechting te maken met een mobiele kering. Die van Haawal vond ik daarom zelf wel mooi.

WSHD: Medewerkers van WSHD hebben wel demonstraties bij Flood Proof Holland in Delft, bij Polder 2C's in de Prosperpolder en onlangs bij de Oefening Wolkbreuk van HSDR bezocht om hiervan kennis op te doen.

WSRIJ: Nee, we zien vanuit waterveiligheid geen of weinig toepassing

WSRL: nee

WSVV: Nee. Bij een inventarisatie om te kijken hoe wij mobiele systemen in ons gebied kunnen toepassen zijn wij niet ver gekomen. Wij hebben daarom nog geen mobiele keringen en zijn ook nog niet van plan deze aan te schaffen.

We willen kijken of er locaties zijn waar we met een mobiele kering een kwelkade op kunnen zetten, waar we niet de mogelijkheid hebben om het waterpeil tijdelijk te verhogen.

7. WELKE SYSTEMEN ZOU JE EVENTUEEL (NOG) WILLEN AANSCHAFFEN EN VOOR WELKE DOELEINDEN?

HDSR: O.a. de variant met kunststof schotten in verschillende maten was een goede optie tijdens de oefening. (Waterschot)

HHNK: We zijn nu met Haawal bezig om te onderzoeken. De Slamdam in kleine versie zien we ook veel voordelen in als deze wordt geoptimaliseerd v.w.b. de aansluiting van de tubes. De Slamdams ondervinden 'kruip' waardoor de tubes aansluiting van elkaar verliezen. Wij hebben dit zelf een keer getest in ons gebied. Het voordeel van Slamdam t.o.v. van andere tubes is dat ze een middenschot hebben waardoor ze stabiel blijven liggen (rollen minder snel). Tevens zijn ze handzaam (je kunt ze in een kruiwagen transporteren). Andere systemen zijn toch al snel te grof/zwaar. Ook is het materiaal heel duurzaam t.o.v. andere (PVC) systemen. Zelf ben ik fan van de Agridam, mooi klein en lang, echter moet er dan wel iets komen dat je ze aan elkaar kan koppelen.

HHSK: Waterschot voor overslagremmend bij primaire waterkeringen, leiden van waterstromen bij wateroverlast op een weg (van het schap); Tube Barrier voor kruinverhoging bij regionale keringen

WDOD: Haawal en/of Geodesign als ringdijk bij beverschade regionale en overige keringen en hoogtetekort bij alle keringen, Flexibele Waterdam voor afdammen van watergangen.

WF: Nog geen zicht op alternatieven.

WL: Bestelling 2026

- 3 standaardcontainers volgens omschrijving bij vraag 3 met dus ieder 360 meter Geodesign Barriers type P101 met bijbehorende hulpmaterialen.
- 2 standaardcontainers met ieder 600 meter E51 systeem.

Deze containers komen op een RWZI in Maastricht te staan en zijn bedoeld voor het verhogen van dijktraject 90 volgens een integraal uitvoeringsplan tussen gemeente en het Maastrichts Universitair Ziekenhuis. Circa 100 BHV'ers van het MUMC worden geïnstrueerd om deze op te kunnen bouwen. Verwachte levering april/mei 2026.

In oktober wordt een datum gepland om deze noodmaatregel geheel uit te voeren conform het plan.

Geen andere, we houden ons voorlopig aan de raamovereenkomsten met een duidelijke voorkeur voor de standaardcontainers met E51 en P101 systeem.

WSAM: Op dit moment zijn er geen plannen voor de aanschaf van middelen.

WSBD: n.v.t.

WSAGV: In eerste instantie middelen die snel grote lengtes kering met 25 cm kunnen ophogen maar ook al functioneel zijn met enkele cm's water. Daarnaast systemen die gebruikt kunnen worden om watergangen te kunnen compartimenteren.

WSHA: Geen wensen voor nu. De klassieke zandzak blijft de voorkeursvariant vanwege de diverse inzetbaarheid, beschikbaarheid en prijs.

WSHD: Er loopt momenteel geen onderzoek of inventarisatie hierover bij WSHD.

WSRIJ: Haawal heeft recent bij ons gepresenteerd. Lijkt ons bruikbaar voor veel verschillende ondergronden en zelfs afdammen van beken. Zeker om wateroverlast door extreme neerslag te voorkomen.

WSRL: Daar hebben we ons nog niet voldoende in verdiept.

WSVV: n.v.t.

8. IN WELKE ASPECTEN BEN JE HIERBIJ BIJZONDER GEÏNTERESSEERD EN WELKE SPECIFIEKE WENSEN TOT HET TESTEN VAN MOBIELE KERINGEN HEBBEN JULLIE?

HDSR: Een mobiele kering biedt vooral kansen om kleinschalig de gevolgen van een lekkage of scheur te beperken. Voor verdere testen hebben we nu geen specifieke wensen.

HHNK: Het moet niet windgevoelig zijn, minimaal onderloops en op verschillende ondergronden toegepast kunnen worden. Standzekerheid is belangrijker dan plaatsingstijd. HHNK heeft een memo opgesteld met daarin een lijst van randvoorwaarden waaraan een noodwaterkering zou moeten voldoen. [Een deel van deze randvoorwaarden is in Bijlage C verwerkt].

HHSK: Toepassing op primaire waterkeringen i.v.m. vraagtekens over meerwaarde (kans van voorkomen en sterkte); gebruik om een watergang af te dammen, boezemwater te compartimenteren.

WDOD: Inzet als ringdijk bij beverschade en bij hoogtetekort; afdammen van watergangen

WF: Ik zou een werksessie willen hebben waarbij we ze zelf daadwerkelijk vast kunnen houden en in kunnen zetten. Zet daarna een trekkerpomp ertegenaan om te zien hoe ze zich houden.

WL: Dit hebben we in 2022 na de marktconsultatie duidelijk beschreven in het programma van eisen voor de aanbesteding in 2023.

WSAM: Ik denk dat je meer praktijktesten moet initiëren zoals bij HDSR met bijv. CTW o.i.d. en ook hogere systemen.

WSBD: Wat gebeurt er met een opgezette kering als de maximaal toegelaten kerende hoogte overschreden wordt? Hoe snel is een lek gerepareerd en hoe onderlooptheid te verhelpen?

WSAGV: Wij zoeken vooral middelen die in staat zijn een beperkte hoogte, enkele cm tot 25 à 50 cm te kunnen keren en snel inzetbaar zijn over grote lengtes. Waarbij er weinig lekwater is ook als de ondergrond steeds wijzigt van samenstelling, denk aan verhard/onverhard, overgang trottoir, weg, hoe gaan we over een drempel / wildrooster etc.

WSHA: Het moet snel, goedkoop, makkelijk en breed inzetbaar zijn. Vaak schort het aan 1 van deze criteria.

WSHD: Niet van toepassing voor WSHD.

WSRIJ: Kosten; Uitwisselbaarheid tussen/met andere waterschappen of overheden; Brede toepassing, liever een systeem dat toepasbaar is op zowel gras, in een beek en op wegverharding.

WSRL: Daar zullen we ons in moeten verdiepen. Gezien de grote hoeveelheid wellen in ons gebied zou een systeem waarbij je wellen kunt opkisten op een niet vlakke ondergrond met lichte materialen ons interesseren. Waarbij het zeer goed mogelijk moet zijn om de waterhoogte in de kist te kunnen variëren. Verder dient het systeem ook toepasbaar te zijn in watergangen.

WSVV: n.v.t.

9. ZIEN JULLIE MOGELIJKHEDEN/KANSEN VOOR TESTS? BESCHIKKEN JULLIE ZELF OVER TESTMOGELIJKHEDEN OF KENNEN JULLIE EEN GESCHIKTE TESTOMGEVING HIERVOOR?

HDSR: Dit jaar worden meerdere werkloosden opgeleverd, waaronder een locatie wat deels als oefenterrein kan worden ingericht.

Tijdens een volgende oefening kunnen we verdere deelname altijd bespreken.

HHNK: We zijn bezig met de voorbereiding van een semipermanente oefenlocatie (Flood Proof Holland in het groot). Verder voeren we eens in de zoveel jaar tests uit in ons gebied op de bestaande dijken.

HHSK: Helaas geen testmogelijkheden.

WDOD: Ja we zien mogelijkheden en kansen voor tests en ik verwacht ook wel een testlocatie te kunnen inrichten.

WF: We denken erover na. We willen de Waterschot opbouwen in een bassin en dan vol laten lopen met water. Zo krijgen we er vertrouwen in. (hopen we)

WL: Ja hebben specifiek voor de marktconsultatie en de aanbesteding een testlocatie aangelegd in de groene rivier langs de Roer bij de Keersluizen in Roermond.

WSAM: Buiten Flood Proof Holland en Marnewaard niet.

WSBD: Zelf willen we als waterschap dit jaar met onze eigen mobiele keringen oefenen bij Deltares. Om ervaring op te doen en om te ervaren wanneer deze keringen bezwijken.

WSAGV: Wij hebben niet specifiek een testlocatie maar we zijn zeker bereid om mee te denken en te kijken wat er mogelijk is voor bepaalde tests.

WSHA: We hebben een testlocatie zoals bekend in Veele, en hier mag geoefend worden.

WSHD: WSHD beschikt wel over test mogelijkheden en test omgevingen hiervoor. In 2016 zijn tijdens de Beheerdersdag van de Unie van Waterschappen voor beheerders van calamiteitenmateriaal bij waterschappen enkele mobiele waterkeringen van andere waterschappen getoond nabij gemaal Galathee in Ooltgensplaat Goeree-Overflakkee. Tijdens de Netwerkdag voor beheerders van calamiteitenmateriaal van waterschappen in 2025 bij waterschap Zuiderzeeland zijn ook enkele mobiele waterkeringen in beheer bij waterschappen getoond.

WSRIJ: nee

WSRL: Niet specifiek, maar in ons beheergebied zijn er vaak wel mogelijkheden om te testen, afhankelijk van de waterstanden.

WSVV: Bij 13.50 NAP gaan de uiterwaarden onder water er kan dan misschien iets geregeld worden op een overige kering.

BIJLAGE B

TESTCRITERIA EN MOGELIJK TESTPROGRAMMA

Vanwege het hoge risico dat voortvloeit uit het falen van mobiele tijdelijke systemen zijn er wereldwijd algemene eisen en testcriteria in verschillende normen en richtlijnen vastgelegd (VdS 3855:2022-12, BWK, 2005; BSI, 2003: PAS 1188-2; FM Approval 2510). Hoewel al deze normalisatiedocumenten min of meer dezelfde aspecten van goedkeuringstests behandelen, verschillen ze in de gegeven parameters en criteria waaraan de systemen moeten voldoen.

In het vervolg worden criteria voor systemen behandeld voor de indirecte objectbescherming, dat zijn systemen die een object effectief voor een overstroming beschermen, waarbij het systeem op enige afstand van het te beschermen object wordt opgebouwd.

Voor een betrouwbare toepassing van een mobiele kering zijn twee aspecten van groot belang:

- De juiste montage en tijdige gereedheid voor gebruik.
- Een goede werking en stabiliteit van het systeem tijdens gebruik.

Wenselijk is dat de systemen zo breed en flexibel mogelijk inzetbaar zijn, maar dat is nauwelijks mogelijk. Het is echter van belang dat de systemen voor de doelen waar ze voor worden ingezet betrouwbaar blijven functioneren. Om vertrouwen op te bouwen in de betrouwbaarheid van een zandzakvervangend systeem, behoren de systemen te zijn getest op de meest waarschijnlijke scenario's die tijdens een hoogwater kunnen optreden

Voor de opbouw van de mobiele kering is van belang de volgende kenmerken vast te stellen:

- Duidelijkheid over de opbouwtijd voor 100 m, wat vaak de minimaal benodigde afstand is en het minimale aantal personen dat voor de opbouw nodig is. Hiervoor zowel ervaren als onervaren personen inzetten.
- Eenvoudigheid en snelheid van plaatsen en opbouw zonder zwaar materieel. Inzetbaarheid zonder (zwaar) materieel bij drassige toegangsweg. Eventueel een gemeenschappelijke opslagplaats naar de locatie van inzet, zodat dezelfde afstanden voor transport, plaatsing en opbouw gelden. In het bijzonder bij langere afstanden, zoals voor zwaarder materieel niet toegankelijke gebieden moeten de materialen handmatig of met licht materieel zoals haspels of karretjes of kleine palletvorken en rupsvoertuigen worden getransporteerd (klein transportvolume en makkelijk verplaatsbaar).
- Het is voor een opbouw ook van groot belang dat bij systemen die bijvoorbeeld zandzakken of ander ballastend materiaal nodig hebben, deze ook in de test wordt toegepast, zodat deze tijd voor de opbouw meeweegt in de totale opbouwtijd, zodat een eerlijke vergelijking mogelijk is.
- De mogelijke toepassing op verschillende soorten ondergrond (beton, asfalt, bestrating, gras, klei, grind).

- Aansluiting op of zich zelf aanpassen aan een nietegale ondergrond (hobbelig, aanwezigheid van abrupte hoogteverschillen, zoals stoepranden, drempels of andere oneffenheden, obstakels of overgangen).
- De flexibiliteit van het systeem om horizontale en verticale variaties van het tracé te kunnen volgen en zich aanpast aan scherpe bochten en onregelmatige bochtvormen of wisselende maaiveldhoogtes en hellingen.
- Opbouw onder natte omstandigheden bij sterke wind, maar ook bij sterke neerslag en maatgevend waterpeil en golfoverslag en eventueel al in stromend water.
- De waterdichtheid van het systeem en onderdelen voor de aansluiting aan andere constructies (zoals andere mobiele keringen, kademuren, huizen). Deze aansluiting is bij bijna alle systemen het zwakke punt en leidt regelmatig tot lekkages of zelfs falen.
- Flexibiliteit v.w.b. toepassing (faalmechanismen).
- Eenvoudigheid van demontage en schoonmaken.
- Levensduur (UV, corrosie, slijtage, zoutwaterbestendigheid).
- Onderhoudsbehoefte, reparatiemogelijkheid (ook tijdens gebruik).
- Duurzaamheid (geschikt voor meervoudig gebruik) van de onderdelen.

De mobiele keringen dienen de door de producent aangegeven maximale hoogte van opstuwning (beschermingshoogte, dit is de systeemhoogte verminderd met het door de producent aangegeven vrijboord van de waterlijn) veilig te kunnen keren. Hoewel het een vereiste is om de verwachte waterstand robuust te kunnen keren, is het ook zinvol te weten hoe de systemen zich gedragen als de beschermingshoogte toch wordt overschreden omdat de waterstand zich anders ontwikkelt dan aangenomen en de systemen niet verder in hoogte kunnen worden aangepast.

Afhankelijk van hun beoogde inzet dienen de tests een bepaalde betrouwbaarheid en stabiliteit van zowel het systeem zelf als in combinatie met de ondergrond (wrijvingscontact) aan te tonen voor wat betreft:

- Stabiliteit bij windbelasting (nog geen water kerend).
- Gedrag en stabiliteit van de kering bij hydrostatische belasting:
 - Als de maximaal toegelaten kerende hoogte (beschermhoogte) wordt bereikt.
 - Als de beschermhoogte wordt overschreden tot aan de systeemhoogte.
 - Als de systeemhoogte wordt overschreden en overstroming gaat optreden.
- Aansluiting op de ondergrond en weerstand tegen onderloopsheid bij hydrostatische belasting (lekverlies).
- Minimale tijd die het systeem water blijft keren.
- Mogelijkheid tot uitbreiding van de te keren hoogte op een later moment bij een verder stijgend waterpeil.
- Stabiliteit bij (langs)stroming.
- Stabiliteit bij golfbelasting/overslag (kortstondige be- en ontlasting).
- Overstroombaarheid.
- Stabiliteit (weerstand tegen impact van botsing van drijfhout/drijfvuil (45° en 90°, scheurvorming door scherpe of spitse voorwerpen en andere mechanische invloeden).
- Robuustheid van het materiaal.
- Vandalismegevoeligheid van het materiaal en het systeem.
- Reparatiemogelijkheid tijdens het opstuwten.
- Mogelijkheid om over de kering te lopen voor mogelijke evacuatie.
- Aanpassingsvermogen op de kerende hoogte voor opkisten.

Het hieronder voorgestelde testprogramma is geïnspireerd op vergelijkbare tests door VdS, KLIF, aan de TUHH, FM Global en HS Bremen. VdS Schadenverhütung GmbH beoordeelt mobiele keringen en deelt elke prestatie-eigenschap op in drie klassen, van A tot C. Klasse A staat voor de laagste klasse, klasse C staat voor de hoogste klasse voor het desbetreffende prestatiekenmerk. Een mobiele kering die volgens de VdS-richtlijn wordt getest moet tenminste aan de prestatie-eigenschap A voor hydrostatische belasting voldoen. De andere prestatie-eigenschappen, zoals bestendigheid tegen lokaal aanstromen, zijn optioneel.

Voorzet voor een testprogramma:

- Bij een modulair opgebouwd systeem zijn minimaal twee of drie modules nodig om bijvoorbeeld verbindings- en afdichtingselementen mee te kunnen nemen in de beoordeling. Kies daarom voor een zo lang mogelijke lengte, minimaal 15 m.
- Minimaal één hoekverbinding (talud, wand). Als er wandverbindingen zijn voorzien, moet hiermee ook rekening worden gehouden in de testopstelling.
- Voor zover bij een lijnvormig systeem richtingsveranderingen mogelijk zijn, moeten deze ook in de testopstelling worden nagebootst. Gebruik van extra elementen om bochten te vormen.
- Bij lijnvormige systemen moet een opbouw lengte van minimaal 10 m worden gehanteerd, voorzien met minimaal één richtingsverandering van 45 graden.
- Testondergrond beton, maar ook bestrating, gras en zand.
- Houdbaarheid/duurzaamheid: x aantal opbouwcycli zonder functieverlies bij de door de leverancier aangegeven waterhoogte (sommige producten hebben 100 cycli doorlopen door dit bijv. door studenten te hebben laten opbouwen).
- Aantonen gedrag onder belasting:
 - Hydrostatische waterdruk: telkens een uur 25%, 50%, 75% en 100% van de te keren waterhoogte; Geteste mobiele keringen moeten in totaal 24 uur minimaal aan de criteria voor hydrostatische belasting voldoen dus bij niet-stromend water stabiel blijven en een maximale waterdoorlatendheid niet overschrijden. Grens aan de waterdoorlatendheid < 180 l/h/m.
 - Vervolgens het bassin verder vullen tot aan de systeemhoogte en observeren hoe lang de afzonderlijke systemen nog stabiel blijven en wanneer zij falen.
 - Daarna, zo mogelijk, verder vullen zodat overstrooming optreedt, met dezelfde observaties.
 - Hydrodynamische waterdruk (golven en stromingen):
 - Lokale stroming van 2 m/s haaks c.q. parallel vanaf 1 m afstand.
 - Mechanische belasting (aanrijdingen en botsing van drijfvuil): kanthout van 50x50cm², 500 kg, botsingshoek 45 en 90° t.o.v. de horizontale as van de mobiele kering, snelheid 2,5 m/s. Na elke botsing worden vervorming en lekkage gemeten.
 - Overstroming van 2 – 10 cm een half uur lang.
 - Vervorming:
 - Absorptie van de belasting zonder verplaatsing van het systeem?
 - Blijvende deformatie?
 - Lekverlies in l/h/m:
 - Bij het opstuwten.
 - Na 24 uur.
 -

- Vandalismegevoeligheid:
 - Gevoeligheid voor beschadigingen (en daarmee systeemfalen).
 - Mogelijkheid tot snelle reparatie tijdens gebruik.

Verdere specificaties voor een testprogramma zijn ook beschreven door FM Global in Tabel 4.2 (ANSI/FM Approvals 2510-2020).

BIJLAGE C

FACTSHEETS

FACTSHEET

AQUARIWA (“FRANKFURTER TONNE”)

PRODUCENT/DISTRIBUTEUR: AQUARIWA GMBH

Systeembeschrijving: Het systeem bestaat uit platte kunststofplaten die op locatie tot cilindrische containers worden gebogen en vervolgens met water, zand of ander zwaar materiaal gevuld worden.

Systeemkenmerken	
Systeemtype	Bassinsysteem/bekkensysteem (vulcontainer)
	
Toepassingsgebied	<ul style="list-style-type: none"> • Hoogwaterbescherming • Objectbescherming (infrastructuur en tunnelingangen) • Wateroverlast na hevige regenval
Geschikte ondergrond	<ul style="list-style-type: none"> • Harde vlakke ondergrond; asfalt, beton, straatstenen, grind, gras, grond; hellingen tot max. 5% • Ondergrond moet vrij zijn van hoekige voorwerpen
Systeemhoogte	<ul style="list-style-type: none"> • 1,0 m • 1,2 m • 1,5 m
Te keren hoogte (beschermingshoogte)	<ul style="list-style-type: none"> • 0,7 m c.q. 0,9 m (met water c.q. met zand gevuld) • 1,0 m c.q. 1,2 m • 1,3 m c.q. 1,5 m
Standzekerheid	1,20 m systeem: <ul style="list-style-type: none"> • tot 0,80 m (volgens producent) • tot 1,07 m in test HS Bremen
Systeemafmetingen	<ul style="list-style-type: none"> • 0,9 x 3,3 m (diameter 1,0 m) • 1,2 x 4,0 m (diameter 1,2 m) • 1,5 x 5,0 m (diameter 1,5 m)
Leeggewicht (ongevuld)	14,0 – 50,0 kg per stuk
Hoofdbestanddeel	Glasvezelversterkt kunststof, folie als waterzak
Vulmateriaal	Water of stortgoed
Verankering	Nee
Benodigde materialen	Dekzeilen, zandzakken, slangen, pompen of wielladers, kieper
Opbouwtijd	4.25 uur / 100 m met 6 personen bij opslag om de 30 m
Moeilijkheidsgraad	Hoog
Overstroombaar	Nee
Inzetbaar in stromend water	Nee
Uitbreidbaar	Horizontaal
Passeerbaar voor voertuigen	Nee
Onderhoudsvrij	Ja, bestendig tegen zoutwater
Levensduur	Plaat: 30 jaar; waterzak 3 jaar
Reparatie mogelijk	Ja
Herbruikbaar	Plaat: ja; Foliezak: nee

Systeemkenmerken	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • 1,0 km = 249 €/m • 0,5 km = 279 €/m • 0,2 km = 309 €/m • 50m = 349 €/m
Getest	Hogeschool Bremen
Gecertificeerd	Nee
Lekverlies (stationair)	64 l/h/m (bij 0,60 m opstuwung 8 h)
Aanpassing aan de ondergrond	De waterzakken passen zich goed aan de ondergrond aan. De cilinders zakken in de ondergrond.
Meer info	https://aquariwa.de/

BESCHRIJVING VAN DE NOODMAATREGEL

Platen buigen tot cilindrische bassins. Indien gevuld met water (maar ook andere vulmaterialen zijn mogelijk), zijn waterzakken binnenin de cilinders noodzakelijk. De bodem van het bassin is bedekt met een plastic net dat aan de platen is gelast om de stabiliteit van de bassins te vergroten. Dit net dient zo strak mogelijk te worden samengetrokken. De cilinders worden naar de plaats van gebruik gerold en opgesteld. Een foliezak wordt in de cilinder geplaatst, over de rand van de cilinder getrokken en met een bezem op de cilinderbodem gedrukt. De ruimtes tussen de bassins worden afgedicht met een plastic zeil aan de waterzijde dat wordt verzaamd met zandzakken.

Met de bassins kan een ring- of lijnvormige bescherming (ook in een gebogen lijn met bochten) worden gerealiseerd om extra waterhoogte te keren.

WAARTOE KAN HET INGEZET WORDEN?

- Rivieroverstromingen tegenhouden.
- Wateroverlast bij hevige regenval beperken.
- Gebouwen, woonwijken en infrastructuur beschermen.
- Lage delen in steden, tunnels en toegangswegen beveiligen.
- Op een terrein met hellingshoek tot maximaal 5%.
- Oppervlak: asfalt, beton, straatstenen, grind, gras, grond; droog of nat.

AFWEGINGSKADER

- Als er snel een extra waterkerende hoogte moet worden gerealiseerd, zonder dat met de impact van drijfvuil of sterke golfaanval moet rekening worden gehouden.
- Kan langs een bochtige tracélijn goed worden toegepast.

WAT IS ER NODIG?

- Zandzakken, folie/afdichtingszeil, pompen, slangen.
- Wiellader en graafmachine bij zandvulling.

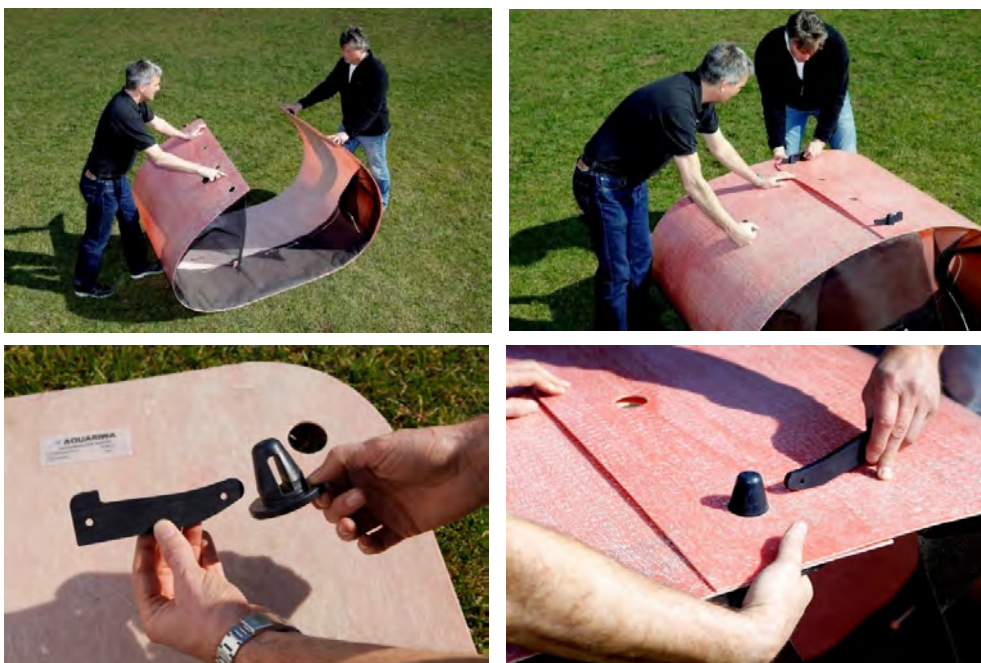
HOE VOER JE HET UIT?

Figuur C 1 Het AQUARIWA-systeem bestaat uit een glasvezelversterkte kunststofplaat met een gaasnet aan de lange zijde.



Door het geringe gewicht kan elke module telkens door twee personen worden opgerold, gearreteerd, door 1-2 personen naar de plaats van opstelling worden gedragen of gerold en daar door twee personen worden opgezet en met een foliezak worden voorzien.

Figuur C 2 De kunststofplaat wordt tot een cilinder gebogen en met een eenvoudige sluiting samengevoegd. Nadat de cilinderplaat is samengevoegd, vormt de foliezak de cilinderbodem.



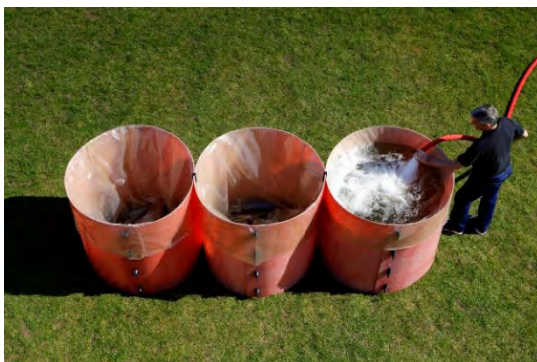
Figuur C 3 De montage van het AQUARIWA-systeem gebeurt met een sluitsysteem, volledig zonder gereedschap.



Figuur C 4 Nadat de cilinderplaat is samengevoegd vormt de foliezak de cilinderbodem. Dan de zwarte verbindingstukken aanbrengen.



Figuur C 5 De volledig gemonteerde cilinder wordt door een persoon gevuld met water, zand, grind of een soortgelijk zwaar medium.



De druk van het water of andere vulmateriaal drukt het ingelaste net tegen de grond, waardoor een stabiel statisch systeem ontstaat dat onverplaatsbaar is. Dankzij de flexibele bodem kan het ook op moeilijke ondergronden worden gebruikt als hoogwaterbescherming.

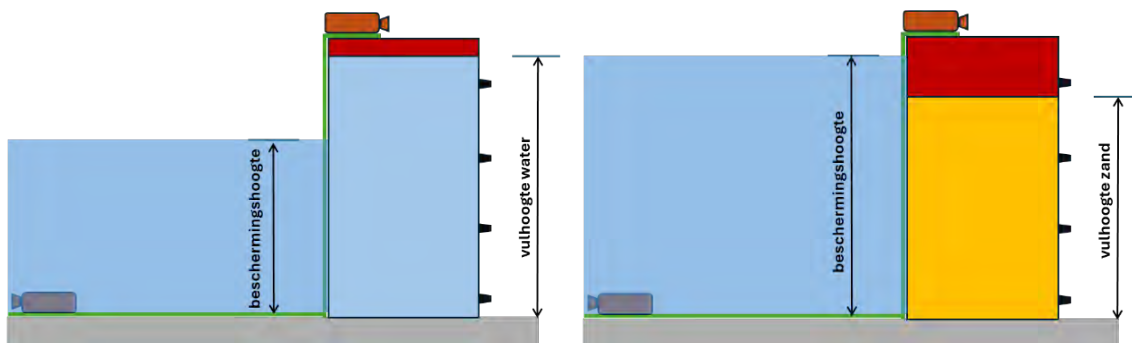
Bevestig het afdichtingszeil aan de kant van het hoogwater en bevestig het afdichtingszeil 2 meter voor de cilinder met zandzakken. Als er meerdere afdichtingszeilen nodig zijn, moeten deze overlappend worden gelegd. De overlapping van de afdichtingszeilen bedraagt minimaal 3 meter.

Figuur C 6 De afdichting aan de kant van het hoogwater gebeurt met een afdichtingszeil. Dit wordt 2 meter voor de cilinder op de grond met zandzakken vastgezet om de afdichting te optimaliseren.



De beschermingshoogte is de maximale met een mobiele kering nog veilig te keren waterhoogte. Beschermingshoogte (= veilig te keren waterhoogte) < vulhoogte bij watervulling! Omdat je bij een met water gevulde foliezak water alleen met water keert, dient voor het garanderen van een bepaalde beschermingshoogte de vulhoogte van de met water gevulde AQUARIWA hoger te zijn dan bij een ander vulmateriaal met een hoger soortelijk gewicht, zoals bijv. zand.

Figuur C 7 Verschil in beschermingshoogte voor water- en zandvulling



Als het hoogwaterpeil boven de maximale beschermingshoogte bij watervulling van de AQUARIWA stijgt, kan de cilinder met zand worden gevuld. Het toegevoegde zand verplaatst het water, waardoor een nog stabielere systeem ontstaat.

Om het water na gebruik weer uit de cilinders te krijgen zijn er vier mogelijkheden:

- Pomp het water met een dompelpomp uit de cilinder.
- Druk de foliezak met een bezem op de bodem van de cilinder. Het water stroomt langzaam uit de cilinder.
- Tap het water af met een vormvaste slang.
- Snijd de foliezak open.

Om het zand na gebruik weer uit de cilinders te krijgen dient de foliezak te worden opengesneden.

HOE ZIET HET ER UIT?

Figuur C 8 AQUARIWA-systeem langs een oeverstraat.



Figuur C 9 AQUARIWA-systeem op een dijkkruin en bij een kademuur.



LET OP! (BELANGRIJKE PRAKTISCHE UITVOERINGSASPECTEN)

- Stenen en takken weghalen voor het plaatsen van het systeem.
- Waterdichte aansluiting op de zijdelingse begrenzing moet met zandzakken worden uitgevoerd.
- De folie kan door het oogje van het net makkelijk beschadigd raken waardoor de met water gevulde foliezak gaat lekken en de cilinder aan gewicht gaat verliezen.
- Folie van de waterzakken kan makkelijk scheuren bij het vullen met water als deze schuin in de cilinder zitten.
- Waterdichte aansluiting op de zijdelingse begrenzing moet worden gemaakt met zandzakken.
- Controleer de beschermingshoogte en vul het systeem indien nodig bij met zand.
- Controleer op beschadigingen en lekken.
- Controleer op vandalisme.
- De glasvezels van de cilinderplaat kunnen na meervoudig gebruik losgekomen zijn en zijn zeer scherp. Bij ontmanteling is er risico op verwondingen.
- Bij de test in Hoya kwam het met het zeildoek afgedichte gedeelte los en kon dit niet opnieuw worden afgedicht. De cilinder was zo ver in de verzachte ondergrond gezakt dat een defect op handen was.
- Aquariwa is een niet-overstroombaar systeem. De te keren hoogte is kleiner dan de systeemhoogte omdat om veiligheidsredenen ook nog een vrijboord nodig is. De te keren hoogte neemt bovendien af als de cilinders niet volledig gevuld zijn. Een verlies van de vulling in de loop der tijd als gevolg van lekkages van de waterzakken vormt een groot risico. Eén cilinder met een verlaagde vulhoogte vormt al een zwakke schakel in de keten.
- De cilinders moeten elk apart worden gevuld, wat heel arbeids- en tijdsintensief is.
- De platen zijn maar 4 mm dik. De cilinder zal daardoor makkelijk in de grond snijden bij een groter gewicht van het vulmateriaal. In de testfaciliteiten zijn sommige cilinders als gevolg van de horizontale belasting en de verzadigde ondergrond onregelmatig gezakt en daardoor licht gekanteld.

Figuur C 10 De cilinders staan niet altijd volledig naast elkaar en raken elkaar dus niet over de volledige hoogte, ook al zijn de foliezakken in de cilinders volledig gevuld. De cilinders fungeren alleen als ballast. De waterdichtheid wordt met name door het afdichtingszeil aan de waterzijde gecreëerd.



Figuur C 11 Bij een stijgend waterpeil beginnen de tonnen onder de waterdruk licht te kantelen.



- Een nadeel van het systeem is dat elke container separaat met een slag dient te worden gevuld. De elementen staan niet met elkaar in verbinding. Dit maakt niet alleen het vullen en leegmaken arbeidsintensief, de elementen kunnen elkaar ook niet stabiliseren als een element lekt of leegloopt. De lege cilinder vormt dan de zwakke schakel in de ketting.
- Bij het vullen met (vuil of gecontamineerd) omgevingswater kunnen bovendien gezondheidsschadelijke stoffen als aerosol worden verspreid en in de longen van de helpers komen.
- Als het water meer dan 1,0 m kan stijgen, moet het systeem met zand worden gevuld. Hiervoor is bij een afstand van 100 m kering 460 ton zand (24 vrachtwagens in de vorm van 3-assige kiepwagens) nodig. Zelfs met veel helpers duurt deze aanpassing enkele uren.
- De dunne kunststofplaten zijn niet bestand tegen een botsing met drijfvuil, vooral niet in de hoek tussen twee tonnen.
- Waterzakken bij demontage leegpompen of met mes opensnijden en weggoien.
- Na elk gebruik moeten de folie en de foliezakken worden weggegooid en opnieuw worden aangeschaft.

IS UITBREIDING VAN DEZE NOODMAATREGEL MOGELIJK?

Alleen in lengte uitbreidbaar, niet qua hoogte.

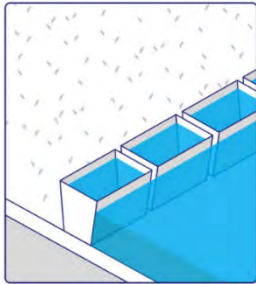
MEER WETEN?

Meer informatie kunt u vinden op de website van <https://aquariwa.de/>.

FACTSHEET

BOXBARRIER

Producent: BoxBarrier BV
Distributeur: Dutch Water Prevention

Systeemkenmerken	
Systeemtype	Bassinsysteem (vulcontainer)
	
	<p>Het modulaire tijdelijke waterkeringsstelsel bestaat uit bakkelementen welke met koppelstukken aan elkaar gekoppeld worden. De bakken worden met deksels afgesloten waarna ze met een pomp gevuld worden.</p>
Toepassingsgebied	Sturen en blokkeren van waterstromen bij plotselinge waterstijging in stedelijk gebied na extreme regenval; creëren van een tijdelijke dijk op een vlak terrein; tijdelijke dijkruiverhoging tegen overslag, wateromleiding langs kwetsbare infrastructuur; gevulde BoxBarrier is sterk genoeg om te dienen als tijdelijke loopbrug in overstroomde gebieden.
Geschikte ondergrond	Harde vlakke grond (asfalt, bestrating, klei, veen), rubberen onderafsluiting past zich aan de ondergrond aan
Systeemhoogte	60 cm
Te keren hoogte (beschermingshoogte)	50 cm
Standzekerheid	Tot 50 cm
Systeemafmetingen	HxBxL = 60 x 60 x 90 cm
Leeggewicht (ongevuld)	8,3 kg per box, 3,4 kg per deksel, 1,5 kg per koppelstuk = 13,2 kg totaal
Hoofdbestanddeel	Gerecycleerd plastic
Vulmateriaal	Water
Verankering	Geen
Benodigde materialen	Water, pompen, slangen, zeil om onderloopsheid te beperken, zandzakken als extra ballast en om waterdichte aansluiting aan andere constructies te bereiken.
Opbouwtijd	50 minuten per 100 m door 3 personen met een pomp met een capaciteit van 30 m ³ /h
Moeilijkheidsgraad	Gemiddeld; eenvoudig en snel te installeren. Boxen moeten ieder separaat via een slang worden gevuld.
Overstroombaar	Nee, drijft op als beschermingshoogte wordt overschreden
Inzetbaar in stromend water	Kan in het water geïnstalleerd worden doordat de modules drijven en op de benodigde locatie afgezonken kunnen worden.
Uitbreidbaar	In lengte; ook stapelbaar met een tweede rij BoxBarriers
Passeerbaar voor voertuigen	Nee
Onderhoudsvrij	Ja; Compact stapelbaar tot een hoogte van 20 units waarbij buitenopslag mogelijk is. 250 m BoxBarrier kan opgeslagen worden in een standaard 20ft container.
Levensduur	20 jaar
Reparatie mogelijk	Geen info beschikbaar
Herbruikbaar	Ja
Kosten	Officiële gegevens beschikbaar

Systeemkenmerken	
Getest	Flood Proof Holland/TU Delft
Gecertificeerd	Nee
Lekverlies	<ul style="list-style-type: none"> • 250 l/h/m op veen • 50 l/h/m op asfalt
Aanpassing aan de ondergrond	Is relatief stijf. Zakt vanwege zijn gewicht wel in de ondergrond.
Meer info	https://boxbarrier.com info@boxbarrier.com www.dutchwaterprevention.com

BESCHRIJVING VAN DE NOODMAATREGEL

De BoxBarrier is een tijdelijke, watergevulde flexibele modulaire kering die bestaat uit 3 verschillende delen: een bak, een deksel en een verbindingselement. De lichtgewicht kunststof bakken worden door middel van een keg relatief makkelijk in elkaar gehaakt. De bakken worden afgedekt met een deksel, waarin een gat zit. De boxen worden van tevoren via het gat in het deksel door middel van een pomp en een slang gevuld met water, om voldoende gewicht en daardoor kracht hebben om water te kunnen keren.

Deze kering is vooral geschikt voor stedelijk gebied waar je op een harde ondergrond op een vlak terrein snel een flexibele kering wilt plaatsen.

Voordeel: je kan er overheen lopen om bijvoorbeeld mensen te evacueren.

WAARVOOR KAN HET INGEZET WORDEN?

- Wateroverlast bij hevige regenval te beperken.
- Als maatregel bij golfoverslag.
- Vlak oppervlak van asfalt, beton, straatstenen, klei, veen.

Figuur C 12 Inzet van BoxBarrier als maatregel tegen golfaanval (Lake Simcoe, mei 2026). Hoewel alle deksel zijn weggespeld bleven de met water gevulde bakken op hun positie. (Bron: This is what an actual deployment looks like. Even though the wave action exceeded the design height of the BoxBarrier (knocking the lids off) the barriers still stayed in position keeping the... | Dave Swan)



AFWEGINGSKADER

- Als er snel een extra waterkerende hoogte moet worden gerealiseerd.
- De kering is beloopbaar en kan hierdoor in een overstromingsgebied gebruikt worden als tijdelijke brug.

WAT IS ER NODIG?

Water en een pomp met een capaciteit van 30 m³/h. Eventueel een membraan/dekzeil bij toepassing op gras of bestrating.

HOE VOER JE HET UIT?

De BoxBarrier-elementen worden met een verbindingselement (keg) aan elkaar verbonden, waardoor een stevige verbinding resulteert.

Figuur C 13 Keg als stijf verbindingselement tussen twee BoxBarrier-modules



Figuur C 14 De rubberafdichting aan de onderzijde van de box en de keg zorgt voor een waterdichte sluiting tussen de BoxBarrier en de ondergrond.



Figuur C 15 BoxBarrier-tekst dient naar de landzijde gericht te zijn, de rubber afdichting moet aan de waterzijde staan. Het deksel geeft aan de bovenkant stevigheid tegen uitbuiging en torsie.



Water kan vanuit de watergang aangevoerd worden met behulp van een pomp of kan via land aangevoerd worden, bijvoorbeeld met een tankwagen.

De box kan door het water iets vervormen en zich zo aan de ondergrond aanpassen.

HOE ZIET HET ER UIT?

Figuur C 16 BoxBarrier bij een al relatief hoge waterstand t.o.v. de systeemhoogte.



LET OP! (BELANGRIJKE PRAKTISCHE UITVOERINGSASPECTEN)

- Bij betonnen bestratingsblokken moeten de voegen tussen de blokken worden afgedicht met een membraan om overmatige lekkage door de bestrating en uitspoeling van zand te voorkomen.
- Hoekstukken maken het mogelijk om BoxBarriers in scherpe hoeken, tot 90 graden, te plaatsen.

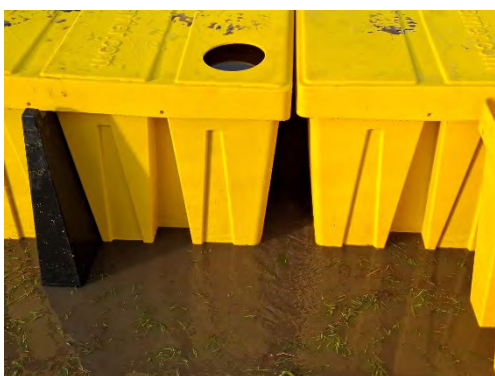
Figuur C 17 Rubbervbinding tussen twee kagen voor bochtvormige verbinding tussen twee Boxbarrier-modules



Figuur C 18 Met wandstukken kan een waterdichte overgang tussen een bestaande muur, rand of andere obstakels en een BoxBarrier gemaakt worden.



Figuur C 19 Bij grasondergrond bestaat groter lekverlies door onderloopsheid.



Figuur C 20 Zodra de daadwerkelijke waterhoogte de beschermingshoogte van 50 cm overschrijdt, begint de BoxBarrier instabiel te worden en te kantelen, omdat het eigen gewicht van de box te laag is en de box begint op te drijven.



IS UITBREIDING VAN DEZE NOODMAATREGEL MOGELIJK?

In lengterichting. Eventueel stapelbaar met een tweede rij BoxBarriers.

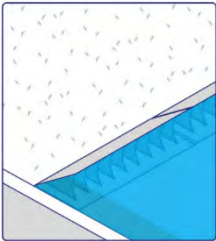
MEER WETEN?

<https://boxbarrier.com>

FACTSHEET

BUITINK FLEXIBELE WATERDAM (BFW)

Producent/Distributeur: Buitink Technology

Systeemkenmerken	
Systeemtype	Opklapsysteem
	 <p>Een flexibele, uitrolbare waterkering die zichzelf uitvouwt en vastzet op de ondergrond en zichzelf verankert.</p>
Toepassingsgebied	<ul style="list-style-type: none"> • Watergeleiding. • Objectbescherming. • Afdammen van een sloot. • Terughouden van vervuild water.
Geschikte ondergrond	Vlak asfalt tot een hobbelige rivierbedding en van een grasveld tot een steenachtige bodem.
Systeemhoogte	35 / 50 / 70 cm,
Te keren hoogte (beschermingshoogte)	35 / 50 / 70 cm
Standzekerheid	Alleen gewaarborgd als het horizontale gedeelte ook met zandzakken is verzaard.
Systeemafmetingen	Hoogte = 50/70 cm, breedte = 212/287 cm, lengte 10 m andere hoogtes kunnen worden geproduceerd
Leeggewicht (ongevuld)	60 kg per module
Hoofdbestanddeel	Flexibel kunststof zeildoek (niet verder gespecificeerd materiaal)
Vulmateriaal	-
Verankerings	<ul style="list-style-type: none"> • Geen, zelffunderend door het gewicht van het te keren water. • Ballasten met zandzakken vermindert lekverlies en beschermt tegen wegwaaien.
Benodigde materialen	Geen
Opbouwtijd	20 min/100m lengte
Moeilijkheidsgraad	Eenvoudig, handmatig op te bouwen en te verplaatsen
Overstroombaar	Ja
Inzetbaar in stromend water	Ja
Weerstand tegen impact drijf hout	Niet getest
Uitbreidbaar	Ja
Passeerbaar voor voertuigen	Ja
Onderhoudsvrij	Ja
Levensduur	Geen info beschikbaar
Reparatie mogelijk	Ja
Herbruikbaar	Ja
Kosten	Geen officiële gegevens beschikbaar
Getest	Flood Proof Holland (studenten Lucas Leerdam, Gerben de Riet), oefening Wolkbreuk oefening Marnewaard
Gecertificeerd	Nee

Systeemkenmerken	
Lekverlies	Geen officiële gegevens beschikbaar; door het openen van klittenbandkleppen kan water worden afgevoerd
Aanpassing aan de ondergrond	Ja
Meer info	https://www.buitink-technology.com/nl/industrie/waterbeheersing/flexibele-dammen

BESCHRIJVING VAN DE NOODMAATREGEL

- De Buitink Flexibele Waterdam is een flexibele, uitrolbare waterkering die zichzelf uitvouwt en vastzet op de ondergrond en zichzelf verankert.
- Het systeem is eenvoudig op te zetten zonder materieel, heeft verder geen extra materiaal of heel veel voorbereiding nodig. Het opkomende water zorgt ervoor dat de waterkering zich zelf ontvouwt, zich met water vult en daarna op zijn plek blijft staan om het water te keren. Op de hoes wordt stap voor stap uitgelegd hoe je hem moet plaatsen, welke kant hij op moet en hoe je hem moet uitrollen.
- Buiting Flexibele Waterdam is van een zeer flexibel materiaal gemaakt en volgt automatisch de vorm van de ondergrond waarop de dam wordt ingezet.
- De onderdelen van het systeem wordt met een strip klittenband aan elkaar bevestigd.
- Aan de bovenstroomse kant waar het water op moet stromen heeft de kering een verzwaarde rand, die ervoor zorgt dat er geen onderloopsheid ontstaat.
- Waterhoogtes van 35 tot 70 cm kunnen worden gekeerd. Het is echter beter om het horizontale gedeelte van de mobiele kering nog met extra zandzakken te verzwaren om onderstroming en daarmee ook verschuiving van de mobiele kering te voorkomen.
- De instructies voor het opbouwen staan duidelijk aangegeven op de verpakking en op de kering zelf.
- Snelle handmatige plaatsing, ingebruikname en eenvoudige demontage.
- Eenvoudig te koppelen tot grotere lengtes via verbindingen met klittenband.
- Onderhoudsvrij, eenvoudig te repareren (ook op locatie).

WAARVOOR KAN HET INGEZET WORDEN?

- Beschermen van objecten en gebouwen tegen hoogwater en wateroverlast.
- Afleiden van water naar plaatsen waar minder schade ontstaat.
- Afdammen van een sloot of beek om een hogere waterstand te creëren.
- Inzet als flexibele kofferdam.
- Opvangen van olie of vuil op het water. Doordat er kleppen zitten aan de achterzijde van de dam kan het schone water via die achterkant van de dam worden doorgelaten terwijl het vuil achterblijft. Deze kleppen kunnen eenvoudig via klittenbandsluiting worden geopend en gesloten.

Figuur C 21 Afdammen van een beek.



AFWEGINGSKADER

Dit systeem is geschikt voor een snelle inzet bij extreme neerslag. Zolang er nog geen water opgevangen is door de dam, is het een volledig vlak systeem en kan er nog overheen worden gelopen of voorzichtig overheen worden gereden met voertuigen.

WAT IS ER NODIG?

Om het proces van opklappen te ondersteunen is er een fiberglas steunbeugeltje ingebouwd waarmee de dam sneller in positie komt.

HOE VOER JE HET UIT?

- Bij kans op hoog water kan je een locatie al bij voorbaat beschermen en voorbereiden door de dam in positie te brengen. Zolang er nog geen water gevangen is door de dam, is het een volledig vlak systeem.
- Het te keren water zorgt ervoor dat de flexibele waterkering zichzelf ontvouwt, zich met water vult en daarna stabiel op zijn plek blijft staan en het water tegenhoudt.
- Zodra de dam omhoogkomt en volloopt met water kan het waterniveau stijgen tot de maximale hoogte van de dam. Door aan de achterzijde van de dam de kleppen selectief te openen kan je water laten weglekken totdat het niveau aan de voorkant weer op peil is. Op deze manier is het waterniveau te reguleren. Dit is met name handig bij de afdamming van een sloot.

HOE ZIET HET ER UIT?

Figuur C 22 De systemen zijn compact opgerold. Op de waterdam zelf zijn duidelijke instructies aangebracht.



Figuur C 23 De elementen worden door een koppelsysteem met klittenband waterdicht met elkaar verbonden.



Figuur C 24 Het aan elkaar voegen van de verschillende laagjes met klittenband is arbeidsintensief en foutgevoelig omdat je makkelijk een laagje over kan slaan.



Figuur C 25 De dam is aan de rand van de onderzijde verzaamd met metalen plaatjes zodat hij naar de bodem zakt zodra hij in het water terecht komt. Voor extra fixatie kan er gebruik worden gemaakt van additionele gewichten, zoals zandzakken.



Figuur C 26 Het systeem kan met kleine steunen vooraf in een opgeklapte positie worden gebracht.



LET OP! (BELANGRIJKE PRAKTISCHE UITVOERINGSASPECTEN)

- Zorg ervoor dat de onderdelen goed aan elkaar vastzitten om te voorkomen dat de kering gaat schuiven.
- Bedenk dat de Buitink Flexibele Waterdam tijdens het gebruik niet verder kan worden verhoogd.

Figuur C 27 Zorg ervoor dat de kleppen van de openingen aan de onderzijde goed dicht zitten, als je geen water wilt aflaten.



Figuur C 28 Zodra de dam in de juiste stroomrichting is neergelegd zal de dam openklappen en beginnen water op te vangen. Om dit proces te ondersteunen is er een fiberglas steunbeugeltje ingebouwd waarmee de dam sneller in positie komt. Desondanks bereikt het systeem niet overal dezelfde hoogte.



Het achteraf schoonmaken van het systeem is wel arbeidsintensief.

Figuur C 29 Het gras werd rond drie weken van te voren gemaaid. Na de oefening bleek veel gras in de BFW te blijven hangen. Het schoonmaken ervan was heel arbeidsintensief.



IS UITBREIDING VAN DEZE NOODMAATREGEL MOGELIJK?

In lengterichting is BTW eenvoudig aan elkaar te koppelen tot grotere lengtes.

De koppeling met andere (mobiele) systemen kan een zwakke schakel vormen met grotere kans op onderloopsheid als gevolg van onvoldoende contact met de ondergrond door omhoogtrekken van de BTW, door verminderde systeemhoogte a.g.v. de koppeling.

Figuur C 30 Koppeling aan een ander mobiel systeem: links: Block bags; rechts: Europallet-barrière



Figuur C 31 Aansluiting van BFT aan een talud met behulp van zandzakken.



Figuur C 32 Koppeling aan een TubeBarrier



Figuur C 33 De overgang tussen BFW en TubeBarrier lijkt hier het zwakke schakel qua hoogte te vormen. Maar ook het feit dat in voorliggende situatie het op de grond liggende gedeelte van de BFW niet met zandzakken werd verzaamd. Hierdoor gaat het zeil gedeeltelijk opdrijven en de BFT verschuiven.

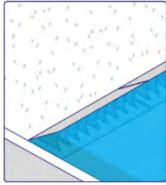
**MEER WETEN?**

Meer informatie kunt u vinden op de website van
<https://www.buitink-technology.com/nl/industrie/waterbeheersing/flexibele-dammen>

FACTSHEET

WATER-GATE SELF-INFLATING BARRIER

Producent/Leverancier: MegaSecur, Frankrijk

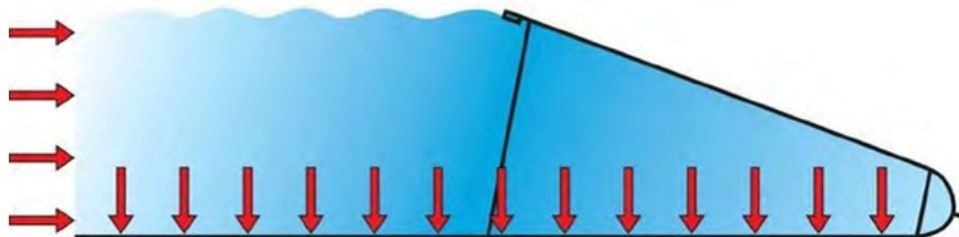
Systeemkenmerken	
Systeemtype	Opklapsysteem
	
Toepassingsgebied	<ul style="list-style-type: none"> • Hoogwaterbescherming • Watergeleiding • Objectbescherming • Afdammen • Terughouden van vervuild water
Geschikte ondergrond	Alle soorten terrein, zoals grond, gras, bestrating of ijs en past over allerlei obstakels: rotsen, rails, lage muren. Kan in elke richting worden gebogen, bochten, hellingen, zelfs in rechte hoeken
Systeemhoogte	15 cm – 198 cm
Te keren hoogte (beschermingshoogte)	15 cm tot 198 cm
Standzekerheid	Wordt stabiel met stijgende gekeerde waterhoogte; bij systeemhoogte stabiel
Systeemafmetingen	HxL = 15 cm x 9,1 m tot 198 cm x 15,2 m. De benodigde vloeroppervlakte is afhankelijk van de maximale hoogte van de barrière. Vloerbreedte (of -diepte) = 4 keer de maximale beschermingshoogte.
Leeggewicht (ongevuld)	13 – 242 kg per element
Hoofdbestanddeel	Polyesterweefsel gecoat met sterk en slijtvast PVC. Polypropyleenbanden om de uiteinden van de barrière op te tillen voor specifieke installaties en voor eenvoudige hantering, staalplaten als ballast.
Vulmateriaal	-
Verankering	Geen; geïntegreerde ballast en zelf-fundering door gewicht te keren water
Benodigde materialen	Incidenteel een paar zandzakken
Opbouwtijd	105 min / 100 m
Moeilijkheidsgraad	Eenvoudig, handmatig op te bouwen, snel inzetbaar
Overstroombaar	Ja
Inzetbaar in stromend water	ja, zolang stroming niet te sterk is
Weerstand tegen impact drijfwood	Ja
Vorstgevoelig	Nee
Uitbreidbaar	Ja
Passeerbaar voor voertuigen	Ja
Onderhoudsvrij	Ja
Levensduur	30 jaar
Reparatie mogelijk	Ja
Herbruikbaar	Ja
Kosten	€150 – €1.000 per meter, (ex. BTW) en afhankelijk van hoogte en type WL2630: €395 per meter bij 9,1 m lengte; €368 per meter bij 15,2 m lengte.
Getest	HS Bremen; De weerstand van het product tegen harde wind (windkracht 12) is getest bij het CSTB in Nantes.

Systeemkenmerken	
Gecertificeerd	USACE / FM Global Approved WL-6030 biedt volgens de producent 153 cm beschermingshoogte, maar is door FM alleen voor 30 cm beschermingshoogte gecertificeerd
Lekverlies	120 l/h/m bij 0,60 m opstuwung van 24 uur HS Bremen: 450-500 l/h/m; met zandzakballast 200-300 l/h/m
Aanpassing aan de ondergrond	Ja
Meer info	

BESCHRIJVING VAN DE NOODMAATREGEL

Water-Gate is een draagbare, zelfvullende, herbruikbare waterbarrière die kan worden gebruikt in plaats van traditionele methoden, zoals zandzakken. Het bestaat uit één enkel zeildoek dat in vorm wordt gehouden door ingesmolten schotten. Het zeildoek wordt door de waterdruk van het hoogwater op de grond gedrukt en kan zo door wrijving de kracht van de horizontale waterdruk in de grond geleiden.

Figuur C 34 Op de WaterGate inwerkende horizontale en verticale krachten



WAAR KAN HET WORDEN INGEZET?

De Water-Gate kan in verschillende situaties worden gebruikt, zoals bij hoogwaterbescherming, het aanleggen van reservoirs en dammen, het omleiden van waterstromen en zelfs het indammen van vervuild water.

Water-Gate bestaat uit verschillende modellen voor o.a.:

- Wegen en vlakke oppervlakken.
- Waterlopen.
- Deur- en gebouwtoepassingen.

WL-serie:

- Wordt gebruikt voor overstromings- en waterbeheersing op asfalt-, grind- en grasoppervlakken.

WT-serie:

- Waterafleiding.
- Als tijdelijke kistdam.
- Voor het afdammen van een beek.

WT-serie:

- Drijvend afval wordt voor de barrière opgevangen.
- Uitgerust met afvoeropeningen aan de onderkant om een onderstroomdam te creëren.
- Schoon water kan via de kleppen door de barrière stromen.

AFWEGINGSKADER

Dit systeem is bijzonder geschikt voor een snelle inzet bij plotselinge overstromingen na extreme neerslag (flash floods). Zolang er nog geen water gevangen is door de dam, is het een volledig vlak systeem en kan er nog overheen worden gelopen of voorzichtig overheen worden gereden met voertuigen.

WAT IS ER NODIG?

Niets

HOE VOER JE HET UIT?

De draagbare barrière kan met een voertuig naar de gewenste locatie worden vervoerd, maar kleinere barrières zijn licht genoeg om door één persoon te worden gedragen. De Water-Gate kan door één persoon worden geïnstalleerd. De barrière is verkrijgbaar in verschillende lengtes en hoogtes en kan worden gekoppeld om langere secties te creëren.

Het water ontvouwt de barrière en stroomt erin. Terwijl het water blijft stromen, begint de barrière zich verder te ontvouwen en uit te breiden. De bovenkant van de barrière glijdt over de golven terwijl deze zich volledig ontvouwt. Het is de waterdruk die de dam opent en activeert, en niet de stroming of de snelheid van de overstroming.

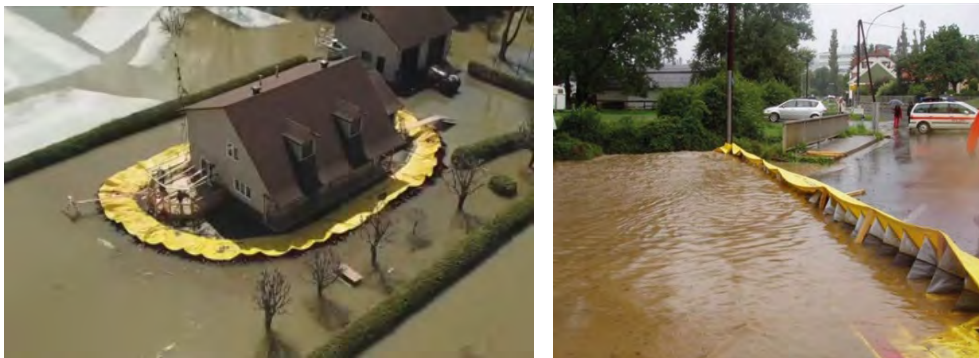
De Water-Gate-dam heeft een vier keer zo groot grondoppervlak dan het water dat wordt tegengehouden, en oefent dus vier keer zoveel verticale druk (op de grond) dan horizontale druk. Dit zorgt voor een goede aansluiting en extra veiligheid.

HOE ZIET HET ER UIT?

Figuur C 35 WaterGate om overstroming van de rivieroever te hinderen en als afdamming in het rivierbed.



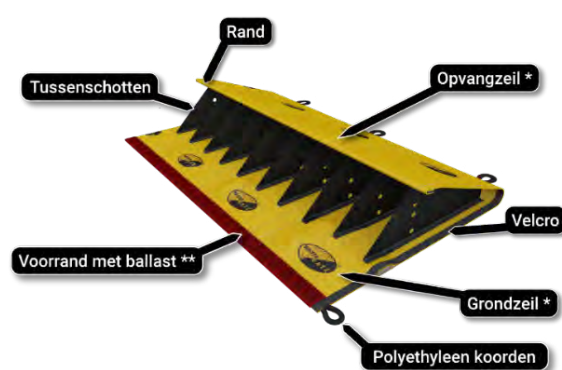
Figuur C 36 WaterGate als bescherming rondom infrastructuur en om water af te leiden bij een weg.



* Zeer robuust, slijtvast PVC-gecoat polyesterweefsel voor installatie op alle soorten oppervlakken.

** Gegalvaniseerde stalen platen onder polyester gaas genaaid op de dam.

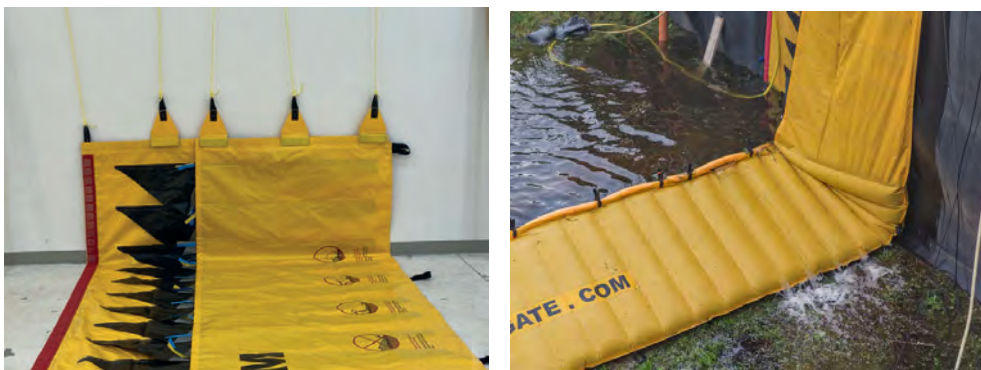
Figuur C 37 Onderdelen van een WaterGate.



LET OP! (BELANGRIJKE PRAKTISCHE UITVOERINGSASPECTEN)

- Verwijder alle voorwerpen die waterlekage onder het grondzeil kunnen veroorzaken voordat men de dam plaatst. De afdichting is afhankelijk van de toestand van het bodemoppervlak (hoe gladder de vloer, hoe beter de afdichting).
- De afdichting neemt toe met de hoogte van het gekeerde water en de druk van de water op het grondzeil. Een goede afdichting tegen onderloopsheid wordt pas bereikt als er voldoende water tegen aan staat, bij langzaam stijgend water is de lekverloopsnelheid hoger. Eventueel doorsijpelend water kan meteen worden afgevoerd.
- Bij WaterGate ontstaat de nodige wrijving alleen door onderdruk onder het zeil. Als de onderdruk onder het zeil in een relatief klein gebied ontbreekt omdat er water onder het zeil komt, faalt het systeem eerst op deze plek en vervolgens over de hele lengte. Water kan om de volgende redenen onder het zeil terechtkomen: onderstroming, plooivorming of het opdrijven van de verzwaarde zeilrand door turbulentie. Daarom wijst MegaSecure er extra op dat plooiën moeten worden vermeden, wat in bochten echter nauwelijks mogelijk is.
- Belast de voorkant gelijkmatig (ballast, zoals zandzakken) om het binnendringen van water onder de dam te minimaliseren en de grip op de grond te garanderen.
- Als er een scheur in het zeil ontstaat terwijl de dam met water gevuld is, schuif dan gewoon een stuk stof/canvas in de dam om het gat te dichten (afdichting door de druk van het water op het canvas). Voor reparaties in den droge of in den natte kan je een reparatieset gebruiken.
- De doorlaatgaten kunnen tijdens het gebruik worden geopend en gesloten door eenvoudig op de rolluikschuif te drukken.

Figuur C 38 Voor het verticaal omhoogvoeren van de WaterGate aan een muur zijn hulpmiddelen beschikbaar. Aandacht vraagt echter het goede contact met de ondergrond om lekkage te voorkomen.



Figuur C 39 Met klittenband afgesloten openingen aan de teen van de buitenkant het opklapsysteem, om het water te lozen of de te keren waterstand te reguleren.



IS UITBREIDING VAN DEZE NOODMAATREGEL MOGELIJK?

- Het WaterGate-systeem kan tijdens het gebruik niet worden verhoogd.
- Alle Watergate-barrières kunnen ongeacht hun grootte of categorie met behulp van klittenbandsluitingen aan elkaar worden gekoppeld. Het is mogelijk om de mobiele kering onbeperkt te verlengen zonder verlies van efficiëntie.
- De afzonderlijke delen van de WaterGate kering worden alleen bij elkaar gehouden door klittenband. Als dit losraakt, laat het systeem het opgestuwde water plotseling vrij.
- Als de WaterGate aan de onderkant plooiën vormt kan hierdoor het contact met de ondergrond slechter worden en lekkage optreden.

MEER WETEN?

Meer informatie: <https://nl.megasecureurope.com/waterkeringsysteem-overstromingen-bescherming/>

Gecertificeerd als “FM approved” door FM Global (een van de meest aanvaarde certificeringen) Class 2510 in het Centrum voor onderzoek en ontwikkeling van het Amerikaanse leger (ERDC) (US Army Corps of Engineers, Vicksburg) in 2015.

3 beschermhoogtes (100 cm | 127 cm | 152 cm) getest op:

- Installatietijd.
- Herbruikbaarheid.
- Impact op het milieu.
- Waterdichtheid en stabiliteit bij 30%, 60% en 100% van de damcapaciteit.
- Weerstand tegen golven bij 60%, 80% en 100% van de damcapaciteit.
- Weerstand tegen parallelle stromen.
- Schokbestendigheid (impact van stoten).
- Overloopweerstand (120% van de damcapaciteit).

<https://www.megasecureurope.com/wp-content/uploads/2019/09/NL-Technisch-bestand-Water-Gate-%C2%A9-2018.pdf>

WaterGate geeft aan dat de WL-39, 50 en 60 series MF Approved zijn. WL6030-barrière heeft een hoogte van 152 cm en is getest door FMGlobal. FM Approvals geeft aan dat het systeem voor een waterdiepte van 30 cm vrijgegeven.

FACTSHEET

FLUTSCHUTZ AUFLASTFILTER (BALLASTDRAINAGE)

Producent/Distributeur: Optimal Umwelttechnik GmbH

Systeemkenmerken	
Systeemtype	Tubesysteem (vulcontainer)
	
Toepassingsgebied	Gesloten, met water gevuld tubesysteem als extra ballast ter stabilisatie van dijktaluds.
Geschikte ondergrond	Op alle ondergronden
Systeemhoogte	N.v.t.
Te keren hoogte (beschermingshoogte)	N.v.t.
Standzekerheid	N.v.t.
Systeemafmetingen	HXBxL = 0,6 x 3,5 x 7,0 m
Leeggewicht (ongevuld)	70 kg
Hoofdbestanddeel	Polyester weefsel, gecoat op beide zijden
Vulmateriaal	Water
Verankering	Geen
Benodigde materialen	Pompen, drukslang, STORZ B-koppelingen, filtergeotextiel met drainagekern
Opbouwtijd	Bedoeld voor snelle uitrol en vulling ter plaatse door 2-3 personen. Geen gedetailleerde info.
Moeilijkheidsgraad	Eenvoudig
Overstroombaar	N.v.t.
Inzetbaar in stromend water	N.v.t.
Weerstand tegen impact drijfhout	N.v.t.
Uitbreidbaar	Ja
Passeerbaar voor voertuigen	Zolang niet gevuld
Onderhoudsvrij	Ja
Levensduur	Geen informatie beschikbaar
Reparatie mogelijk	Ja
Herbruikbaar	Ja
Kosten	Geen informatie beschikbaar
Getest	Hoogeschool Bremen bij THW Hoya, TÜV getest op bruikbaarheid in de praktijk (TÜV-Nord)
Gecertificeerd	Nee
Lekverlies	N.v.t. drainerende werking gewenst, word door filtergeotextiel gewaarborgd
Aanpassing aan de ondergrond	Ja
Meer info	https://optimal-umwelttechnik.de/hochwasserschutz/auflastfilter-flutschutz

BESCHRIJVING VAN DE NOODMAATREGEL

De Flutschutz Auflastfilter (ballastdrainage) is een met water te vullen ballastconstructie voor noodbeveiliging van dijken bij langdurig hoogwater. Bij grootschalige kwel aan het binnentalud stabiliseert het de dijk en voorkomt zo een afschuiving en dijkdoorbraak.

De Flutschutzballastdrainage wordt op het binnentalud en de teen van de dijk geplaatst en zorgt voor stabilisatie van het dijklichaam en tegelijkertijd voor afwatering.

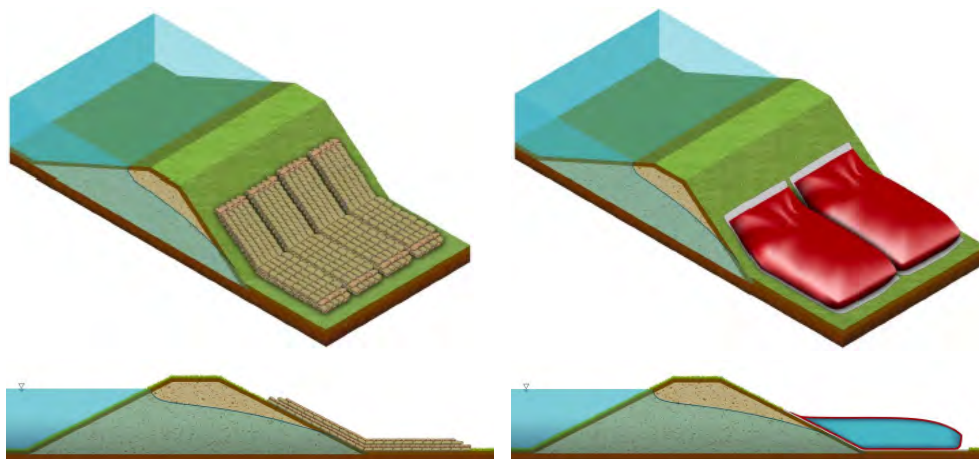
WAAR KAN HET INGEZET WORDEN?

Op het overgangsgebied van dijkteen en binnentalud.

AFWEGINGSKADER

Door zijn eenvoudige en ongecompliceerde bediening vormt de Flutschutz ballastdrainage een alternatief voor de conventionele ballastdrainages van vlechtwerk of geotextiel en zandzakken.

Figuur C 40 Principe van een ballastdrainage met zandzakken en een Flutschutz Auflastfilter.



WAT IS ER NODIG?

- Pompen.
- Drukslang.
- STORZ B-Koppelingen.
- Filtergeotextiel met drainagekern.
- Hoe voer je het uit?

Figuur C 41 Uitrollen van een Auflastfilter op een filterdoek en vullen met water via een slang



HOE ZIET HET ER UIT?

Figuur C 42 Toepassing van een Flutschutz Auflastfilter op de binnenteen en het binnentalud van een dijk.



LET OP! (BELANGRIJKE PRAKTISCHE UITVOERINGSASPECTEN)

De ene helft van de ballastdraiange tegen de teen van de dijk plaatsen – de onderste helft komt zodoende op een (vrijwel) vlak gedeelte te liggen.

IS UITBREIDING VAN DEZE NOODMAATREGEL MOGELIJK?

Systemen kunnen onafhankelijk naast elkaar worden geplaatst.

MEER WETEN?

<https://optimal-umwelttechnik.de/hochwasserschutz/auflastfilter-flutschutz>

FACTSHEET

FLUTSCHUTZ QUELLKADE (RINGDAMACHTIGE OPKISTING)

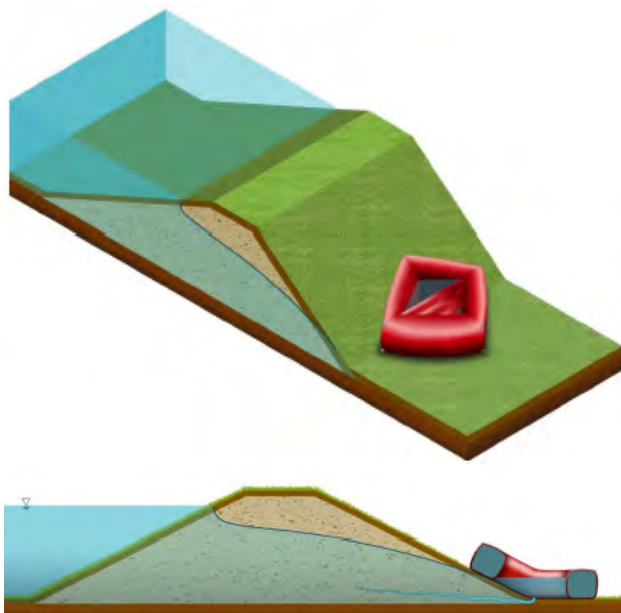
Producent/Distributeur: Optimal Umwelttechnik GmbH

Systeemkenmerken	
Systeemtype	Tubesysteem (vulcontainer);
	
	Een met water gevuld ringvormig tubesysteem met een vierkant grondvlak dat lokale kwel en zandmeevoerende wellen aan de binnendijkse kant van dijken tegengaat.
Toepassingsgebied	Opkisten van lokale kwel en zandmeevoerende wellen als gevolg van piping en microstabiliteit. Bij toepassing in een sloot is met de relatief grote lengte en breedte rekening te houden.
Geschikte ondergrond	Op harde en zachte ondergrond;
Systeemhoogte	1,0 m
Te keren hoogte (beschermingshoogte)	0,9 m
Standzekerheid	Tot beschermingshoogte
Systeemafmetingen	HxBxL = 1,0 x 2,9 x 2,9 m
Leeggewicht (ongevuld)	35 kg
Hoofdbestanddeel	Polyester weefsel, gecoat op beide zijden
Vulmateriaal	Water
Verankering	Geen
Benodigde materialen	Bladblazer, pompen, slangen
Opbouwtijd	Door 2 personen in 15 minuten
Moeilijkheidsgraad	Eenvoudig
Overstroombaar	Nee
Inzetbaar in stromend water	Ja
Weerstand tegen impact drijfwood	N.v.t.
Uitbreidbaar	Een ander systeem kan ernaast worden geplaatst
Passeerbaar voor voertuigen	N.v.t.
Onderhoudsvrij	Ja
Levensduur	Geen info
Reparatie mogelijk	Ja
Herbruikbaar	Ja
Kosten	Geen info
Getest	Hogeschool Bremen bij THW in Hoya, TÜV
Gecertificeerd	Nee
Lekverlies	Geen info beschikbaar
Aanpassing aan de ondergrond	ja
Meer info	https://optimal-umwelttechnik.de/hochwasserschutz/quellkade-flutschutz

BESCHRIJVING VAN DE NOODMAATREGEL

De Flutschutz Quellkade is een gesloten ringvormig tubesysteem dat als snelle opkisting bij uit de dijkkern uittredend kwelwater en zandmeevoerende wellen kan worden ingezet.

Figuur C 43 Principewerking van de Flutschutz Quellkade als opkisting bij zandmeevoerende wellen



WAAR KAN HET INGEZET WORDEN?

- Op alle oppervlakken.

AFWEGINGSKADER

- Om snel een opkisting te realiseren.

WAT IS ER NODIG?

- Drukslang met aan beide zijden STORZ-drukkoppeling.

HOE VOER JE HET UIT?

Het systeem wordt eerst via de Storz-koppeling met een blazer met lucht gevuld, dan door twee personen naar de plaats van bestemming gedragen, daar boven de zandmeevoerende wel gepositioneerd en dan gelijktijdig met het vullen met water gecontroleerd ontluicht. Hierdoor wordt gewaarborgd dat geen plooiën ontstaan wat het lekverlies langs de randen zou kunnen vergroten. Als maatregel tegen kwel vanuit de dijkteen en ter voorkoming van zanderosie uit de dijk kern (microinstabiliteit) wordt dus de ene helft van de Flutschutz Quellkade op de berm, de andere helft tegen het talud aan geplaatst, wat echter enige eisen aan de locatie van de wel stelt, qua toegankelijkheid, bermprofiel en taludgeometrie.

Het systeem wordt slechts zo ver met water gevuld dat het zandtransport in de wel tot stilstand komt. Omdat het systeem eerst met lucht wordt gevuld, die dan door water wordt vervangen, blijft het systeem stabiel, maar aan de bovenkant vervormbaar. Door het neerdrukken van een deel van de tube kan water uit de tube worden afgelaten, zodat geen te hoge waterstand en daarmee tegendruk in de opkisting optreedt.

Figuur C 44 Vullen van de Flutschutz-Quellkade met lucht.



Figuur C 45 Positionering van de Flutschutz-Quellkade boven de schadeplek.



Figuur C 46 Vullen van de Flutschutz-Quellkade met water en gelijktijdige ontluchting.



HOE ZIET HET ER UIT?

Figuur C 47 Vullen van een tegen een dijktalud geplaatste Flutschutz Quellkade met water



LET OP! (BELANGRIJKE PRAKTISCHE UITVOERINGSASPECTEN)

- Bij betonnen bestratingsblokken moeten de voegen tussen de blokken worden afgedicht om zanduitspoeling van het onderliggende zandbed te voorkomen.

IS UITBREIDING VAN DEZE NOODMAATREGEL MOGELIJK?

Ernaast kunnen andere Flutschutz Quellkades of opkistingen met zandzakken worden opgebouwd.

MEER WETEN?

<https://optimal-umwelttechnik.de/hochwasserschutz/quellkade-flutschutz>

FACTSHEET

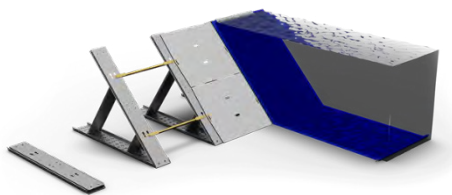
GEODESIGN BARRIER

Producent: Geodesign Barriers (Zweden, VK, VS)

Distributeur: MWK Nederland

Systeemkenmerken

Systeemtype Framesysteem (wandsysteem)
Mobiële, vrijstaande zelfverankerende stalen waterkering uit lichtgewicht componenten



Toepassingsgebied	<ul style="list-style-type: none"> In stedelijk en landelijk gebied, om snel een waterstroom af te leiden van kwetsbare locaties naar minder risicovolle gebieden. Tijdelijke kruinverhoging van dijken. Als kistdammen. Voor bouwlocaties die onder water staan.
Geschikte ondergrond	Oneffen ondergronden en ruw terrein
Systeemhoogte	Module-lengte 92 – 100 cm; 80 – 100 cm; 122cm
Te keren hoogte (beschermingshoogte)	41 – 61 cm; 61 – 121 cm; 122 – 245 cm
Standzekerheid	Ja, ook bij overstroming
Systeemaftmetingen	Module-lengte 92 – 100 cm; 80 – 100 cm; 122cm
Leeggewicht (ongevuld)	Grote bandbreedte i.v.m. grote variatie in beschikbare maten
Hoofdbestanddeel	Hoogwaardig gegalvaniseerd staal, aluminiumlegeringen, PVC-gecoat polyethyleen membraan
Vulmateriaal	N.v.t.
Verankering	Zelfverankerend
Benodigde materialen	Dekzeil; ketting; veerklemmen, kabelbinders (tie wraps); eventueel zandzakken als extra ballast
Opbouwtijd	30 min (voor hoogte 41 cm) per 100 m; 60 - 180 min (voor hoogte 245 cm) per 100 m 5 man 100 m/uur voor systeemhoogte van 100 cm
Moeilijkheidsgraad	Gemiddeld; arbeidsintensief vanwege gewicht
Overstroombaar	Ja
Inzetbaar in stromend water	Ja, kan in het water worden opgebouwd met weinig menskracht
Weerstand tegen impact drijfhout	?
Uitbreidbaar	Ja, ook met andere Geodesign Barrier systemen
Passeerbaar voor voertuigen	Nee
Onderhoudsvrij	Ja
Levensduur	75 jaar
Reparatie mogelijk	Ja
Herbruikbaar	Ja
Kosten	Geen info beschikbaar
Getest	US Army Corps of Engineers, FPH, Waterschap Limburg, UK EA
Gecertificeerd	BSI Kitemark, FM Approved (FM 2510, FM/ANSI 2510), AS/NZS1170.0:2002

Systeemkenmerken

Lekverlies	Geen informatie beschikbaar
Aanpassing aan de ondergrond	Voetsteunen volgen de ondergrond
Meer info	https://geodesignbarriers.com/nl/

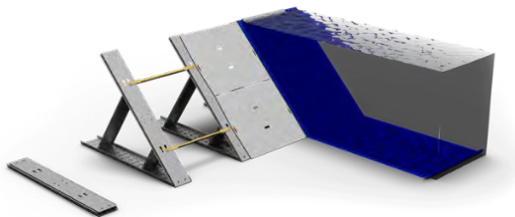
BESCHRIJVING VAN DE NOODMAATREGEL

De GeoDesign Barrier is een zelfverankerende, tijdelijk waterkering die gemaakt is van staal. Het systeem is in meerdere uitvoeringen beschikbaar. Het ontwerp bestaat uit twee metalen steunpilaren op 1 m afstand, waarop een metalen plaat wordt bevestigd. De plaat bedek je met een kunststof membraan dat wordt bevestigd met twee knijpers. Om eventuele onderstroom te voorkomen wordt de voorkant met een ketting verzwaard. Dit ontwerp maakt een snelle installatie mogelijk zonder gereedschap, zwaar materieel of groot team.

WAAR KAN HET INGEZET WORDEN?

- Elementeel model (41 cm, 51 cm of 61 cm) bestaat uit 2 metalen onderdelen, is snel en eenvoudig te plaatsen en is ideaal voor lagere damhoogtes om het afstromende water snel en effectief om te leiden.
- De Heavy Duty-serie is heel veelzijdig. Alle modellen zijn onderling compatibel en kunnen zo worden gecombineerd tot een op maat gemaakte oplossing die geschikt is voor elk terrein.

Figuur C 48 Horizontale verbindingsstangen verbinden de constructiedelen met elkaar en zorgen voor extra versterking.



Figuur C 49 Het systeem kan ook als kistdam worden ingezet bij bouwplaatsen

**AFWEGINGSKADER**

- Het Geodesign Barrier systeem kan oneffenheden in het terrein goed volgen. De stalen elementen zorgen alleen voor de stabiliteit, de waterdichtheid wordt volledig door het zeil bereikt.

WAT IS ER NODIG?

- Voetsteunen
- Zeil
- Stalen ketting
- Knijpers

- Eventueel haringen
- Wandverankeringen

Figuur C 50 De voetsteunen van de Geodesign Barrier zijn voorzien van gaten aan de buitenrand om te kunnen worden gefixeerd met haringen. Er zijn ook voetsteunen zonder buitenrand om direct aan een verticaal element (muur, stoeprand) te kunnen aansluiten. Voor een betere positievastheid zijn deze voorzien van getande uitstulpingen die in de ondergrond grijpen.



Figuur C 51 De systemen zijn in verschillende maten/hoogtes beschikbaar. Waterondoorlatendheid wordt bereikt door een zeil dat met knijpers aan de bovenrand en een metalen ketting op de grond wordt gefixeerd.



HOE VOER JE HET UIT?

Figuur C 52 De Geodesign Barrier kan in twee richtingen worden uitgebreid, waarbij de stalen elementen aan elkaar vastgeklit worden.



Figuur C 53 Kortere afstanden kunnen met verbindingselementen worden overbrugd. Deze beschikken over twee langssleuven die met de contactpunten van de andere elementen worden gekoppeld en een variabele overlappingslengte mogelijk maken.



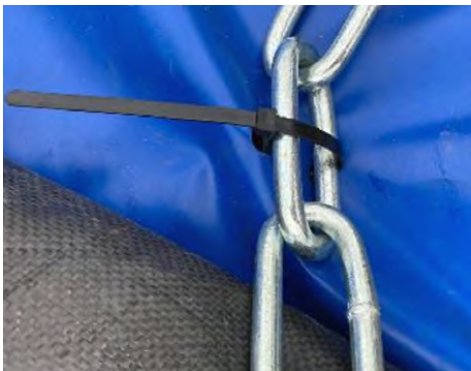
Figuur C 54 Voor de waterdichtheid van het systeem zorgt een stevig dekzeil. Dit wordt over de constructie heengelegd en steekt aan de waterzijde ca. 1 m uit. Aan de bovenkant wordt het zeil met knijpers gefixeerd.



Figuur C 55 Een zware ketting zorgt voor meer stabiliteit, ook tegen wind, en werkt onderloopsheid tegen.



Figuur C 56 De ketting wordt aan het zeil met behulp van herbruikbare kabelbinders (tie-wraps) gefixeerd.



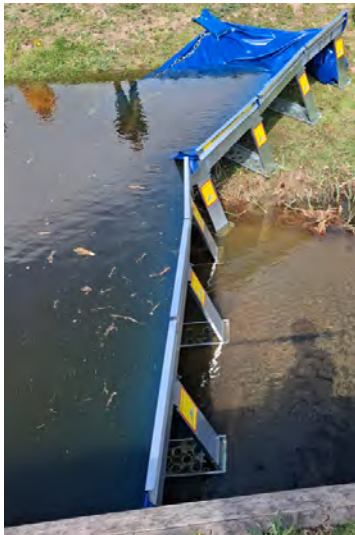
Figuur C 57 Aansluiting aan verticale constructies zoals muren met metalen platen.



Figuur C 58 Opbouw van een Geodesign Barrier in het water.



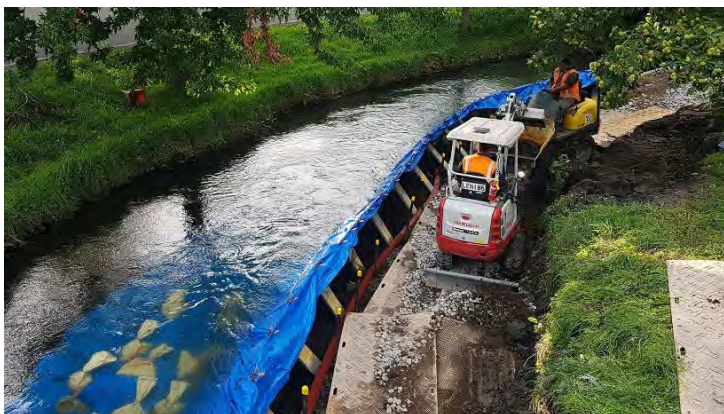
Figuur C 59 Opstuw van water met een Geodesign Barrier tot aan overloop.



Figuur C 60 inzet van een Geodesign Barrier in stedelijk gebied langs het oever.



Figuur C 61 Inzet van Geodesign Barrier als tijdelijke waterkering voor graafwerkzaamheden langs het oever.



Figuur C 62 Geodesign Barrier als afdamming van een beek.



LET OP! (BELANGRIJKE PRAKTISCHE UITVOERINGSASPECTEN)

- De Geodesign Barrier werkt heel goed, maar is relatief zwaar waardoor de plaatsing heel arbeidsintensief is.
- Geodesign Barrier is een stijf systeem. Als de 4 steunpunten niet volledig op de grond rusten, kan het systeem niet goed tegen drijfvuilaanval. Elementen kunnen verplaatsen waardoor het systeem kan bezwijken als de folie loskomt.

IS UITBREIDING VAN DEZE NOODMAATREGEL MOGELIJK?

- Ja, eenvoudig te verlengen en aan andere mobiele keringen te plaatsen zolang het zeil voor de afdichting overlapt met het andere systeem.

MEER WETEN?

Meer informatie kunt u vinden op de website van <https://geodesignbarriers.com/nl/>

GECERTIFICEERD:

Geodesign Barriers waren de eerste vrijstaande mobiele waterkeringen die de BSI Kitemark-certificering behaalden (mei 2003).

Deze certificering bevestigt onafhankelijke testen op:

- Structurele sterkte
- Veiligheid
- Duurzaamheid

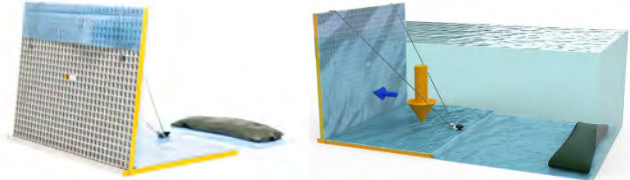
Geodesign heeft meerdere FMgoedgekeurde modellen, waaronder:

- Industrial P24, P32, P40, P48
- Heavy Duty C48, C60, C72, C84, C96

FACTSHEET

HAAWAL

Producent/Distributeur: Haawal Engineering AS, Noorwegen

Systeemkenmerken	
Systeemtype	Zelfstabiliserend damstelsel van vrijstaande modules (wandsysteem)
	
Toepassingsgebied	<ul style="list-style-type: none"> • Watergeleiding • Objectbescherming • Afdammen sloot of beek
Geschikte ondergrond	Bestrating, grond, gras, grind en hellingen zonder dat er een vaste fundering nodig is. Losse elementen kunnen op alle soorten terrein worden geplaatst, niet op boomwortels. Waterdichtheid komt alleen door de dunne folie.
Systeemhoogte	HxL = 90x124 cm of 120x94 cm per module.
Te keren hoogte (beschermingshoogte)	90 c.q. 120 cm
Standzekerheid	Tot overstroming; niet getest bij botsing met drijfhout
Systeemafmetingen	HxL = 90x124 cm of 120x94 cm per module.
Leeggewicht (ongevuld)	16,5 kg per paneel (2 panelen per module) + 45-75 kg (3 zandzakken, afhankelijk van vulling)
Hoofdbestanddeel	Rooster van 14-laags glasvezelversterkte onverzadigde polyesterhars, PE-membraan, steunkabel van roestvrij staal
Vulmateriaal	-
Verankerings	Geen; interne verankerings en zelf-fundering door gewicht te keren water
Benodigde materialen	Zandzakken, folie en verankeringsdraden, ducttape (sterk, waterdicht textielplakband)
Opbouwtijd	Leverancier geeft aan: 100 m per uur door 2 personen. Dit lijkt niet reëel. Bij oefening Marnewaard waren er 7 personen meer dan 10 minuten bezig om 20 m aan te leggen en met spandraden te voorzien zonder dat de folie werd geplaatst en zandzakken werden gelegd. Inclusief het plaatsen van de folie en leggen van zandzakken lijken 5-7 uur /100m voor 2 personen realistischer.
Moeilijkheidsgraad	Gemiddeld; meerdere handelingen nodig, elk element en zandzakken worden handmatig getransporteerd en geplaatst, in het bijzonder het plaatsen van de interne verankerings en het fixeren van de folie met zandzakken kosten tijd. De panelen hebben een draaggreep en kunnen door één persoon worden gedragen.
Overstroombaar	Ja
Inzetbaar in stromend water	Opbouw alleen bij niet te sterke stroming omdat folie dan niet goed te ontvouwen is
Weerstand tegen impact drijfhout	Nee, niet aangetoond; stijf systeem
Uitbreidbaar	Ja
Passeerbaar voor voertuigen	Nee
Onderhoudsvrij	Ja
Levensduur	Geen info
Reparatie mogelijk	Nee
Herbruikbaar	Alleen de panelen en de verankeringsdraden
Kosten	€348 per m of €448 per m
Getest	Oefening Wolkbreuk, toegepast bij echte hoogwaters
Gecertificeerd	Nee

Systeemkenmerken

Lekverlies	Geen info beschikbaar
Aanpassing aan de ondergrond	Nee, stijf systeem
Meer info	https://www.haawal.com

BESCHRIJVING VAN DE NOODMAATREGEL

De Haawal-waterkering heeft een L-vormig profiel met een rechtopstaand wandpaneel en een horizontaal basispaneel, die wordt versterkt door een steundraad. Het is een combinatie van vrijstaande modules en een folie, wat voor een betrouwbare afdichting ook op oneffen terrein zorgt.

Naarmate het water stijgt en meer tegen de waterkering drukt, wordt de kracht die op de basisplaat wordt uitgeoefend veel groter dan de kracht op de verticale wand. Dit zorgt voor een zelfstabiliserend effect dat de waterkering hoge stabiliteit geeft tijdens hoogwater.

WAAR KAN HET INGEZET WORDEN?

Figuur A.1 Typische toepassingen Haawal: a) langs een hoogwatervoerende rivieroever, b) over de over een hobbelig terrein met verschillende ondergronden, hier ter afdamming van een beek.

**AFWEGINGSKADER**

- Als er snel een extra waterkerende hoogte moet worden gerealiseerd.
- Met name inzet bij weinig kans op impact van drijvende objecten.

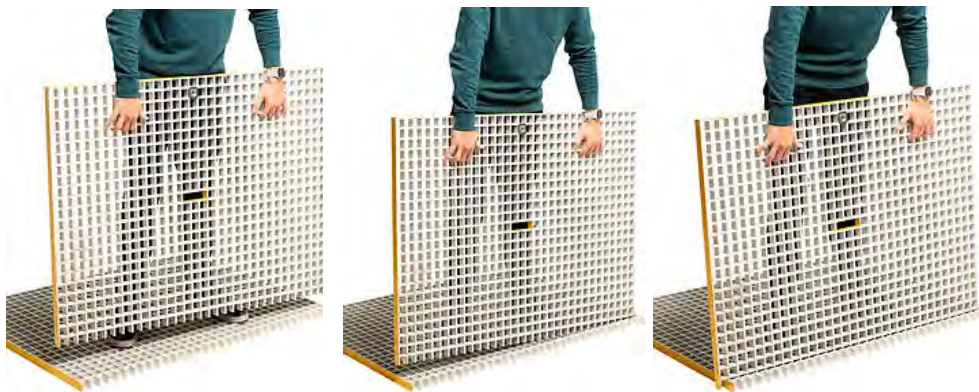
WAT IS ER NODIG?

Panelen, steundraad, PE-membraan, zandzakken als ballast voor de membraan, ducttape (sterk, waterdicht textielplakband) om folies aan elkaar te plakken en om eventuele scheuren af te dichten.

HOE VOER JE HET UIT?

- Eerst worden roosters als basispanelen langs het gewenste tracé van de noodkering geplaatst. De roosters zijn allemaal identiek en kunnen dus zowel als basispanelen als ook als verticale panelen worden toegepast. De roosters moeten zo dicht mogelijk bij elkaar worden gelegd. Er moet echter wel een opening van minimaal 5 mm aanwezig zijn, zodat de wand kan worden geplaatst.

Figuur C 63 De roosterplaten voor de wanden worden aan de bodemplaat bevestigd door de verbindingsspennen van de wandplaat in de rij vierkante gaten te steken die het dichtst bij de verbindingsspennen van de bodemplaat liggen.



- De modules kunnen in hoeken worden geplaatst om bochten en hoeken te vormen en zo worden gepositioneerd dat obstakels worden omzeild.
- Uitrollen van het membraan over de vloerpanelen, zo dicht mogelijk bij de wandpanelen.
- Open het membraan en vouw het over de wand. Het is belangrijk dat het membraan zowel op de ondergrond als op de wand kan aansluiten.
- De membranen worden geleverd op rollen van 25 meter lang. Dat betekent dat bij een waterkering die langer is dan 25 meter, meerdere membranen met elkaar moeten worden verbonden. Hiervoor worden de membranen minimaal 1 meter overlappend gelegd en wordt de naad vervolgens afgeplakt met ducttape. Als er stroming is, moet de overlapping in de richting van de stroming liggen.
- De lengte van het folie aan de voorkant van de module is variabel: korter wanneer de ruimte beperkt is of de grond heel vlak is, langer op oneffen terrein waar een betere afdichting en stabiliteit nog noodzakelijker zijn (max. 250 cm). De onderloopsheid van de Haawalkering hangt af van de kwaliteit van de aansluiting van de folie met de ondergrond. Bij een goed contact zonder plooiën en luchtinsluitingen en een afdekking van een bredere strook wordt de onderloopsheid sterk verminderd. Bij een sterk doorlatende ondergrond, bijv. graszode, is daarom beter de folie aan de waterkerende kant breder uit te vouwen.
- De steundraad wordt bevestigd door eerst de bout van de handgreep door het membraan in het zwarte/oranje bevestigingspunt te drukken. Vervolgens wordt de handgreep gedraaid om de bout vast te zetten, waardoor ook het gat dat door het doorboren van het membraan is ontstaan, wordt afgedicht.
- De snelkoppelingen (kleine platen met haakjes) worden vervolgens aan de achterkant van de wand in de roosteropeningen bevestigd (maximaal 15 cm vanaf de rand). De snelkoppelingen moeten zo worden aangebracht dat de draad licht gespannen staat.
- Leg een rij zandzakken op de voorkant van het membraan om ervoor te zorgen dat het membraan een dichte aansluiting vormt met de grond. De zandzakken moeten zonder tussenruimtes worden geplaatst.

Figuur A.2 Installatievolgorde van het Haawal-systeem.



Om bochten of hoeken te creëren, moeten er voegen van meer dan 10 cm tussen de elementen worden vrijgelaten of de basispanelen van de modules moeten elkaar iets overlappen (Figuur A.9). bij deze voegen is de folie dan het enige waterkerende element!

Figuur A.3 Groepering van panelen in een lichte bochtvorm.



HOE ZIET HET ER UIT?

Figuur A.4 Een Haawal-barriere met de folie ca. 2 m naar de waterkant uitgetrokken en met zandzakken geballast om onderloopsheid te voorkomen.



Figuur A.5 Extra bescherming tegen schokbelasting en beschadiging van de panelen en de folie door drijfvuil door middel van een zeildoek. Het zeil wordt met behulp van karabijnhaken met de verankering van de steundraden verbonden. De correcte werking hiervan is echter nog niet aangetoond.



Figuur A.6 Aanleg van een Haawal-barrière in een beek om deze af te dammen.



Figuur A.7 De Haawaldam is overstroombaar.



Figuur A.8 Gecombineerde toepassing van een Haawal-systeem met een Geodesign Barrier.



LET OP! (BELANGRIJKE PRAKTISCHE UITVOERINGSASPECTEN)

- Voor de opbouw in het veld is een wiellader nodig voor transport van de pallets met modulen naar te bouwlocatie.
- Bij harde wind tijdens de montage wordt aanbevolen om het uitrollen van het membraan en het fixeren met steundraad module voor module uit te voeren.
- De opbouwtijd wordt door de producent aangegeven met 1 uur / 100 m door 2 à 4 personen. Dat lijkt echter niet realistisch en haalbaar gezien alles wat er moet gebeuren. De roosters worden immers individueel vanuit de pallets naar hun plaats van bestemming gedragen. Er moeten ook ca. 300 zandzakken worden gevuld, doorgegeven en geplaatst. Zelfs met een wiellader voor het transport van pallets naar de plaats van bestemming voor opbouw lijkt dit niet te doen.

- Let bij de opbouw erop dat de oranje markering naar boven wijst, omdat de spandraden alleen in deze positie kunnen worden vastgeschroefd.

Figuur C 64 Oranje markering moet op het bodempaneel naar boven wijzen.



- De roosters zijn zeer stijf en hebben te weinig massa om de energie van een aanvaring met grotere stukken drijvend materiaal te kunnen opvangen. Bovendien bestaat het risico dat drijfwoodt in een van de vele spandraden blijft hangen en de verankering lostrekt of de folie laat scheuren.
- De relatief dunne folie wordt over de randen en hoeken van de roosters gelegd. Met toenemende waterdruk wordt de folie sterk tegen de randen en hoeken van het rooster aangedrukt. De folie is daardoor gevoelig voor scheurvorming. Als de afzonderlijke elementen bij een stijgende waterstand tegen elkaar bewegen, kan de folie aan de hoeken en randen en bij de bevestigingspunten van de kabels openscheuren en tot een defect van het systeem leiden. In de oefening in de Marnewaard bleek dat de scheur niet verder openscheurt en dat de scheur met ducttape kan worden dichtgeplakt of dat de scheur aan de binnenkant met een extra stuk folie dat tegen de scheur wordt geplaatst kan worden afgedicht zodat er minder water doorheen komt.
- Als de modules niet op een effen ondergrond dicht naast elkaar staan, moet de folie de waterdruk over een afstand tot 20 cm alleen opnemen en staat onder spanning.
- De folie is heel dun en transparant en daardoor zeer gevoelig voor beschadiging door vandalisme.

Figuur C 65 De folie is transparant.



Als de folie tussen twee elementen wordt doorgesneden is reparatie ook bij hoogwater nog steeds mogelijk. De folie lijkt niet verder open te scheuren.

Figuur C 66 Om de scheur af te dichten wordt een stuk folie aan de waterzijde tegen de twee verticale panelen geplaatst, wat tot een sterke reductie van de lekkage leidt. De folie wordt met een zandzak tegen de binnenkant van de L-vormige module aan gefixeerd. De lekkage komt bijna volledig tot stilstand.



De folie moet na elk gebruik worden weggegooid en opnieuw worden aangeschaft, dit is niet duurzaam.

IS UITBREIDING VAN DEZE NOODMAATREGEL MOGELIJK?

In lengterichting onbeperkt uitbreidbaar. Door overlap van het membraan met andere keringssystemen is een goede waterdichte aansluiting te realiseren. Niet qua hoogte uitbreidbaar

MEER WETEN?

Meer informatie kunt u vinden op de website van <https://www.haawal.com>

FACTSHEET

HYDROBAFFLE

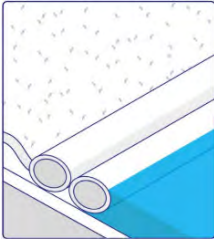
Producent: Hochwasserschutz Agentur, Saalburgallee 39, 60385 Frankfurt am Main

Systeemkenmerken	
Systeemtype	Tubesysteem (vulcontainer)
	
Toepassingsgebied	<ul style="list-style-type: none"> • Arealbeschermering • Objectbeschermering • Dijkversterking • Waterafleiding • Retentiebekken
Geschikte ondergrond	Gras, landbouwgrond, zandige grond, moeras, rivierbed, binnenstedelijk op asfalt en beton Over stoepanden, tegels
Systeemhoogte	0,92 m
Te keren hoogte (bescheringshoogte)	0,69 m
Standzekerheid	Tot beschermingshoogte 0,69 m
Systeemafmetingen	8 verschillende maten beschikbaar: H tot 2,44 m, B tot 5,5 m Getest: HxB = 0,92 x 2,7 m, L = 3,0 – 32,0 m
Leeggewicht (ongevuld)	8 kg/m
Hoofdbestanddeel	PVC-gecoat polyestermembraan
Vulmateriaal	Water
Verankering	Nee
Benodigde materialen	Storz-Koppeling waterpomp, slangen
Opbouwtijd	40 min/15m met 2 personen
Moeilijkheidsgraad	Gemiddeld
Overstroombaar	Nee
Inzetbaar in stromend water	Ja
Weerstand tegen impact drijfthout	?
Vorstgevoelig	Ja
Uitbreidbaar	Ja
Passeerbaar voor voertuigen	Eventueel zolang deze nog niet gevuld is
Onderhoudsvrij	Resistent tegen zout water
Levensduur	20 jaar
Reparatie mogelijk	?
Herbruikbaar	Ja
Kosten	Systeemmaat x 100, dus systeemtype 3: 300€/m
Getest	HS Bremen
Gecertificeerd	Nee
Lekverlies	25 l/h/m bij 0.60 m opstuwing
Aanpassing aan de ondergrond	Zeer goed
Meer info	https://www.hochwasserschutz-agentur.de/en/

Factsheet Mobildeich / Mobiele Dijken

Producent/Distributeur: Mobildeich GmbH; Mobiele Dijken Nederland B.V.

Korte beschrijving: Gesloten, met water gevulde buizensysteem, bijeengehouden als een pakking uit twee tot drie buizen met netbekleding en afdichtend dekzeil.

Systeemkenmerken	
Systeemtype	Tubesysteem (vulcontainersysteem)
	
Toepassingsgebied	Mobiele hoogwatersbescherming, objectbescherming, watergeleiding, waterberging
Geschikte ondergrond	Alle harde en zachte ondergronden: <ul style="list-style-type: none"> • ijs, sneeuw, trappen, stoepen • Asphalt, beton, grind, breuksteen, straatstenen, waterbouwstenen, gras, modder • In het water
Systeemhoogte	<ul style="list-style-type: none"> • 0,45 m – 2,60 m • 3,50 m (voor bouwplaatsen)
Te keren hoogte (beschermingshoogte)	0,45 – 2,6 m (beschermingshoogte = systeemhoogte!) Voor objectbeschermingsdoeleinden ook tot 2,8 m
Standzekerheid	Ja, ook bij overstroming, botsing met drijfvuil, aanstroming
Systeemaafmetingen	H = 0,45 – 1,5 m (2,6 m); B = 0,45 – 1,5 m (2,6 m); L = 10,0 – 50,0 m Voor bouwplaatsen bestaan ook een versie tot 3,5 m
Leeggewicht (ongevuld)	5 – 56 kg/m; 100 m = 3 modules = 1600 kg
Hoofdbestanddeel	Slangen van PVC-gecoat polyesterweefsel
Vulmateriaal	Water
Verankering	Geen
Benodigde materialen	Pompen, slangen, Y-stuk
Opbouwtijd	80 min / 100 m (3 modules) bij een hoogte van 100 cm door 2 personen
Moeilijkheidsgraad	Gemiddeld, kan zonder zwaar materieel worden geïnstalleerd, transport en afrollen vanuit een haspel; snel inzetbaar, eenvoudig in gebruik en weinig opbouwstappen, daarmee weinig menskracht nodig.
Overstroombaar	Ja (VdS-approved Klasse B)
Inzetbaar in stromend water	Ja, kan in stromend water worden geplaatst door directe vulling; VdS getest op aanstromen (VdS-approved Klasse B)
Weerstand tegen impact drijfhout	Ja, getest (VdS-approved klasse B)
Vorstgevoelig	Nee
Uitbreidbaar	Ja, ook in hoogte met elementen van 25 cm hoogte
Passeerbaar voor voertuigen	Ja, zelfs bij 10 cm vulling. Het is echter beter een doorgang open te laten en dan bij het optreden van het hoogwater met een module te sluiten.
Onderhoudsvrij	Ja
Levensduur	> 25 jaar
Reparatie mogelijk	Ja, ook tijdens gebruik kunnen scheuren met houten wiggen worden afgedicht
Herbruikbaar	Ja (100 keer op- en afgebouwd)
Kosten	€550/m bij 45 cm hoogte; €840/m bij 100 cm hoogte. Er ontstaan geen kosten voor zandzakken. Haspel (voor alle modules geschikt) kost €19.100.
Getest	HS Bremen bij THW, TU Hamburg Hamburg (KLIFF)
Gecertificeerd	VdS gecertificeerd

Systeemkenmerken	
Lekverlies	20,3 l/h/m (Klasse B volgens VdS-3855 voor indirecte objectbeveiliging, duur 24 uur) (HS Bremen 120 l/h/m bij 0,60 m opstuwning 19,5 uur)
Aanpassing aan de ondergrond	Past zich zeer goed aan alle ondergronden aan
Meer info	www.mobildeich.de www.mobieledijken.nl

BESCHRIJVING VAN DE NOODMAATREGEL

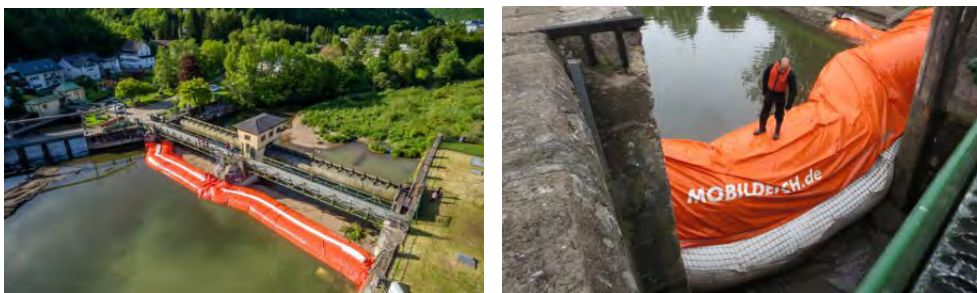
De Mobildeich (in Nederland ook bekend onder de naam Mobiele Dijk) is een flexibel inzetbare waterkering, die in de kleine variant (geschikt voor waterhoogtes van max. 60 cm) zonder zwaar materieel kan worden geïnstalleerd. Maar deze is ook uitbreidbaar en je hebt ook een versie die tot 3,0 m water kan keren.

Het systeem bestaat uit een combinatie van slangen (meerkamerslang van PVC-gecoat polyesterweefsel) die via een soort brandweerslang gevuld worden met water. Om elke slang zit een netomhulling, die door de waterdruk in de slangen wordt voorgespannen. Deze zorgt ervoor dat de kering op bijna elk type ondergrond zichzelf vastzet zodat het systeem niet gaat schuiven. Een meervoudig met weefsel versterkt afdichtingszeil wordt over de kering heen geplaatst en doorgezet aan de waterzijde op de grond als een schort geplaatst. In de zoom van beide zeilranden is ter verzwaring een stalen ketting aangebracht en aan de onderkant stevig bevestigd met een doorlopende klittenbandsluiting. Deze zorgt voor extra stabiliteit en gaat onderloopsheid tegen. Hierdoor kan de kering 100% van zijn eigen hoogte keren. Daarom zijn geen zandzakken voor verzwaring en afdichting nodig. Het systeem is bovendien bestand tegen vorst, ijs en storm.

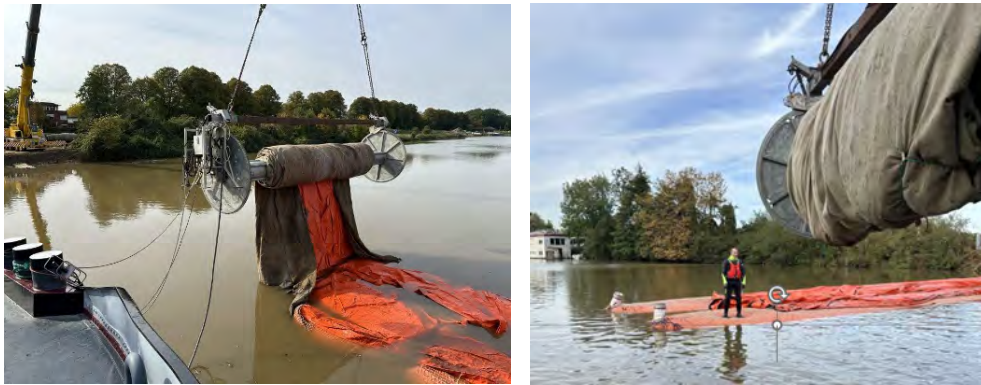
WAAR KAN HET INGEZET WORDEN?

- Ook inzetbaar om water als gevolg van extreme neerslag weg te leiden.
- In de waterbouw voor het drooghouden van bouwplaatsen.
- Als tweede beveiligingslijn achter de dijk. Mobieldijk (drie-buizen-systeem) voor kerende hoogte van 2,1 m (2,6 m hoogte). Alle drie buizen binnen de nethoes, dit systeem is niet overstroombaar.
- Inzetbaar op alle soorten ondergrond. De met water gevulde slangen passen zich aan de ondergrond aan en zakken ook op zachte bodems niet weg, omdat ze een gelijkmatige druk uitoefenen.
- Er zijn ook types Mobildeich met een stuwhoogte tot 3,50 m beschikbaar voor het drooghouden van waterbouwkundige bouwplaatsen. Hier is echter meer personeel voor nodig.
- Bij toepassing op slib moet met extra kerende hoogte worden rekening gehouden omdat deze Mobildeich daar wél inzakt.

Figuur C 67 Inzet van een Mobildeich voor het drooghouden van waterbouwkundige bouwplaatsen.



Figuur C 68 Plaatsen van een Mobildeich van een oever naar het andere.



Figuur C 69 Mogelijke toepassing van een Mobildeich als tweede (parallele) kering achter een dijk.



AFWEGINGSKADER

- Systemhoogte is ook te keren waterhoogte, dit vormt een gunstige uitzondering voor met water gevulde systemen.
- Stabiel ook bij overstroming.
- Kan ingezet worden als tweede kering of noodkering bij dreigend falen van de dijk.
- Je kan over de kering heen lopen, waardoor hij bij een bredere diameter ook geschikt zou zijn voor evacuatie.

WAT IS ER NODIG?

Pompen, slangen, Y-stuk, water

HOE VOER JE HET UIT?

- Geen voorbereiding van de ondergrond nodig.
- Op- en afbouw van het systeem met 2-6 personen met voor alle terreinen geschikte handkarren en haspelwielen. Twee slangen in het net en een afdekzeil incl. stalen kettingen zijn op een rol klaar om vanaf een as te worden uitgerold. Met behulp van een uitrolhulp kunnen slechts 1-4 personen de modules in 3 minuten uitrollen – tot 33 m op één module. Geen aanvullende onderdelen nodig.
- Directe watervulling vanaf de module-rol (haspel), zelfs bij storm- en orkaanwinden mogelijk - aanvullend met stalen platen op het zeil.
- Een module met een lengte tot 33 m kan in 3 minuten door 2 personen worden uitgerold.
- Met elk module kunnen bochten tot 90 graden worden gerealiseerd.

Figuur C 70 De Mobildeich kan in stilstaand en stromend water worden geplaatst door directe vulling.



- De pomp wordt aangesloten op de eerste module en het vullen wordt gestart. Vanaf dat moment blijft de pomp ononderbroken draaien terwijl de volgende modules worden uitgerold. Verdere modules worden aangesloten op reeds gelegde modules, waarbij alleen de koppelingen met elkaar worden verbonden. Geen verplaatsing van de pomp nodig, alle aan elkaar gekoppelde modules kunnen met één pomp worden gevuld.

Voordelen:

- Niemand komt gedurende langere tijd in contact met mogelijk gecontamineerd vulwater. Het nadeel van open containersystemen of tonnen is dat de helper urenlang de vulslang in de ton moet houden.
- Een lange tubedam wordt vanuit slechts één pomplocatie gevuld.
- Een continu werkende pomp zorgt voor optimale vultijden.
- Op de verbindingpunten van de modules worden de netten met touwen aan elkaar vastgemaakt en worden de afdichtingszeilen met klittenband aan elkaar bevestigd.

Figuur C 71 Stabiele verbinding van de modules met Storz-slangkoppeling. Hierdoor doorlopende vulling van de gekoppelde modules met water vanuit maar één vulopening. Dit heeft het voordeel dat bij een mogelijke lekkage a.g.v. beschadiging van de tube water vanuit een punt in het hele systeem kan worden gepompt. De aansluitstukken verdwijnen volledig in de verbonden nethoes wanneer de modules gevuld zijn. Hierdoor werkt het systeem als een doorlopende kering.



- Het netomhulsel omhult de slangen en wordt door de waterdruk in de slangen voorgespannen. Het zakt met zijn knopen in de grond of sneeuw. Hierdoor worden de externe krachten, zoals de waterdruk en de impact van drijfvuil, in de grond geleid.

Figuur C 72 Het zakt met zijn knopen in de grond, waardoor externe horizontale krachten in de grond worden geleid.



- Het afdichtingszeil ligt altijd al klaar op de module om aan de waterzijde naar voren te trekken (ca. 1 m). Het is niet nodig om voor het uitrollen van de Mobildeich al de oriëntatie met betrekking tot de waterzijde in acht te nemen. Beide kanten zijn immers gelijk.
- Door het voor de tubes liggende robuuste dekzeil heeft het systeem een tamelijk laag lekkagedebiet.
- Door het opnieuw oprollen na gebruik blijft er nauwelijks restwater achter in de modules. Door het strak oprollen via de haspel wordt het vulwater bijna volledig vooruitgeschoven en daarbij uit de beide slangen gedrukt.
- Alleen van buiten met water af te spoelen. Reinigen van binnen is niet nodig.

HOE ZIET HET ER UIT?

Figuur C 73 Testen van een Mobildeich bij Flood Proof Holland.



LET OP! (BELANGRIJKE PRAKTISCHE UITVOERINGSASPECTEN)

- Bij storm bij het afrollen van de haspel de folie met stalen platen belasten, stapsgewijs 3 m afrollen en direct met water vullen.
- Kleine gaten in de Mobildeich kunnen met een heteluchtapparaat worden gesloten.
- Goede afdichting bij wanden en muren door speciale wandverbindingen (magnetisch bij damwanden of met klemprofielen die worden vastgeschroefd aan de muur).

Figuur C 74 Voorbeelden van wandaansluitingen.

- Relatief goed bestendig tegen vandalisme. Noodreparatie: Een opening in de slang kan tijdens de inzet al worden afgedicht met houten wiggen die tussen slang en net worden geklemd. Hierdoor wordt het verlies aan water kleiner. Omdat de modules aan elkaar gekoppeld zijn kan water eenvoudig met een pomp worden bijgevuld.

Figuur C 75 Noodreparatie van een scheur in de tube door middel van houten wiggen die onder het net worden geklemd.

- Geen kleine onderdelen, die verloren gaan of weggehaald kunnen worden, waardoor het systeem ook weinig vandalismegevoelig is.
- Lekken in het systeem als gevolg van beschadiging kunnen door het bijvullen van het water in de tube vanuit een pompaansluiting worden bijgevuld.
- Zelfs bij een hoge te keren waterstand treedt geen abrupt falen op.

IS UITBREIDING VAN DEZE NOODMAATREGEL MOGELIJK?

- Mobiele Dijken kunnen tijdens gebruik met 25% worden verhoogd, waarbij het water bij nauwelijks verminderde veiligheid tot 125% van de oorspronkelijke dijkhoogte mag stijgen. Dit kan met een derde slang of, indien nodig, ook met bielzen, planken, buizen of zandzakken of andere lichte voorwerpen die op de slang aan de landzijde onder het dekzeil worden gelegd en indien mogelijk aan de nethoes bevestigd. Het teruggeslagen afdekzeil zorgt dan voor de waterdichtheid.

Figuur C 76 Verhogen van het systeem met zandzakken en bielzen.



- Combineren mogelijk van verschillende dijkhoogtes van 45 cm en 2,50 m en modulelengtes van 5 m tot 33 m.

MEER WETEN?

Meer informatie kunt u vinden op de website van:

www.mobildeich.de

www.mobielelijken.nl

CERTIFICERING

Getest aan het Instituut voor Onderzoek naar Klimaat effecten (KLIFF) van de TU Hamburg-Harburg (TUHH) (100 opbouwcycli met 2,5 m lange modules zonder functieverlies) en gecertificeerd door VdS (VdS Approval na 3855 van de VdS-Schadenverhütung Gesellschaft) op overstroming, impact botsing van drijfhout (45° en 90°), aanstromen en hydrostatische belasting (lekverloopsnelheid): Klasse B.

Toelichting: volgens VdS-3855 worden hoogwaterbeschermingssysteem voor elke prestatie-eigenschap ingedeeld in 3 klassen van A tot C. Klasse A is daarbij de laagste klasse voor de betreffende prestatie-eigenschap en klasse C is de hoogste klasse voor de betreffende prestatie-eigenschap. Een hoogwaterbeschermingssysteem die volgens VdS-3855 wordt getest, moet ten minste de prestatie-eigenschap van de hydrostatische belasting volgens de klassen A, B of C aantonen.

Figuur C 77 Testen op overstroombaarheid en op langsstroming (45° en 90°)



Figuur C 78 Impact van drijfvuil volgens BWK Informatieblad 6 (50m lange biels van 400 kg wordt in een hoek van 70° over de mobiele kering getrokken)



FACTSHEET

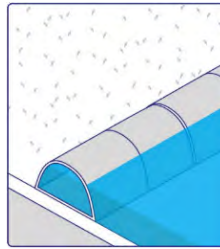
TUBEBARRIER

Producent: TubeBarrier.com

Distributeur: Dutch Water Prevention

Systeemkenmerken

Systeemtype Zelfvullend tubesysteem (vulcontainer)



Toepassingsgebied	<ul style="list-style-type: none"> Bij overslag Water keren in stedelijk gebied
Geschikte ondergrond	Asfalt, beton en bestrating, maar ook verdichte grond, gras en grind.
Systeemhoogte	70 cm c.q. 100 cm
Te keren hoogte (beschermingshoogte)	(Ontwerppeil 70 cm model): 50 cm waterhoogte; extra 20 cm als marge voor opvangen van kortstondige pieken en golfslag.
Standzekerheid	Tot overstromen
Systeemafmetingen	<ul style="list-style-type: none"> H = 70 cm, B = 1,6 m, voorflap 1,3 m, L = 10 m; H = 100 cm, B = 2,2 m, voorflap 1,8 m, L = 10 m;
Leeggewicht (ongevuld)	7,5 kg/m of 11 kg/m
Hoofdbestanddeel	PVC-gecoat doek, verzinkte stalen platen
Vulmateriaal	Water, dat zodra het gekeerd moet worden door zijdelijngse openingen in de TubeBarrier stroomt.
Verankering	<ul style="list-style-type: none"> Met haringen en ankerplaten in zachte grond Met bouten en ankerplaten in harde grond
Benodigde materialen	Handgereedschap
Opbouwtijd	50 min per 100 m (4 personen)
Moeilijkheidsgraad	Gemiddeld
Overstroombaar	Ja
Inzetbaar in stromend water	Ja
Uitbreidbaar	Alleen in lengte
Passeerbaar voor voertuigen	Nee
Onderhoudsvrij	Ja
Levensduur	Systeem > 20 jaar, kerncomponenten ≥ 15 jaar; ankers ~ 25 jaar.
Reparatie mogelijk	Kleine beschadigingen zijn te plakken
Herbruikbaar	Ja
Kosten	€3.750 per 100 m, inclusief de herbruikbare modules
Getest	Flood Proof Holland, op beton en gras; gecontroleerd overstroomen zonder structureel falen. Toetskader protocollen van het National Flood Barrier Testing and Certification Program (NFBTCP/USACE), gecombineerd met 24-uurs waterstandproeven. Er is getest op beton én op gras, zodat ook het effect van de geïntegreerde drainage zichtbaar wordt.
Gecertificeerd	Nee
Lekverlies	200-250 l/h/m

Systeemkenmerken

Aanpassing aan de ondergrond	Vangt kleine hoogteverschillen op, kan bochten volgen
Meer info	https://tubebarrier.com/nl/

BESCHRIJVING VAN DE NOODMAATREGEL

De TubeBarrier bestaat uit een flexibele buis van versterkt PVC-gecoat geotextiel, die als een harmonica kan worden opgevouwen. Zij dient goed in de grond verankerd te worden om water van verschillende hoogte te kunnen keren. Door de kleine openingen in het zeil aan de voorkant vult de TubeBarrier zichzelf automatisch met het opkomende water om het water te kunnen keren. Daardoor krijgt de barrière het nodige gewicht en de kracht om het water tegen te kunnen houden.

Het systeem werkt als een harmonica. De tube is bij elkaar gedrukt op het moment dat je hem niet nodig hebt, waardoor hij makkelijk op te bergen en te vervoeren is. De TubeBarrier wordt uit elkaar getrokken. De verschillende stukken worden door middel van een rits aan elkaar bevestigd.

Hierdoor kunnen in korte tijd snel grote lengtes worden gecreëerd:

- Het systeem bestaat uit een modulair systeem.
- Het kan op alle ondergronden worden geplaatst om water te keren.
- Er is geen elektriciteit of pomp nodig om het systeem op te zetten.
- Lengte kan worden aangepast.
- Verschillende compartimenten kunnen door middel van waterdichte ritsen met beschermflappen aan elkaar worden gekoppeld.
- De waterkering kan ook overstromen.

WAAR KAN HET INGEZET WORDEN?

Als mobiele kering in woonwijken, langs wegen, voor tunnels, op bedrijventerreinen, in recreatiegebieden.

AFWEGINGSKADER

...

WAT IS ER NODIG?

Geen gereedschap of pompen nodig.

HOE VOER JE HET UIT?

- Ondergrond voorbereiden: verwijder stenen, takken, scherpe objecten en vuil; egaliseer waar nodig voor een kierdichte aansluiting.
- Uitrollen: Vouw modules als een harmonica uit, leg de 10-meter sectie recht langs de waterlijn en controleer de ligging.
- Koppelen: verbind secties met YKK-rits en klittenband voor een lekdichte verbinding.
- Oriëntatie: richt de inlaatflappen naar de waterzijde voor automatische vulling.
- Afdichten: Plaats grondankers langs de voorflap.
- Vullen: laat de barrière zichzelf vullen.
- Verankeren: bij wind of stroming extra verankeren met pennen of ballast.

Figuur C 79 De TubeBarrier wordt voor opslag in een compacte vorm samengevouwen.



Figuur C 80 Doordat modules gekoppeld worden, ontstaat één aan elkaar geschakeld beschermend oppervlak. Overlapflappen en de vorm van de kering zullen kwel langs naden en kleine oneffenheden beperken.



Figuur C 81 Onder de TubeBarrier zijn geperforeerde slangen als drainagebuisjes aangebracht om water en lucht onder de kering naar de droge zijde weg te leiden. Deze kunnen bij het verplaatsen van de TubeBarrier onopzettelijk worden uitgetrokken.

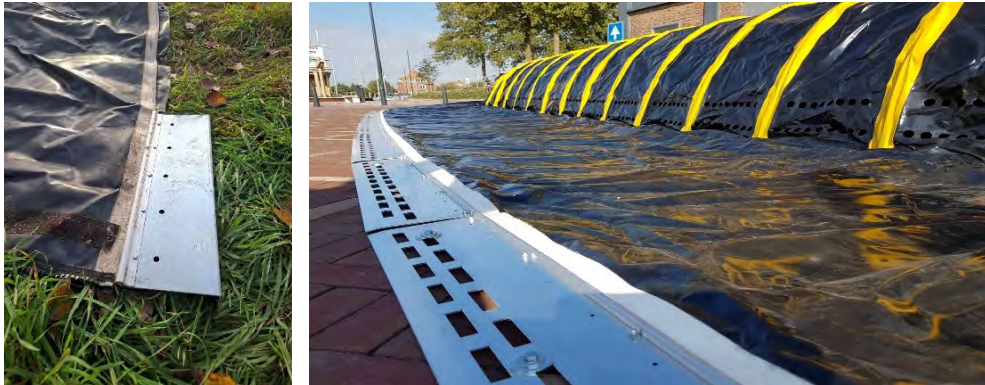


Schuif aluminium ankerplaten met een scherpe punt over het aluminium kederprofiel van de voorflap, druk ze met voet, hand of rubberhamer de zachte bodem in en zet ze vast met schroefpennen. Zo ontstaat een soort damwand-effect dat extra grip geeft en kwel vermindert. Op beton, asfalt of klinkers gebruik je keilbouten met smalle, verzinkte ankerplaten.

Figuur C 82 Ankerplaten met tanden voor een verankering in zachte grond



Figuur C 83 Gladde ankerplaten met gaten voor bouten voor een vast verbinding op verhardingen.



Figuur C 84 Glasvezelversterkte latten die de belasting gelijkmatig verdelen en vormstijfheid geven.



Naarmate het water stijgt, drukt de hydrostatische kracht de tijdelijke waterkering verder omlaag en naar voren en verbetert het contact met het maaiveld. De geometrie, overlapflappen en verankering beperken kwel en voorkomen wegglijden.

Figuur C 85 Zicht op het schort en de waterzijde van de TubeBarrier waar zich openingen bevinden, waar het water gaat instromen om de TubeBarrier door het gewicht van het water stabiliteit te geven.



HOE ZIET HET ER UIT?

Figuur C 86 De eind van de TubeBarrier sluiten normaliter aan tegen muren of kades of op hogere gronden. Bij een lengtetekort de openblijvende ruimte opvullen met zandzakken. Hier valt op dat het schort niet voldoende effectief tegen onderloopsheid werkt.



LET OP! (BELANGRIJKE PRAKTISCHE UITVOERINGSASPECTEN)

- Kleine pompen kunnen helpen om lekwater achter de kering weg te pompen.
- Het plaatsen van de ankerplaten die het zeil in de grond fixeren kost veel tijd.
- Om onderloopsheid te beperken dient het schort goed op de grond aan te sluiten.

Figuur C 87 Duidelijk zichtbaar is de heel onregelmatige aansluiting van de folie op de grasondergrond.



- Het water gaat bij het demonteren er moeizaam weer uit de TubeBarrier, zodat deze niet helemaal leegloopt. De nog met restwater gevulde TubeBarrier is heel zwaar en kan alleen met veel moeite worden verplaatst.

Figuur C 88 Om het restwater helemaal te kunnen lossen wordt de TubeBarrier onderste boven op een helling geplaatst.



IS UITBREIDING VAN DEZE NOODMAATREGEL MOGELIJK?

Via ritsluiting tot lange lijnen te koppelen; hoek-/bochtsegmenten voor 90°-bochten beschikbaar.

MEER WETEN?

Meer informatie kunt u vinden op de website van <https://tubebARRIER.com/nl/>

FACTSHEET

WATERSCHOT / NOAQ BOXWALL

Producent: NOAQ Flood Protection AB

Distributeur: Waterschot B.V.; MWK Nederland B.V.

Systeemkenmerken

Systeemtype

Damsysteem (wandsysteem)



Korte beschrijving: aan elkaar aangesloten L-vormige elementen

Toepassingsgebied	<ul style="list-style-type: none"> Binnenstedelijk voor weggeleiden van regenwater bij stortregen; objectbescherming Mobiele hoogwaterbescherming
Geschikte ondergrond	Harde en gladde oppervlakken, zoals asfaltstraten en betonnen vloeren. Bij plaveisel alleen in combinatie met een dekzeil als schort aan de waterzijde om onderloopsheid te voorkomen. Zand zal anders uit de voegen eroderen en dan van onder het plaveisel. Abrupte onregelmatigheden in de ondergrond, zoals kuilen, moeten worden geëgaliseerd of van tevoren worden vermeden. Niet geschikt voor oneffen en erosiegevoelige ondergrond, bijvoorbeeld bij boomwortels.
Systeemhoogte	0,53 m c.q. 1,06 m
Te keren hoogte (beschermingshoogte)	50 cm c.q. 100 cm
Standzekerheid	0,50 m systeem is bij 0,5 m opstuwing stabiel
Systeemafmetingen	HxBxL = <ul style="list-style-type: none"> 0,530 x 0,980 x 0,680 m 1,060 x 0,992 x 1,199 m
Leeggewicht (ongevuld)	6,5 kg of 15,2 kg 3,4 kg/stuk -> 81,6 kg/15m
Hoofdbestanddeel	Polypropyleen, acrylonitril butadien styreen kunststof
Vulmateriaal	N.v.t.
Verankering	Nee
Benodigde materialen	Veerklemmen voor een beveiliging van elke verbinding tussen twee elementen; dekzeil bij oneffen ondergrond of op bestrating. Pompen voor het wegpompen (lenzen) van lekwater. Voor het maken van bochten en het kunnen passeren van abrupte overgangen zijn speciale systeemelementen nodig.
Opbouwtijd	Afhankelijk van gesteldheid ondergrond, het te volgen tracé en het passeren van mogelijke obstakels, bovendien is extra tijd nodig voor het ballasten met zandzakken, afdichten met een folie en het plaatsen van veerklemmen.
Moeilijkheidsgraad	Eenvoudig; ook geschikt voor weinig getrainde helpers
Overstroombaar	Niet volgens producent, maar bleek bij Wolfbreukcoëfening bij overloop stabiel
Inzetbaar in stromend water	Ja
Vorstgevoelig	Nee
Uitbreidbaar	Alleen in één horizontale richting; niet uitbreidbaar qua hoogte
Passeerbaar voor voertuigen	Nee
Onderhoudsvrij	Ja
Levensduur	Geen info

Systeemkenmerken	
Reparatie mogelijk	Nee
Herbruikbaar	Ja
Kosten	Geen info
Getest	HS Bremen, Flood Proof Holland, Wolkbreukoefening
Gecertificeerd	Nee
Lekverlies	1000-1400 l/h/m; met zandzakken als ballast 460- 1000 l/h/m
Aanpassing aan de ondergrond	Ongunstig
Meer info	https://waterschot.nl/ ; https://noaq.com/

BESCHRIJVING VAN DE NOODMAATREGEL

- Waterschot is een mobiele zelfverankerende waterkering bestaande uit aan elkaar aangesloten lichtgewicht L-vormige schotten. De schotten worden in elkaar geschoven en zijn door middel van twee contactpunten per kant aan elkaar gekoppeld, aan de voorkant een verbindingsvoorziening en aan de bovenkant een voorziening waardoor de elementen niet uit elkaar glijden. Door middel van bochtelementen zijn obstakels eenvoudig te passeren.
- Het systeem is licht en kan daardoor snel worden klaargezet om gebouwen te beschermen of water te geleiden of wegen open te houden. Het waterschot creëert een kering voor water tot een hoogte van 50 cm of tot een hoogte van 100 cm. Het systeem kan zonder extra materieel worden geplaatst.
- De mobiele waterkering wordt automatisch “verankerd” (op de plek gehouden) door het eigen gewicht van het kerende water. Aan de onderkant zitten rubberen strips (dunne strook schuim) die zo gevormd zijn dat eventueel daaronder nog zittend water onder het systeem naar de luchtzijde kan weglopen. De strippen zorgen ervoor dat de kering zich vastzuigt aan de ondergrond en door de grip niet weg kan glijden.
- De waterschotten zijn stapelbaar en nemen daardoor weinig ruimte in beslag. Hierdoor is relatief zeer weinig opslagruimte nodig.

WAAR KAN HET INGEZET WORDEN?

Figuur C 89

Toepassing van Waterschot om water te geleiden.



- Bij een acute calamiteit kunnen waterschotten worden ingezet om snel waterstromen te sturen, geleiden en af te leiden. De waterschotten worden direct in de waterstroom in een hoek tegen de stroom in geplaatst om het water af te kunnen leiden. Doordat de waterschotten de kracht van het stromende water beperken, kan achter de waterschotten een mobiele waterkering worden opgebouwd als dat nodig is.
- Tijdelijk tegenhouden van vervuild water.

AFWEGINGSKADER

- Waterschot is geschikt om in korte tijd (in 20 minuten 100 meter) een tijdelijke waterkering op te bouwen tegen wateroverlast. Hierbij is geen aanvullend materiaal nodig en kan in principe iedereen een waterschot neerzetten.
- Door het lage gewicht en doordat er geen aanvullend materiaal nodig is, is dit waterschot geschikt om ook in te zetten wanneer burgers een helpende hand toesteken.

WAT IS ER NODIG?

- 1 waterschot is 90 cm breed.
- Voor 100 meter waterkering zijn dus 112 waterschotten nodig.
- In opslag kunnen 26 waterschotten geplaatst worden in een 1m³ box.
- Bij harde wind en grote lengte aan waterkering kan het zinvol zijn om de waterschotten te verzwaren (bijvoorbeeld met een zandzak om de 2-3 meter).

HOE VOER JE HET UIT?

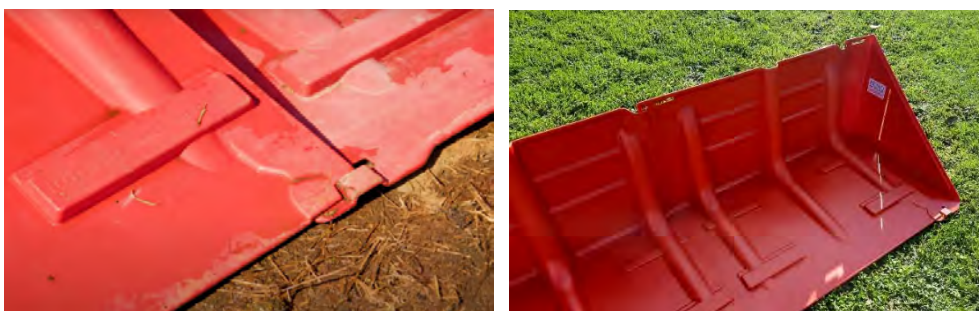
- Beginnend bij de linkerkant (vanuit de “droge” kant gezien) wordt het eerste waterschot neergezet. Het volgende waterschot wordt aan de rechterkant iets over het eerste waterschot heen geplaatst en eenvoudig via twee contactpunten met behulp van een veerklem gekoppeld aan het voorgaande waterschot. Een opbouw vanuit twee kanten is af te raden, omdat een exact op elkaar aansluiten van de twee secties nauwelijks te realiseren is. Schuiven van al gekoppelde elementen op de grond moet worden vermeden omdat de rubberen afdichtstrips aan de onderkant heel gevoelig zijn. Voor meer details zie ook <https://waterschot.nl/hoe-werkt-het-waterschot>.
- Het is ook mogelijk om bochten en hoeken te maken. Twee waterschotten kunnen worden bevestigd onder een hoek van +/- 3°. Voor meer abrupte bochten zijn er bepaalde hoekvakken, voor respectievelijk binnen- en buitenhoeken beschikbaar. Deze hebben een ingebouwde hoek van 30 °, wat een bochtstraal van 1 meter geeft. Twaalf hoekschotten vormen een cirkel.
- Tot slot kan bijvoorbeeld met een zandzak wat gewicht op de voorkant van elk waterschot worden geplaatst, om deze te beschermen tegen te harde wind.
- Aansluiting aan een permanente muur is mogelijk als deze het einde van de mobiele kering ondersteunt. Wanneer de permanente muur in (bijna) dezelfde richting loopt als de waterkering, is er geen probleem. Als de mobiele waterkering loodrecht op een permanente muur moet worden bevestigd, kan men een gevelement gebruiken of een waterschot 90° tegen de muur laten zwaaien met behulp van drie binnenwaartse hoekdozen. De verbinding waterschot / muur heeft meestal een extra afdichting nodig.
- Na inzet van de waterschotten, worden de schotten vanaf de rechterkant weer ontkoppeld en opgeruimd.

HOE ZIET HET ER UIT?

Figuur A.9 Twee elementen worden aan twee contactpunten met elkaar verbonden. Aan de bovenkant worden deze in elkaar geschoven.



Figuur A.10 Links: twee contactpunten aan de onderkant. Rechts: combinatie met een gevelement



Figuur A.11 Onderkant van een Waterschot voorzien van rubberen strips voor een beter grip



Figuur A.12 Een rij Waterschotten op een hobbelige grasondergrond. De elementen zijn voor de zekerheid met veerklemmen op de contactpunten aan de bovenrand verstevigd.



Figuur A.13 De waterschotdam keert een stijgende waterstand.



Figuur A.14 Waterschotdam sluit aan twee hellingen aan. Aansluitingen zijn met zandzakken en folie afgedicht.



LET OP! (BELANGRIJKE PRAKTISCHE UITVOERINGSASPECTEN)

- Bedoeld alleen voor gebruik op harde en vlakke ondergronden, vooral in bebouwd gebied.
- Los zand en grind moet eerst met een bezem worden verwijderd voordat de Boxwall-dam kan worden opgebouwd. Bij los zand op harde ondergrond bestaat grote kans op wegglijden van de Boxwalldam.
- Er zal altijd water door en onder de mobiele waterkering sijpelen. Water lekt ook door de grond zelf en verschijnt aan de beoogde droge kant van de barrière. Om de mobiele kering te verstevigen en de hoeveelheid lekwater te minimaliseren, kan de mobiele waterkering aan de waterzijde worden afgedekt met een zeil en geballast met een zware ketting. Als het lekwater te veel wateroverlast veroorzaakt kan het met een pomp worden afgevoerd.
- Het aanbrengen van de veerklemmen bij elke verbinding van twee schotten is niet per se nodig, maar bij hoge waterstanden dragen de veerklemmen bij aan een betere versteviging van de verbindingen.
- Om het contact van de afdichtingsstrip aan de onderkant van de waterschot op een oneffen ondergrond te garanderen is het beter om de voorkant van elk element met een zandzak te ballasten.
- Ook bij sterke wind is het raadzaam dat de schotten direct worden geballast.
- Bij het plaatsen van een folie bij sterke wind dienen meer helpers te worden ingezet om de folie te kunnen fixeren.
- De meegeleverde folie is relatief dun en gevoelig voor beschadiging. De producent geeft immers aan bij het opbouwen van de elementen handschoenen te dragen omdat de Boxwall-/Waterschotelementen scherpe randen en hoeken kunnen hebben. Bij het belasten van de folie als gevolg van trekkrachten kan deze over de scherpe randen glijden en daarbij beschadigd raken.

Figuur A.15 Een Boxwall-/Waterschotkering wordt met een folie verstevigd, de folie wordt met een zware ketting geballast, waarbij de ketting in het doek wordt ingevouwen en via klittenband wordt vastgehouden (foto: Eric Reneerjens, <https://www.wevideo.com/view/3082419423>).



Figuur A.16 Met een zeil tegen onderloopsheid verstevigd Waterschot-systeem. Het zeil is met veerklemmen aan de bovenkant gefixeerd. (foto: Eric Reneerjens, <https://www.wevideo.com/view/3082419423>)



- Een folie dient ook te worden toegepast als een waterschotdam op een plaveisel wordt aangelegd. Anders spoelt zand als gevolg van onderloopsheid uit het zandbed van het plaveisel uit en bezwijkt het systeem. Het waterschot is daarom minder geschikt voor gebruik op losse ondergronden als zand en grind.
- Bij overhangen, bijv. een stoeprand, kunnen twee gevelelementen tegen elkaar aan worden gezet.

Figuur A.17 Toepassing van gevelelementen bij hoogteverschillen. Het kruisen moet haaks gebeuren! Beide gevelelementen moeten aan elkaar worden vastgeschroefd.



- Een aansluitpunt met een andere soort mobiele kering kan met allerlei middelen worden gecreëerd, zoals zandzakken en folie. Er is echter geen standaard adapter voor deze overgang.
- Waterschot kan als gevolg van een menselijke fout bezwijken als het systeem alleen op één positie i.p.v. twee aan het voorgaande schot is gekoppeld.
- Op de hoekschotten voor het creëren van bochten en richtingsveranderingen gaan bij horizontale verplaatsing van het systeem als gevolg van de waterdruk trekkrachten in twee verschillende richtingen werken waardoor de verbindingshaken uit elkaar worden getrokken en de schotten los kunnen komen.
- Niet op zeer gladde ondergronden toe te passen omdat dan niet voldoende wrijving ontstaat en de waterkering zo kan wegschuiven. Vanwege de grote trekkrachten op het systeem in bochten is het van belang dat de veerklemmen goed in elkaar grijpen. Op heel gladde ondergronden (ook bij zand op beton) kan het systeem dus wegschuiven.
- Bij donkerheid, regen en storm is de kwaliteit van de ondergrond en daarmee de geschiktheid voor het plaatsen van Boxwall niet goed te beoordelen.
- Na inzet van de waterschotten is het raadzaam om de waterschotten goed schoon te maken en te controleren. Het waterschot zelf zal niet snel kapot gaan, maar er zit een rubberen strip aan de onderkant van het waterschot die wellicht wel schade kan opgelopen hebben. Deze strip is te vervangen door een nieuwe strip.
- Voor het kunnen volgen van een tracé met veel en scherpe bochten zijn vele speciale elementen nodig. Zijn deze altijd in voldoende aantallen op locatie beschikbaar?
- Het Boxwall systeem is niet geschikt om botsingen met drijfvuil tegen te gaan, omdat het stijf is en nauwelijks eigen massa heeft. De desbetreffende elementen zullen dan kantelen of breken.
- Het onder de waterschotdam doorsijpelende lekwater moet met een pomp worden weggepompt.

IS UITBREIDING VAN DEZE NOODMAATREGEL MOGELIJK?

Uitbreiding in lengterichting alleen naar één kant mogelijk. Geen verhoging mogelijk.

MEER WETEN?

Meer informatie kunt u vinden op de website van
www.Waterschot.nl
<https://noaq.com/>

FACTSHEET

EUROPALLET-FRAMEBARRIÈR

Framesystemen uit Europallets zijn effectieve mobiele keringen en een makkelijk te improviseren maatregel met materialen die eenvoudig en in grote aantallen beschikbaar of te regelen zijn. Een Europallet (officieel: EURpallet) is een gestandaardiseerde houten pallet met een vast aantal planken en klossen (boven- en onderdek met klossen ertussen) die in Europa wordt gebruikt voor transport en opslag van goederen:

- Lengte × breedte × hoogte: 120 × 80 × 14,5 cm.
- Eigen gewicht: ca. 25 kg.
- Draagvermogen: minimaal 1500 kg.

Figuur C 90 Europallets



- Europalletsystemen werken goed en gedragen zich ook bij overloop zeer stabiel. Zij zijn flexibel, snel op te bouwen (15 m palletkering in 12 minuten opbouwtijd met 7 personen), het materiaal is vaak voorradig en kost bijna niets.

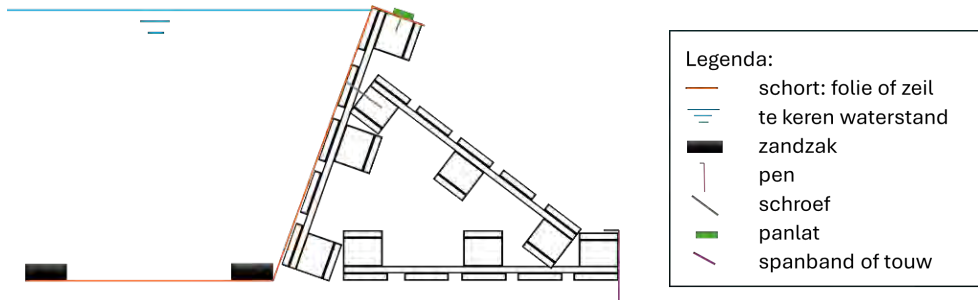
Figuur C 91 Een Europallet-framesysteem als mobiele kering



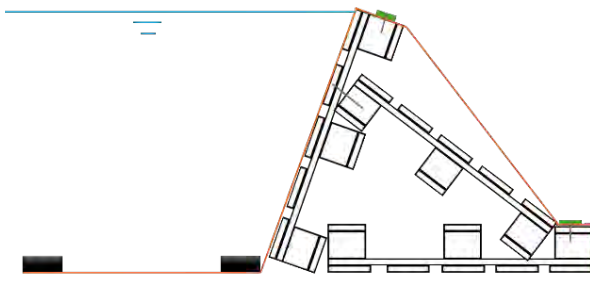
3-PALLETMETHODE:

Bij het 3-palletsysteem ligt een pallet omgekeerd op de grond en de twee andere pallets worden als een dak in de tussenruimte ingezet en daarbij zo tegen elkaar gezet dat ook deze in elkaar grijpen.

Figuur C 92 Principeopbouw van de 3-palletmethode



Figuur C 93 Alternatief voor 3-palletmethode met folie tot aan de achterkant om de ondergrond door overstromend water niet te sterk te laten eroderen.



Figuur C 94 Een omgedraaide pallet als basis en een pallet naar de waterzijde.



Figuur C 95 Aan de achterkant van de waterkerende pallet wordt een derde pallet als steun aangebracht, waarbij haar onderkant in de omgedraaid op de grond liggende pallet wordt ineengeklemd. Stabiliteit tegen verschuiven wordt hier door de wrijving van de omgekeerd op de grond liggende pallet gerealiseerd.



Op bouw in halfsteensverband, waarbij de stootvoegen tussen de pallets om een halve pallet verspringen, is ook mogelijk, waarbij wel lange schroeven moeten worden toegepast, omdat een krachtgesloten verbinding van de planken van de ene pallet met de klossen van de andere pallet, waarbij de samenhang wordt gerealiseerd door krachten en wrijving, in deze positie niet altijd mogelijk is.

Figuur C 96 De op de grond liggende basispallet is hier in halfsteensverband gezet tegenover andere pallets.



Figuur C 97 Om bochten of rechthoekige richtingswisselingen te kunnen realiseren wordt een extra pallet op de tegen de hoek aan geplaatst. Een 3-pallet systeem in L-vorm. De hoek is versterkt d.m.v. een extra pallet die met brede korte krammen is gefixeerd.



Figuur C 98 Het 3-pallet systeem wordt in halfsteensverband middels metalen krammen aan elkaar gekoppeld.



Figuur C 99 Elke 3-pallet module wordt met spanbanden rondom samengehouden. Links: steunde kant, rechts: zelfde situatie gezien van de waterkerende kant.



Figuur C 100 Opvullen van de randen in de hoeken met zandzakken.

Aan de bovenkant van de pallets wordt de folie met zandzakken gefixeerd. Als alternatief kunnen panlatten in de folie worden ingerold en deze kan dan met schroeven aan de pallets worden vastgezet. Hierbij dient de folie in de richting van de te beschermen kant te worden opgerold, zodat er geen tussenruimte ontstaat waar eventueel overstromend water kan aangrijpen.

Figuur C 101 Bij de 3-pallet methode wordt de folie voornamelijk met zandzakken gefixeerd, zowel aan de bovenkant van de mobiele kering als direct aan de waterkerende onderkant tegen de pallets aan. De folie dient plat op de grond te liggen zonder plooiën en aan de rand met zandzakken te worden geballast om onderloopsheid te voorkomen.

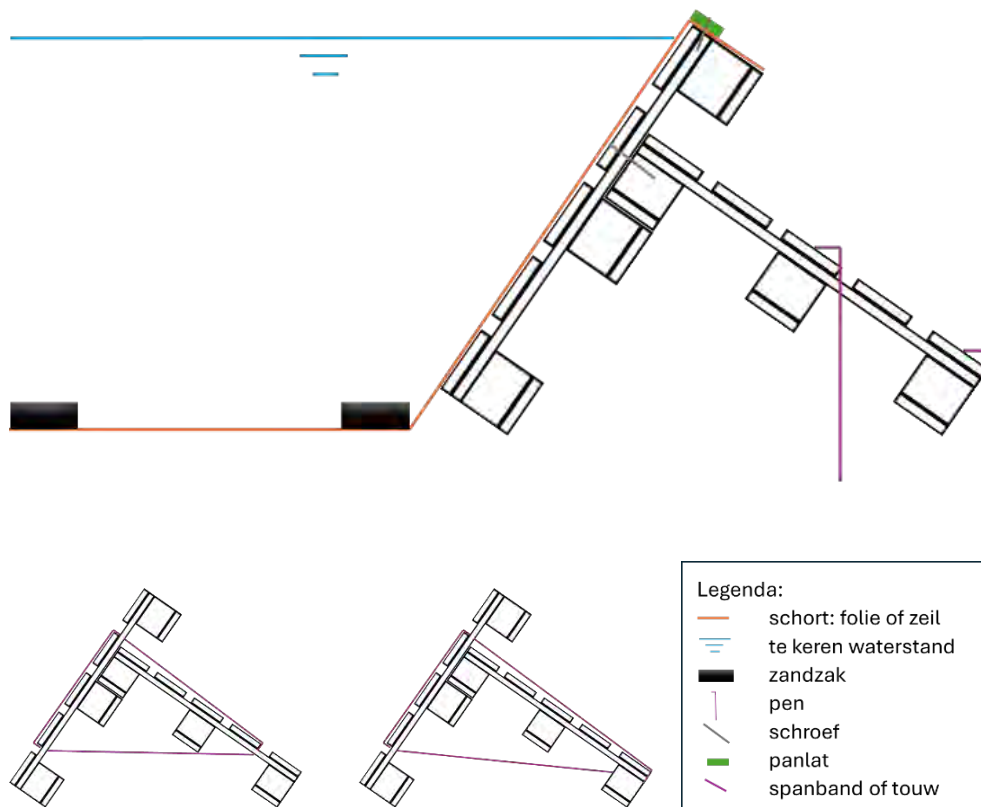


2-PALLET METHODE:

Bij de 2-pallet-methode worden twee pallets in dakvorm haaks tegen elkaar gezet, waarbij de ene pallet in de tussenruimte van de andere pallet grijpt. De twee pallets worden daarbij door middel van drie schroeven met elkaar verbonden, daar waar de verticale latten van de ene pallet en de klossen van de andere pallet aan elkaar raken. De hogere kant van het 2-pallet-systeem wordt tegen de waterkant geplaatst, waar ook de folie tegenaan wordt gelegd. Per module worden twee pallets of met schroeven of met spanbanden met elkaar verbonden.

Het 2-pallet-systeem wordt aan de achterkant met twee pennen of krammen in de grond gefixeerd om verschuiving van het systeem tegen te gaan. Hierbij zijn de pennen direct tegen de pallet te plaatsen of beter nog in de tussenruimte van de pallet zodat geen verplaatsing meer mogelijk is.

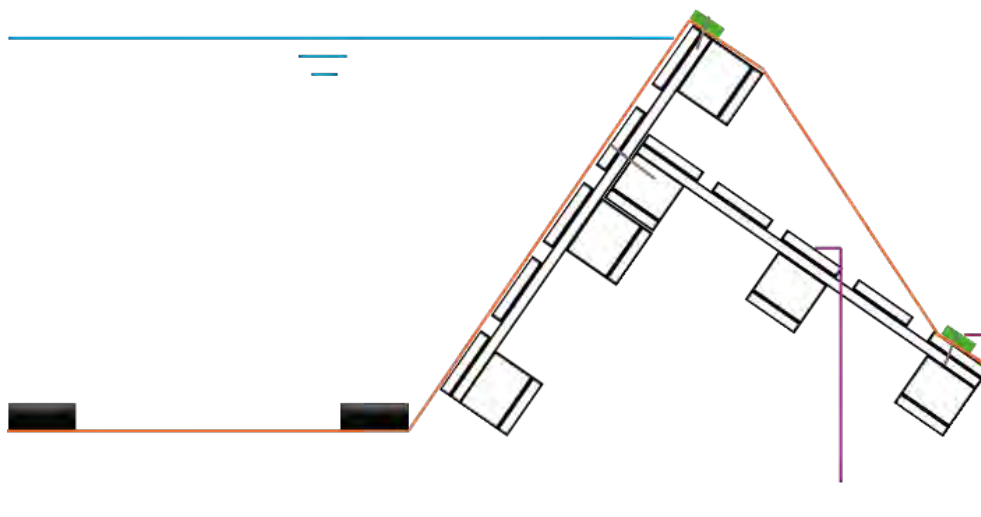
Figuur C 102 Principeopbouw van een 2-palletsysteem.



Alternatief kunnen de modules van twee pallets ook met twee touwtjes of spanbanden met elkaar worden verbonden, waarbij de touwen aan de bovenste dwarslat van de kerende pallet en de onderste dwarslat van de steunende pallet worden gefixeerd en de touwen dan naar beneden door de onderste tussenruimte worden gevoerd en dan naar de onderste tussenruimte van de pallet aan de achterkant, zodat de open ruimte tussen de twee pallets door de trekkracht van het touw wordt gestabiliseerd.

De folie kan eventueel ook over de hele constructie tot de voet van de steunende pallet worden getrokken om verzadiging of beschadiging van de ondergrond achter de kering te verminderen.

Figuur C 103 Principeopbouw van de 2-palletmethode met folie tot aan de voet van de steunende pallet



Figuur C 104 Opbouw van een 2-pallet systeem. Aan de niet waterkerende kant worden de pallets met pennen in de grond tegen verplaatsen gefixeerd.



Om een beter verband tussen de modules te bereiken kunnen de kerende pallet en de pallet aan de achterkant in halfsteensverband worden opgebouwd.

Additioneel kunnen de zo opgebouwde modules met speciale krammen worden verbonden.

Als waterdicht element wordt een folie of zeil over de waterkerende modules gelegd. Het folie of zeil wordt aan de voet van de pallets met zandzakken goed tegen de pallets gefixeerd en circa 2 m weg van de constructie uitgevouwen. De uiteinden van de folie worden met zandzakken geballast. Als alternatief kan de folie aan het uiteinde op de grond om panlatten heen worden opgerold en dan met U-krammen in de grond worden gefixeerd.

Aan de bovenkant van de pallets wordt de folie met zandzakken gefixeerd. Als alternatief kunnen panlatten in de folie worden ingerold en deze kan dan met schroeven aan de pallets worden vastgezet. Hierbij dient de folie in de richting van de te beschermen kant te worden opgerold, zodat er geen tussenruimte ontstaat waar eventueel overstromend water kan aangrijpen.

Het voordeel van het 2-pallet systeem is dat er minder pallets voor nodig zijn. Nadelig is echter dat de kerende hoogte van dit systeem lager is dan dat van een 3-pallet systeem, waar de waterkerende kant bijna rechtop staat.

Figuur C 105 De pallet aan de waterzijde wordt met de steunende pallet d.m.v. schroeven gefixeerd, waarbij de schroeven de planken van de kerende pallet aan de klossen van de steunende pallet verbinden.



Figuur C 106 Problematischer is de overgang van de 2-palletconstructie naar het dijktalud, met name als er in halfsteensverband wordt gewerkt, omdat de elementen dan niet altijd goed in elkaar grijpen. Hier moeten ook zandzakken worden toegepast om de open ruimtes naar de ondergrond goed af te dichten en voor stabiliteit te zorgen. Bovendien dienen de pallets met krammen te worden gefixeerd.



Figuur C 107 Bij de 2-palletmethode wordt de folie aan de bovenkant van de constructie met panlatten vastgeschroefd.



Figuur C 108 De panlatten kunnen ook in de folie worden ingerold en dan worden vastgeschroefd. Panlatten worden zo in de folie gerold dat het overlopende water makkelijk over de folie heen kan aflopen en niet in de kuil van de opgerolde folie kan gaan stromen.



Figuur C 109 Het andere uiteinde van de folie wordt om panlatten gerold en met U-krammen op de grond gefixeerd. Ook hier dient de folie plat op de grond te liggen zonder veel lucht of plooien erin.



Figuur C 110 Gebruik een robuuste folie. Als de dunne folie heel licht waait deze snel op. Folie ook onder de pallets vastklemmen om te voorkomen dat de folie gaat opdrijven. Het is belangrijk de folie goed op de grond tegen de palletconstructie aan te fixeren en erop te letten dat er weinig plooien en lucht in zit, zodat onderloopsheid beperkt wordt.



UITVOERINGSASPECTEN:

- De 2-palletsystemen zijn sneller op te bouwen dan de 3-palletsystemen, omdat er minder pallets voor nodig zijn. 2-palletsystemen zijn iets minder hoog, omdat de pallet aan de waterzijde minder stijl is. Het duurt langer om het 2-palletsysteem weer te demonteren als er schroeven worden toegepast, omdat de goed vastzittende schroeven moeilijker weer eruit te halen zijn. De fixatie van de pallets met korte krammen werkt sneller. Krammen gaan er ook sneller weer uit.
- Bij het samenbinden van de pallets met touwen of spanbanden is het soms erg lastig om de touwen of banden onder de constructie door te krijgen. Hiervoor is het eventueel beter om de spanbanden met een stok met haak onder de pallets door te trekken.
- De overgang naar het talud is bij een Europalletconstructie in halfsteensverband soms moeilijk uit te voeren.
- Pennen kunnen eventueel beter tussen de planken van de pallets worden geplaatst i.p.v. aan de uiteinden onderaan. Dit geeft een betere verankering en minder speling.
- Gebruik een stevige folie of een zeil zodat er niet bij het opbouwen van het systeem al scheuren in de folie ontstaan, waardoor de onderloopsheid zal toenemen.
- Bij het plaatsen van de folie erop letten dat deze strak zonder plooien op de grond ligt, zodat er water minder goed eronderdoor kan stromen.
- Folie goed met zandzakken tegen de onderkant van de palletconstructie fixeren zodat de wind de folie niet omhoog kan waaien.

BIJLAGE D

ERVARINGEN EN INZICHTEN OPGEDAAN BIJ HOOGWATEROEFENING WOLKBREUK

D.1 TESTLOCATIE KLAPHEK BIJ OEFENING WOLKBREUK

In het kader van de oefening Wolkbreuk hebben van 5 tot en met 7 november 2025 hebben bij het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden tests plaatsgevonden met mobiele tijdelijke keringen. Hierbij werden op het terrein van de locatie Klaphek in Nieuwegein 7 lage systemen met maximaal 50 cm kerende hoogte getest in samenwerking met Waterschap Limburg, Waterschap Drents Overijssels Delta en de Brandweer Duisburg getest.

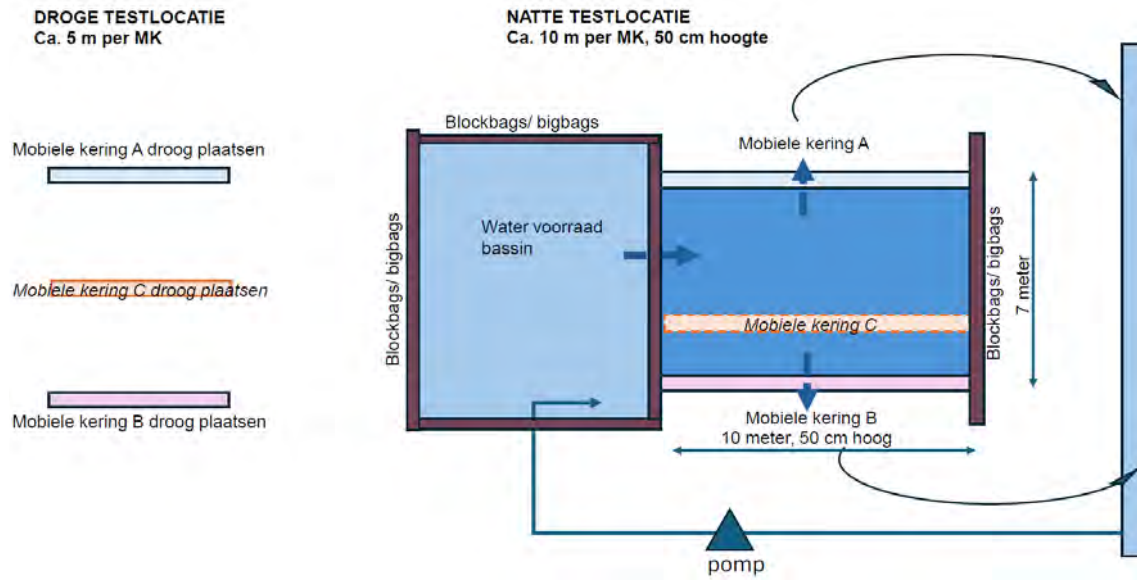
In Nederland is nog relatief weinig ervaring met mobiele keringen, zeker tijdens een crisis. Daarom was het doel van deze oefening om meer bekendheid van verschillende systemen bij de gebruikers (andere waterkeringbeheerders en defensie) te bereiken en te ervaren hoe het gebruik ervan in het veld onder realistische (dat wil zeggen modderige, natte en vieze) omstandigheden door de deelnemers beleefd wordt.

De focus lag vooral op de ervaring van de eenvoud van opbouw en functioneren bij lage te keren waterstanden. De tests waren niet bedoeld om de verschillende mobiele systemen met elkaar te vergelijken, ook omdat de veldomstandigheden in de loop van de tijd steeds modderiger werden en een eerlijke vergelijking niet mogelijk maakten. Bovendien zijn alleen systemen met een relatief lage te keren hoogte getest.

De volgende 7 mobiele keringsystemen zijn getest:

- Flexibele waterdam Buitink
- Waterschot
- Geodesign Barrier
- TubeBarrier
- Mobildeich
- BoxBarrier
- Haawal

Figuur D.1 Opbouw van de testlocatie bij oefening Wolkbreuk (MK = Mobiele Kering).



Figuur D.2 Testlocatie met aan de linkerkant het waterreservoir met wateraanvoer via een pijp en aan de rechterkant een wand van Block Bags. Zowel bassin als muur zijn ten behoeve van waterdichtheid van een zwarte folie voorzien. In de tussenruimte worden de mobiele keringen opgebouwd.



Figuur D.3 Block Bags aan de achterkant van de wand.



De systemen werden eerst door de producenten/leveranciers gedemonstreerd, daarna door de deelnemers in den droge opgebouwd.

Daarna werden de systemen in de natte testlocatie ingebouwd. Deze bestond uit een waterreservoir, bestaande uit een bassin gevormd van Block Bags dat via een grote pomp met water uit een watergang op peil werd gehouden, en op 10 m afstand van het bassin een wand van Block Bags.

Het gebruikte bassin functioneerde goed en bood een geschikte testomgeving.

In de tussenruimte werden telkens twee à drie mobiele keringsystemen opgebouwd waarbij de aansluitingen met de Block Bags met zandzakken werden afgedicht. Daarna werd de ruimte tussen de keringen met water tot maximale hoogte van de keringen gevuld.

Figuur D.4 Vullen van de testruimte door het laten overlopen van het water voorraad bassin. Het reservoir wordt via een leiding en pomp (zie achtergrond) met water uit een sloot bijgevoerd.



Sommige mobiele systemen werkten best goed, ook in de modder en op de zachte ongelijke ondergrond, maar bij twee systemen was de onderloopsheid relatief sterk.. Daarnaast zijn verschillende maatregelen fysiek aan elkaar gekoppeld om te onderzoeken of de systemen elkaar kunnen versterken of naast elkaar kunnen worden toegepast. Dit bleek bij de toegepaste combinaties Haawal naast Geodesign Barrier en zandzakdam naast Geodesign Barrier goed te werken. Geconcludeerd wordt dat verschillende typen mobiele keringen in combinatie met elkaar kunnen worden toegepast, als de situatie daarom vraagt. Dit biedt tijdens hoogwater extra flexibiliteit.

Hierna worden de verschillende tijdens de oefening Wolkbreuk opgebouwde en geteste systemen en de daarbij gedane observaties per systeem in een fotoverslag beschreven.

D.2 BUITINK FLEXIBELE WATERDAM

De Buitink Flexibele Waterdam is geschikt voor het aanleggen van lage ringdijken en voor peilbeheersing door het afzetten van watergangen. Door de oefening is beter inzicht verkregen in de meest effectieve opzetmethode, met name wat betreft het aanbrengen van plooiën.

Figuur D.5

Buitink Flexibele Waterdam samengevouwen in hoef, voorzien van duidelijke instructies.



Figuur D.6

Uitgevouwen demonstratiemodel van de Waterdam. Om het waterkerende deel van de opengeklapte waterdam omhoog te houden worden meerdere kleine steunen ingezet.



Figuur D.7 Waterdam wordt door middel van plooiing in een halfronde boog aangelegd.



Figuur D.8 Twee Waterdammen worden via klittenband aan de zijranden aan elkaar gezet.



Figuur D.9 Om onderloopsheid tegen te gaan zijn door het waterschap extra kunststofschorten en metalen profielen gemaakt waar de schorten ingeschoven kunnen worden.



Figuur D.10 De metalen profielen zijn T-vormig.



Figuur D.11 Kunststofschoot in de flans van het metalen profiel geschoven. Het T-profiel wordt met het lange einde in de grond gedrukt.



Figuur D.12 Door de gaatjes in de profielen worden haringen geslagen om de profielen in de grond vast te zetten.



Figuur D.13 Een stuk met steunen omhooggehouden Waterdam.



Figuur D.14 Aan de droge kant van de Waterdam zijn met klittenband afgedichte kleppen aanwezig, waarmee het water kan worden gespuid.



Figuur D.15 M eerdere Waterdammen zijn in een half rond tegen het waterbassin aangelegd en aan de waterzijde met schorten tegen onderloopsheid voorzien.



Figuur D.16 De Waterdam is met zandzakken geballast en tegen het waterbassin aan gefixeerd.



Figuur D.17 Het water stroomt via een buis vanuit het bassin de halfronde nooddam in. De Waterdam is hier met behulp van steunen helemaal omhoog geklapt.



Figuur D.18 De waterdam is maximaal gevuld. Buiten de dam is de graszode als gevolg van onderloopsheid al tamelijk nat.



Figuur D.19 Lossen van het door de Waterdam opgestuwde water via de geopende van klittenband voorziene afsluitingen.



Figuur D.20 Een Waterdam wordt tussen bassin en wand geplaatst, waarbij de Waterdam tegen en over de Block Bag dam wordt gevoerd en de aansluitingen met zandzakken zijn afgedicht. De Waterdam is bovendien met een rij zandzakken op de grond gefixeerd. Achter de Waterdam is in een tweede rij een Geodesign Barrier geplaatst.



D.3 WATERSCHOT

Figuur D.21 Een Waterschot gevelement. Hiermee kan het Waterschot tegen een muur of een ander aansluitelement worden geplaatst.



Figuur D.22 Meerdere aan elkaar gezette rechte Waterschot-elementen van 50 cm hoogte met als afsluiting een gevelement.



Figuur D.23 Een rij aan elkaar verbonden Waterschot-elementen op een oneffen graszodeondergrond. In de achtergrond een Geodesign Barrier.



Figuur D.24 Blik op de achterkant van de Geodesign Barrier en de Waterschot dam. De oneffenheid van het maaiveld is duidelijk terug te zien in het lengteprofiel van de Waterschot kering.



Figuur D.25 Opname van de Waterschotkering van dichtbij. Duidelijk te herkennen is dat de twee Waterschot-elementen niet goed met elkaar verbonden zijn.



Figuur D.26 Waterschotkering uit rechte elementen, aan de waterzijde geballast en afgedicht tegen onderloopsheid met een rij zandzakken.



Figuur D.27 Twee aan elkaar gezette Waterschot-elementen. De contactpunten grijpen vanwege de grotere totale lengte van de elementen t.o.v. de totale afstand tussen wand en bassin niet volledig in elkaar. Dit vormt een zwakke schakel in de kering met een grote kans op uit elkaar gaan van de elementen en daarmee falen van deze mobiele kering.



Figuur D.28 De Waterschot-kering sluit met een gevelement aan tegen een afdichting van zandzakken.



Figuur D.29 Ook hier is de nog beschikbare ruimte niet voldoende zodat de contactpunten van het laatste rechte element met het gevelement niet veilig in elkaar grijpen.



Figuur D.30 Aan de linkerkant is het gevelement helemaal niet gekoppeld aan het vorige element, maar alleen boven elkaar geplaatst. Beide elementen zijn daarom met zandzakken geballast en afgedicht.



Figuur D.31 Een correcte verbinding tussen twee elementen met volledig in elkaar grijpen van de contactpunten. De maximaal te keren waterhoogte is nog niet bereikt. Er sijpelt al een beetje water onder de mobiele kering door.



Figuur D.32 Extra beveiliging van de contactpunten door middel van veerklemmen.



D.4 GEODESIGN BARRIER

Figuur D.33 De voetsteunen van de Geodesign Barrier zijn voorzien van gaten aan de buitenrand om te kunnen worden gefixeerd met haringen. Er zijn ook voetsteunen om direct aan een verticaal element (muur, stoeprand) te kunnen aansluiten. Voor een betere positievastheid zijn deze voorzien van getande uitstulpingen die in de ondergrond grijpen.



Figuur D.34 De Geodesign Barrier kan naar beide kanten worden verlengd. Soms is de resterende tussenruimte niet breed genoeg voor een standaard element. In dat geval kunnen elementen met een langsleuf voor een stabiele verbinding met de contactpunten voor een variabele overlapping worden toegepast.



Figuur D.35 Stalen elementen worden aan elkaar vastgekliekt. Koppeling van twee rijen Geodesign Barrier met een verbindingselement.



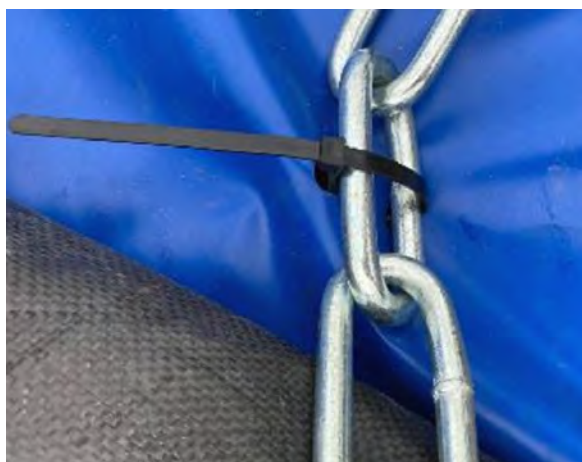
Figuur D.36 Afdekken van de stalen elementen met een stevig zeil.



Figuur D.37 Een zware ketting zorgt voor meer stabiliteit ook tegen wind en werkt onderloopsheid tegen. Aan de bovenkant word het zeil met knijpers gefixeerd.



Figuur D.38 Bevestigen van de ketting aan het zeil met herbruikbare kabelbinders (tie-wraps) (Foto WL)



Figuur D.39 Goed te zien is dat het Geodesign Barrier systeem de oneffenheden in het terrein goed kan volgen, ook omdat de waterdichtheid volledig door het gefixeerde zeil wordt bereikt, niet door de stalen elementen zelf.



Figuur D.40 Vullen van het testbassin. In deze testconfiguratie wordt het bassin tussen de block-bag-wanden door drie verschillende systemen afgedamd. Op de voorgrond een rij Waterschotten, geballast met zandzakken, in de achtergrond de GeoDesign Barrier. Daartussen de Buitink Flexibele Waterdam. Het Buitink-systeem is over de wand heen getrokken waarbij een hoek van 90° ontstaat en het zeil vouwen vormt. De hierdoor verzwakte aansluiting is met behulp van zandzakken afgedicht. Het Buitink-systeem is met steuntjes in een opgeklapte positie gebracht. Voor een goede aansluiting met de ondergrond is het horizontale gedeelte van het zeil met zandzakken geballast.



Figuur D.41 Het bassin is circa halfgevolld. De bovenkant van het Buitink-systeem gaat met het stijgende water omhoog tot aan zijn maximale beschermhoogte. Bij de twee andere systemen is nog voldoende marge in de hoogte aanwezig. Men ziet echter al behoorlijke onderloopsheid bij het Waterschotsysteem op deze grasondergrond.



Figuur D.42 Met stijgende waterstand in het bassin stroomt eerst water uit de openingen van de sleuven voor de contactpunten van het Waterschot. Aan de zijkant treedt al overloop op.



Figuur D.43 Het volledig gevulde bassin. Het Waterschotsysteem met een lagere beschermingshoogte dan de andere systemen loopt als eerste over, maar blijft stabiel.



Figuur D.44 Ook bij het Geodesign Barrier systeem treedt ondanks het schort onderloopsheid op. De voetsteunen drukken op de verzadigde grond.



Figuur D.45 Toegenomen geaccumuleerd nemend lekwater.



Figuur D.46 De geteste systemen blijven ook na langere tijd goed water keren.



D.5 MOBILDEICH (MOBIELE DIJK)

De Mobildeich is het enige VdS-gecertificeerde systeem van de hier geteste keringen. Uit de oefening bleek dat het systeem relatief makkelijk op te bouwen is, maar dit vraagt wel enige ervaring. Ook zijn er pompen nodig om het systeem met water te vullen.

Figuur D.47 Uitrollen van de Mobildeich met een haspel.



Figuur D.48 Vullen van de Mobildeich met water via slangen met behulp van een pomp.



Omdat bij deze oefening niet met een haspel zou worden geoefend, werd hier het zeil apart uitgerold. Normaliter is het zeil met de 2 tubes en het nethoes aan elkaar verbonden en wordt het in één keer samen uitgerold en opgebouwd.

Figuur D.49 Opperold zeil.



Figuur D.50 Afrollen van een stevig zeil over de tubes.



Figuur D.51 Het zeil werkt als schort tegen onderloopsheid en ter bescherming van de tubes.



Figuur D.52 Links: Element dat op de tube onder het zeil kan worden geplaatst om de kerende hoogte tijdens het opstuwen met 25% te verhogen. Rechts: Afdichtingselementen die tussen de Mobildeich en een verticale constructie (bijv. muur) kunnen worden geplaatst om een betere waterdichtheid te creëren.



Figuur D.53 U itrollen van het van een nethoes voorziene dubbele tubesysteem.



Figuur D.54 Nog niet gevulde Mobildeich ligt tegen de wandconstructie aan.



Figuur D.55 Slangen worden aan het systeem aangesloten om de tubes met water te vullen.



Figuur D.56 Mobildeich met aangesloten slangen tegen het waterreservoir aan geplaatst.



Figuur D.57 De modules worden via een Storz-Koppeling met elkaar verbonden voor een doorgaande vulling van een hele mobiele kering vanuit één pomplocatie. De Storz-koppelingen bevinden zich aan beide uiteinden van elke module, zodat het vulwater van de eerste tot de laatste module kan stromen zonder dat de pomp hoeft te worden verplaatst.



Figuur D.58 Afdichting van het schort met afdichtingselement en zandzakken voor een goede aansluiting aan de ondergrond en de muur.



Figuur D.59 Mobildeich voorafgaand aan het vullen.



Figuur D.60 De van een dekzeil voorziene Mobildeich wordt gevuld met water en krijgt zo de gewenste hoogte.



Figuur D.61 Testbassin met aan de voorkant een zandzakdam en daarnaast een Geodesign Barrier. In de achtergrond een Mobildeich.



Figuur D.62 Vullen van het testbassin. Situatie met in de achtergrond een combinatie van twee wandssystemen (links paneelsysteem Haawal en rechts het framesysteem Geodesign Barrier).



Figuur D.63 Het bassin tijdens het vullen.



Figuur D.64 Bassin is gevuld tot aan bovenkant Geodesign Barrier. Nabij de zijkant van het bassin treedt overloop op.



D.6 TUBE BARRIER

Figuur D.65 Samengevouwen TubeBarrier met daarnaast verankeringsplaten



Figuur D.66 Uit elkaar trekken van het harmonica-achtige systeem.



Figuur D.67 Een met glasvezelbeugels verstijfde tube.



Figuur D.68 Aan de waterzijde zorgt een met aluminium ankerplaten gefixeerd schort voor extra stabiliteit bij hoogwater en werkt lekverlies door onderloopsheid tegen.



Figuur D.69 De TubeBarrier wordt met haringen op de ondergrond gefixeerd.



Figuur D.70 Aan de bovenkant van de tube zijn openingen die ervoor zorgen dat in de tube aanwezige lucht kan ontsnappen als de tube met water volloopt.



Figuur D.71 De zoom van het schort wordt in een keep in de ankerplaat geschoven en zorgt voor een stabiele verbinding.



Figuur D.72 De ankerplaten hebben getande randen die in de grond worden gedrukt. Voor toepassing op harde bodem, zoals bestrating zijn ook platen met bouten als verankering beschikbaar.



Figuur D.73 De TubeBarrier sluit direct tegen het waterbassin aan. Aan de andere kant wordt de resterende tussenruimte met zandzakken opgevuld.



Figuur D.74 Het testbassin wordt langzaam met water gevuld. Ondanks de ankerplaten en het schort treedt onderloopsheid op.



Figuur D.75 Het testbassin is gevuld.



De TubeBarrier vertoonde veel lekkage en het opbouwen duurde aanzienlijk langer dan verwacht. Vooral het plaatsen van de ankerplaten die het zeil in de grond fixeren kost veel tijd. Bovendien werkt de schort niet voldoende effectief tegen onderloopsheid. Dit systeem wordt daarom niet als een goede keuze ervaren.

D.7 BOXBARRIER

Figuur D.76 BoxBarrier-systeem gestapeld, bestaande uit box, deksel met openingen en optioneel een membraan (oranje) tegen onderloopsheid.



Figuur D.77 De verbindingskeggen zijn óf stijf óf verbonden met een soort neopreenband om de barrière ook bochten en hoeken te laten maken en waterdicht te blijven. Aan de onderkant van elke box zijn rubberen afdichtingen die onderloopsheid zullen verminderen.



Figuur D.78 Voor extra stabiliteit tegen verschuiving worden in een tweede rij extra BoxBarriers geplaatst.



Figuur D.79 Elke box wordt separaat via een opening in het deksel met een slang met water gevuld.



Figuur D.80 Door het water in de box gaat deze iets vervormen en zich in de ondergrond drukken. Het deksel zorgt voor extra stabiliteit.



Figuur D.81 In deze testopstelling wordt de BoxBarrier achter een Buitink Flexibele Waterdam geplaatst.



Figuur D.82 De overkant van het testbassin wordt met een Mobildeich afgesloten.



Figuur D.83 Bij een hogere buitenwaterstand gaat de BoxBarrier iets opdrijven en kantelen en treedt er veel vervorming en onderloopsheid op.



Figuur D.84 Duidelijk zichtbare lekstroom.



Figuur D.85 Oefening met BoxBarrier bij Waterschap Limburg. De niet met zandzakken geballaste BoxBarrier kantelen bij een te hoge te keren waterstand.



D.8 HAAWAL

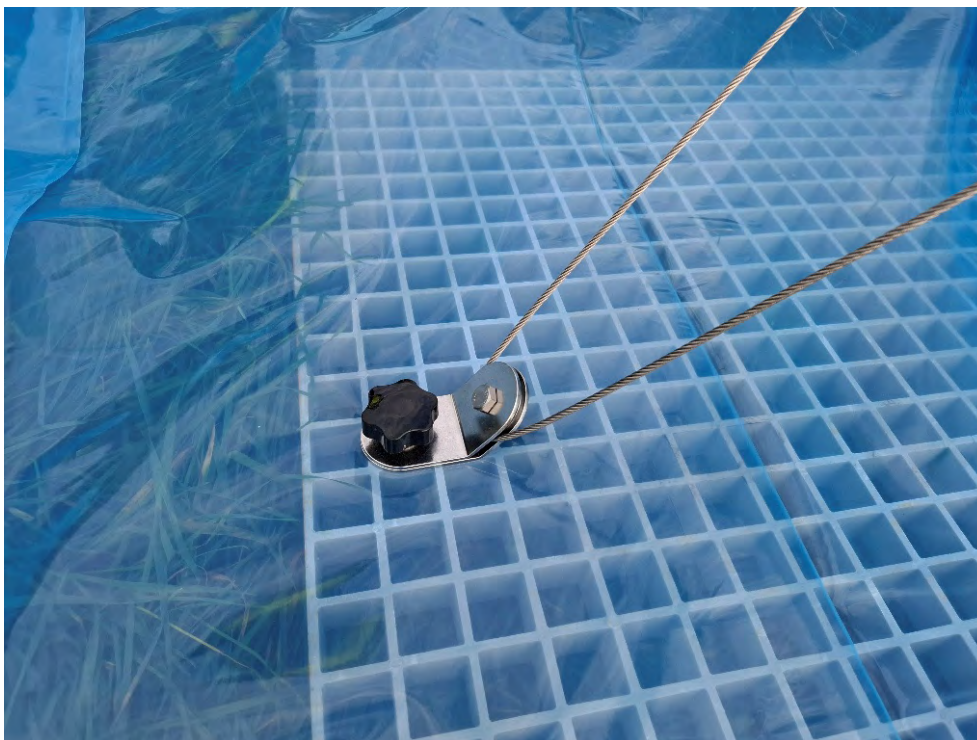
Figuur D.86 Een opgebouwde module van het Haawal-systeem ter demonstratie.



Figuur D.87 Elke module bestaat uit twee identieke roosters, die zowel als basisplaat en als wandelement kunnen worden toegepast. De rand van het wandrooster grijpt in de tussenruimte van het rooster van de bodemplaat.



Figuur D.88 Nadat een membraan over de roosters wordt gelegd, wordt de folie met een schroef in de basisplaat verankerd. Door het vastklikken van de spandraden ontstaan gaten in de relatief dunne transparante folie, waardoor hergebruik van de folie niet mogelijk is en veel afval ontstaat.



Figuur D.89 Daarna worden kabeleinden over het rooster gelegd en aan de achterkant van het rooster vastgehaakt.



Figuur D.90 Detailopname van de verankering van de kabels.



Figuur D.91 Een opgebouwd Haawal-systeem van drie modules.



Figuur D.92 Om een bochtig tracé te kunnen volgen, kunnen de modules ook iets uit elkaar staan en de bodemplaten iets overlappen.



Figuur D.93 De opbouw begint met het plaatsen van de bodemplaten, gevolgd van het inzetten van de wandplaten.



Figuur D.94 Daarna wordt de membraan over de bodemplaten uitgerold.



Figuur D.95 Vervolgens wordt het membraan ontplooid en goed tegen de binnenhoek gedrukt.



Figuur D.96 Het membraan wordt aan elke module verankerd en de buitenrand wordt met een rij zandzakken geballast.



Figuur D.97 In deze testopstelling wordt aan de voorkant een Mobildeich opgebouwd en aan de achterkant een combinatie van een Haawal-systeem en een Geodesign Barrier.



Figuur D.98 Opbouw van het Haawal-systeem tegen het waterbassin aan.



Figuur D.99 De overgang naar de Geodesign- Barrier wordt door het overlappen van het membraan van het Haawal-systeem met het zeil van de Geodesign Barrier afgedicht.



Figuur D.100 De testopbouw voorafgaand aan het vullen met water.



Figuur D.101 Het testbassin wordt langzaam gevuld.



Figuur D.102 De verbinding tussen de twee systemen werkt goed en blijft waterdicht.



Figuur D.103 Water lekt langs de aansluiting van het Haawal-systeem met het waterbassin.



Figuur D.104 De oorzaak voor het lekwater is hier echter dat het membraan te ver langs het bassin is geleid, waardoor het uit het bassin stromende water tussen bassin en membraan terecht komt.



Figuur D.105 Het water in het testbassin bereikt de systeemhoogte van de Geodesign Barrier en begint deze te overstromen.



Figuur D.106 Alle drie systemen blijven volledig stabiel en keren het opgestuwde water zonder problemen.

