

# BoxBarrier: water keert water



### Samenvatting

De dreiging van de stijgende zeespiegel vereist aanpassing van de wijze waarop gekeken wordt tegen waterberging. Rivierverruiming, retentiebekkens, drijvende woningen en nederzettingen op terpen vinden langzaam hun betekenis en plaats in de maatschappij. Op beperkte schaal is er behoefte aan een tijdelijke, flexibele waterkering, die het mogelijk maakt om de waterkerende hoogte van boezemkader, kleine dijken rondom retentiebekkens of cruciale bebouwing kortdurend te verhogen. Zo'n kering moet snel en op iedere ondergrond geplaatst kunnen worden, zonder dat de locatie vooraf is aangepast. Als wapen in de strijd tegen de stijgende waterspiegel heeft Movares in samenwerking met GMB en BAM Infraconsult de BoxBarrier ontwikkeld. Dit artikel geeft een korte beschrijving van de BoxBarrier. Hoe is het ontwerp tot stand gekomen en hoe werkt het in de praktijk?

De BoxBarrier is in essentie een open bak die gevuld wordt met water. Het water geeft de bak voldoende massa om de druk van het te keren water te kunnen weerstaan. Leeg zijn de bakken licht van gewicht en stapelbaar, zodat transport snel en eenvoudig kan geschieden. Met een stapelvolumen van bijvoorbeeld 6,5 x 2,1 x 3 m

(LxBxH) en een gewicht van negentien ton kan 180 strekkende meter waterkering met een kerende hoogte van 80 cm worden gerealiseerd.

#### Risico's

Op de Waterbouwdag 2007 heeft Movares de BoxBarrier aan een groter publiek gepresen-

teerd. Het schaalmodel riep een paar vragen op, met name over de stabiliteit van de bak op een drassige ondergrond, de onderloopsheid van de bak en de lekkage tussen de bakken onderling. In het vervolg van dit artikel zal op basis van een bureaustudie en de eerste resultaten van één-op-één-proeven in de praktijk de stabiliteit en

het bestand zijn tegen onderloopbaarheid worden aangetoond. De praktijkproef op een drassige ondergrond is begin september uitgevoerd. De resultaten daarvan waren bij het ter perse gaan van dit artikel nog niet bekend.

### Stabiliteit van de bak Geotechnische stabiliteit

De stabiliteit van de bakken is (theoretisch) onderzocht door het toetsen van verschillende bezwijkmechanismen, zoals horizontaal schuiven en kantelen. Belangrijk aandachtspunt hierbij is dat tussen het maaiveld en de ondergrond van de bak geen wateroverspanning kan ontstaan.

De bak kan zowel op een harde ondergrond (wegverharding) als op een zachte ondergrond worden geplaatst. Op een harde ondergrond worden wateroverspanningen voorkomen door 'pootjes' aan de onderzijde. Deze pootjes aan de onderzijde zijn drie rubberen profielen. Op een zachte ondergrond worden de rubber profielen door het gewicht van de gevulde bak circa zeven cm in de ondergrond geperst. Door vooraf tussen de rubberprofielen drainmatten te leggen, kan water afstromen zonder dat uitspoeling optreedt.

### Analyse grondwaterstroming

Om de onderloopbaarheid van de bakken te voorkomen is het idee om drainmatten toe te passen. Door middel van een grondwaterstromingsmodel is aangetoond dat de drainmat het gewenste effect heeft. In de volgende figuur zijn de grondwaterstromingsvectoren gegeven voor de bak met- en zonder drainmat. De grootte van de stromingsvector geeft de stroomsnelheid aan.

Door de drainmatten is de stroomsnelheid van

het grondwater dat aan het maaiveld achter de bak uittreedt veel lager dan de stroomsnelheid zonder drainmat. De stroomsnelheid achter de bak met drainmat bedraagt circa 20% van de stroomsnelheid zonder drainmat. Het toepassen van de drainmat voorkomt erosie. Onlangs is bovenstaand model in de praktijk gevalideerd.

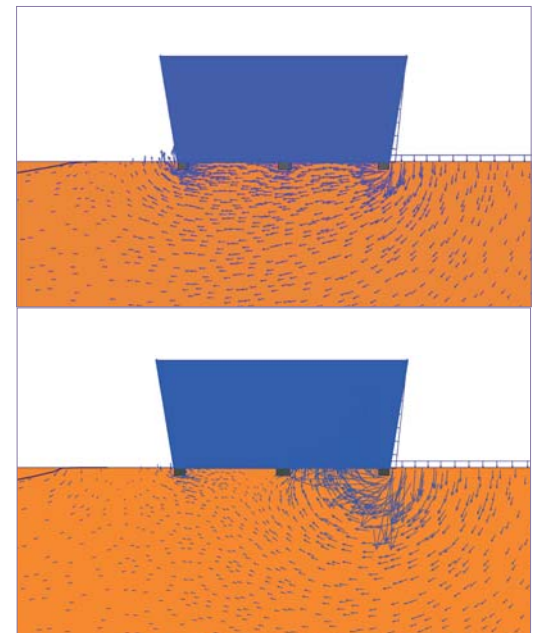
### Onderloopbaarheid passtuk

Het kritische punt ten aanzien van onderloopbaarheid is het passtuk. Het passtuk is het element dat tussen twee bakken wordt geplaatst, zodat deze waterdicht op elkaar aansluiten. Het passtuk is smaller dan een gewone bak, zodat de lekweg veel korter is. Het risico ten aanzien van uitspoeling is veel groter. Ook voor een passtuk is een analyse van de grondwaterstroming uitgevoerd. Uit deze analyse blijkt dat ook achter het passtuk op het maaiveld een drainmat moet worden aangebracht. Deze drainmat wordt verticaal gefixeerd, zodat uitspoeling van grond wordt voorkomen.

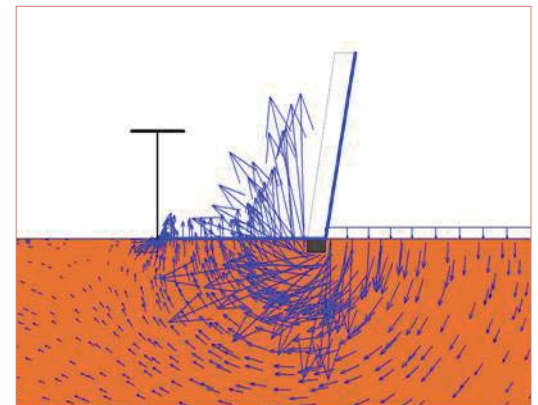
De hoeveelheid water die onder de BoxBarrier door stroomt en over het maaiveld afstroomt, is volledig afhankelijk van de doorlatendheid van de ondergrond waarop de bakken worden geplaatst. In de bovenliggende beschouwing is een doorlatendheid van de ondergrond gehanteerd van 0,1 m/dag. Deze doorlatendheid komt overeen met slecht doorlatend zand. Berekend is dat door de drainmatten 1 liter water per seconde per strekkende meter BoxBarrier 'lekt'.

### Macro stabiliteit van de ondergrond

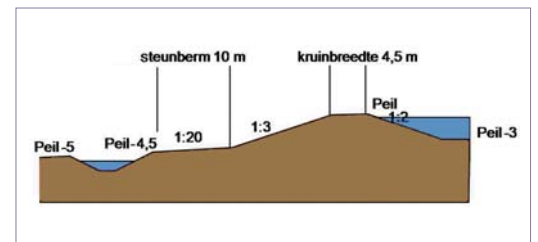
Het gewicht van de bakken is gelijk aan een bovenbelasting van 10 kN/m<sup>2</sup>. Een dijk zal weinig moeite hebben om deze verticale belasting op te kunnen nemen. Kritiek zijn de waterbelasting tegen de dijk en de waterspanningen



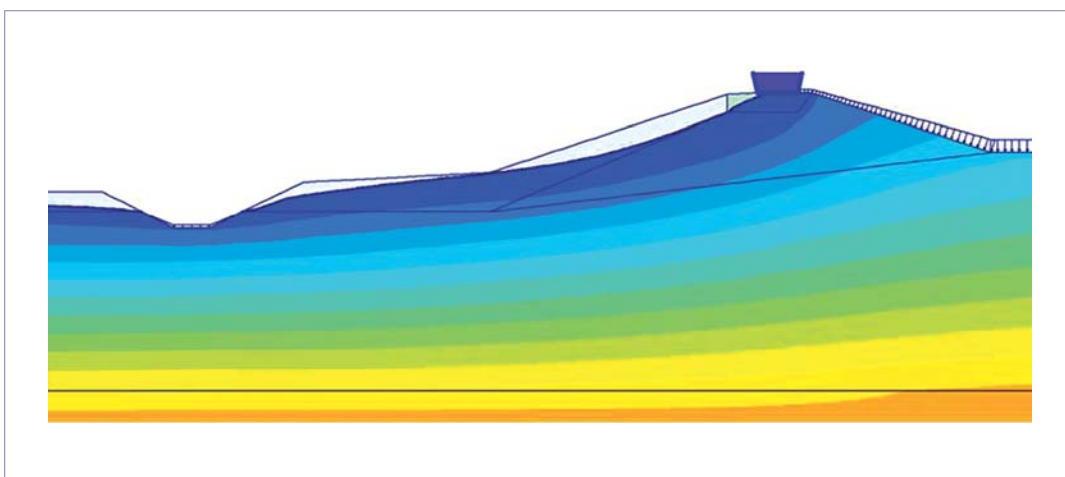
Figuur 1 Zonder en met drainmat.



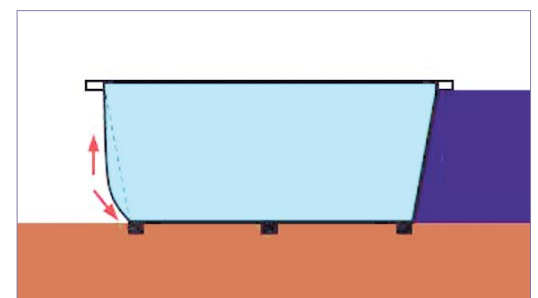
Figuur 2 Waterstroming onder passtuk.



Figuur 3 Doorsnede geanalyseerde dijk waarop een BoxBarrier wordt geplaatst.

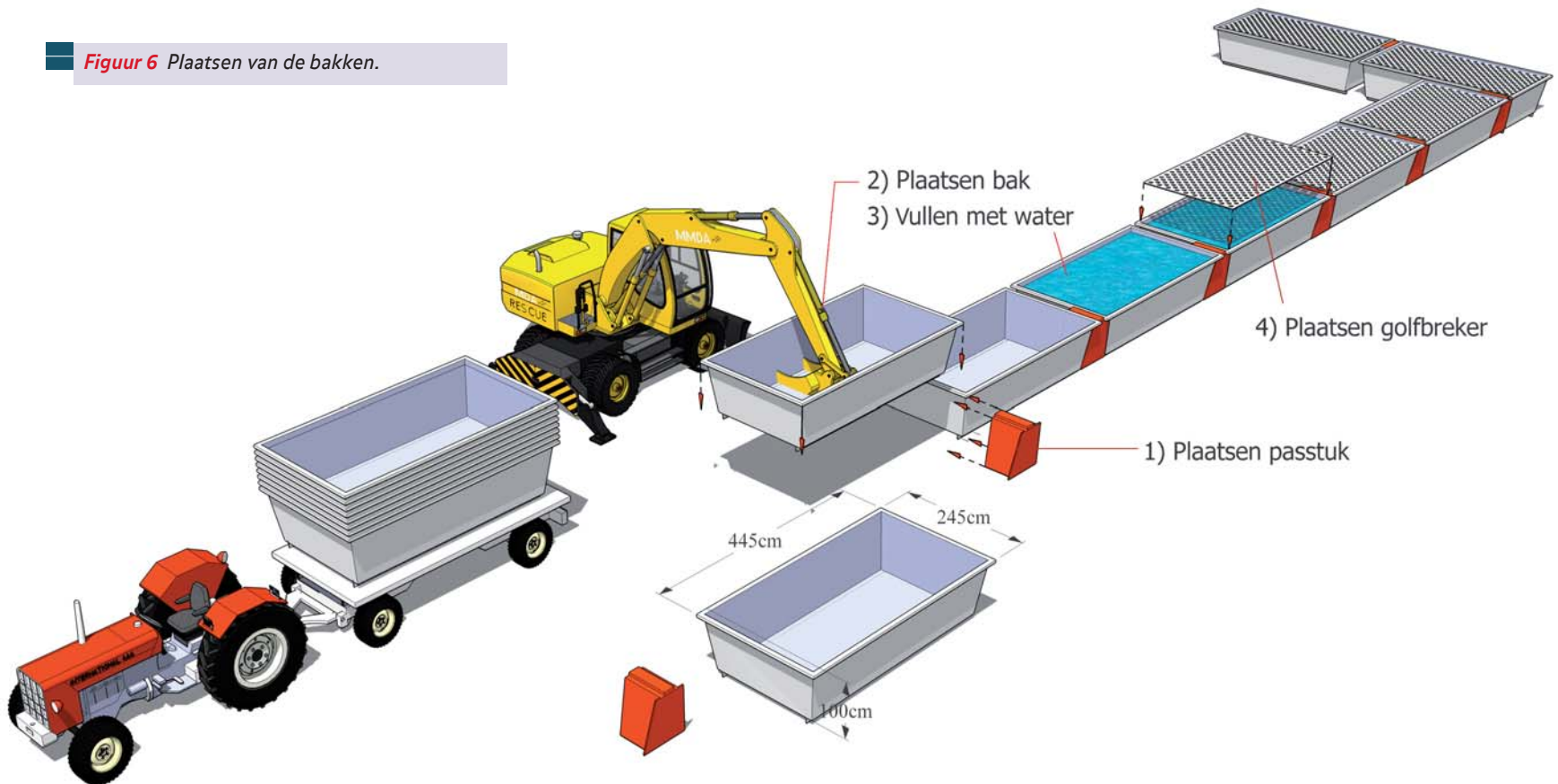


Figuur 4 Waterspanningsverloop in de dijk (met BoxBarrier en een waterpeil 1 m boven de kruinhoogte).



Figuur 5 Door rekening te houden met sterkte door vervorming is het materiaalgebruik geoptimaliseerd.

**Figuur 6** Plaatsen van de bakken.



in de dijk zijn. Door het verhogen van de waterkerende hoogte kunnen de waterspanningen bij langdurig hoogwater ook toenemen. Of deze toename van belastingen acceptabel is, zal van situatie tot situatie verschillen. Om een idee te krijgen van de invloed op de stabiliteit van een dijk is een analyse uitgevoerd.

Hiervoor is een dijk van een boezemkade gekozen. De bodem van het boezemwater ligt 3 m onder de kruinhoogte. Het maaiveldniveau van het achterliggende maaiveld ligt op kruinhoogte -5 m. De dijk is opgebouwd uit klei. Op 15 m onder kruinniveau wordt een watervoerend pakket aangetroffen met een constante stijghoogte van het grondwater.

Met het eindige elementenpakket Plaxis is de fictieve dijk geanalyseerd. Voor de normale situatie, met een waterpeil in het boezemwater van 0,5 m onder de kruinhoogte, wordt een stabiliteitsfactor berekend van 1,33. De berekende veiligheid van de dijk na plaatsing van de bakken, en een waterpeil in het boezemwater van 1 m boven de kruinhoogte (1,5 m boven het 'normale' boezempeil) bedraagt 1,17. Alhoewel bewijken niet verwacht wordt, is een stabiliteitsfactor van 1,17 laag.

### Integriteit van de Bak

Vervorming geeft sterkte. Deze wat vreemde uitdrukking is wat eenvoudiger te begrijpen

bij het voorbeeld van een waslijn. Doordat de waslijn doorbuigt, kan de waslijn het gewicht van de was dragen. Van dit concept is gebruik gemaakt bij de analyse van de bak. Doordat de wanden van de bak doorbuigen, wordt een deel van de waterbelasting opgenomen door trekkracht in plaats van door buiging zodat dunnere wanden mogelijk zijn.

### Plaatsing

De installatie en montage van de BoxBarrier kan eenvoudig worden opgebouwd met algemeen beschikbare werktuigen. De opbouw van de BoxBarrier gebeurt als volgt: Wanneer het waterschap het signaal geeft, worden de waterbakken aangevoerd. Per oplegger zijn dat 54 bakken. Een kleine kraan met een zuignap plaatst de bakken één voor één op de juiste positie. Bij een zachte ondergrond wordt eerst de drainmat uitgerold. Met de hand worden de passtukken tussen de bakken op de juiste positie geïnstalleerd. Het gewicht van het water in de waterbakken klemt een passtuk muurvast in hun positie. Een mobiele installatie van twee pompen met ieder een pompcapaciteit van 150 m<sup>3</sup>/uur, gemonteerd op een trekker, vult de bakken met water. In totaal is circa 144 m<sup>3</sup> water per 100 m kering nodig om de bakken te vullen. De tijdelijke waterkering is gereed. Gedurende

de hoge waterstand is er een kleine waterpomp achter de hand voor het zonodig bijvullen van de bakken.

### Benodigde installatietijd

Voor het voorbeeld is uitgegaan van het plaatsen van een tijdelijke waterkering met een lengte van één kilometer. De plaatsingstijd van één bak van 6,5 m is vijf minuten. Uitgaande van de inzet van 1 plaatsingsploeg wordt in achttien uur één kilometer aan waterkering opgebouwd. Door het inschakelen van meer materiaal en mensen zijn kortere bouw tijden te realiseren.

De BoxBarrier van waterbakken kan tijdens vrieskou worden opgezet. Gedurende de nachtelijke werkzaamheden kan voor voldoende verlichting worden gezorgd (energievoorziening bijvoorbeeld door generatoren). Wanneer de waterkering onder stormomstandigheden moet worden opgezet, is extra alertheid door het opbouw personeel vereist. In principe is de stabiliteit van de waterkering tijdens stormomstandigheden gegarandeerd door direct na het plaatsen van het element een laag water in de barrier aan te brengen. Dit wordt gedaan door de pompploeg, die direct achter het plaatsen van de bakken loopt. Pas als alle elementen zijn geplaatst en gedeeltelijk zijn voorzien van ballast, kan het afvullen van de elementen plaatsvinden.

## Praktijkproef

### Beschrijving

Om de werking van de BoxBarrier te valideren zijn er twee serie praktijkproeven voorzien. Voor de praktijkproeven zijn drie stalen BoxBarriers gefabriceerd met een kerende hoogte van 0,8 m. De eerste serie proeven, waarbij de BoxBarrier is geplaatst op een asfaltverharding, zijn al uitgevoerd. Aan twee zijden was al een waterkering aanwezig. Aan de derde zijde is een kleidijk aangebracht. De BoxBarriers zijn gevuld met water waarna de vijver is gevuld. De lekkage door de bakken is visueel geanalyseerd. Tijdens

deze proef is onderzocht welke vervormingen de BoxBarrier ondergaan, en de waterdichtheid van de bakken. De stabiliteit van de BoxBarrier is gecontroleerd door één bak leeg te pompen totdat bezwijken optreedt. Op nat asfalt treedt bezwijken op bij een waterstand in de bak van 0,25 m. Verrassend detail is dat de lekkage door de kering beduidend lager is dan vooraf was geschat.

### Toekomst

De bureaustudie en de praktijkproeven hebben een goede werking van de BoxBarrier op een asfaltondergrond aangetoond. Een tweede

serie proeven vindt in september plaats.

De drie bakken worden dan op een zachte ondergrond geplaatst. Het onderzoeksprogramma is nagenoeg identiek aan de eerste serie proeven, al is de tweede serie proeven spannender.

De onderloopsheid onder het passtuk is namelijk een kritische factor. Het worden spannende weken voor de BoxBarrier. ■

### Personele inzet

Activiteit	Aantal personen
Vrachtwagen en kraanbediening	2
Plaatsen waterbakken + passtukken	2
Vullen waterbakken	2
Totaal	6

### Totaaloverzicht van opbouw tijden van één kering

*Uitgangspunt: 1 ploeg installeert binnen 19 uur 1 kilometer BoxBarrier.*

Activiteit	Tijdsduur
Mobilisatie materieel en personeel	1 uur
Aanbrengen circa 155 waterbakken	18 uur (maatgevend)
6 stapels met 27 bakken (2 stapels per oplegger, dus 3 ritten)	
Activiteit per rit	Tijdsduur
Laden	0,5 uur
Rijden naar kade	0,5 uur
Lossen, plaatsen	4,5 uur
Tijden naar de stalling van de bakken	0,5 uur
Totaal per rit	6 uur

### Proef resultaat veldproef 1

Beproefd	Toets
Waterkerende hoogte 0,8 m	Vervormingen volgens verwachting. Lekkage van kering is minder dan vooraf geschat.
Veiligheid	De waterstand in een bak kan worden verlaagd tot 0,25 m voordat op nat asfalt bezwijken optreedt.
Passtukken	Een passtuk dat alleen op wrijving tussen de bakken wordt geklemd, is onvoldoende veilig; een horizontale aanslag tegen de bakken is noodzakelijk.
Golfbelasting	Golven met een geschatte hoogte van 0,2 m hebben geen enkele invloed op de stabiliteit van de bak.



**Figuur 7** Foto: Waterstromingen bij geforceerd verschuiven BoxBarrier op asfalt.