

# Alternatieven voor de zandzak als tijdelijke waterkering.

R.A. van der Eijk

Krimpen aan den IJssel

2002

Technische Universiteit Delft, faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen.

## Voorwoord

Dit rapport is gemaakt in het kader van mijn afstuderen aan te TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen.

Ik wil iedereen bedanken die mij geholpen heeft met het tot stand komen van dit rapport, in het bijzonder mijn begeleiders: prof. drs. Ir J.K. Vrijling, drs. Ir. S. van Baars, ir. J.P. Oostveen.

Speciale dank gaat uit naar mijn ouders, ir. Piet Lubking, Grondmechanica Delft, Hoogheemraadschap Krimpenerwaard en het projectbureau Beneluxlijn.

Dit rapport is op verschillende manieren te lezen.

- Lezers die geïnteresseerd zijn in hoe een zandzakdijk aangelegd dient te worden verwijs ik naar hoofdstuk 3.
- Voor lezers die geïnteresseerd zijn in een overzicht van de belangrijkste systemen op de markt en hun sterke en zwakke punten zijn vooral de hoofdstukken 5, 6 en 7 van belang en in mindere mate ook hoofdstuk 8.
- Wie, vooral belang stelt in de resultaten van het onderzoek naar de invloed op de stabiliteit van een waterkering door interactie met een tijdelijke waterkering, kan volstaan met het lezen van hoofdstuk 9.
- Tot slot, als men belangstelling heeft voor de probleembeschrijving, zie hoofdstuk 2, voor algemene ontwerpregels van een waterkering verwijs ik naar hoofdstuk 4.

Onderdeel van dit rapport is het deel:

*“Alternatieven voor de zandzak als tijdelijke waterkering, Bijlagen”*

Krimpen aan den IJssel

Ryan van der Eijk

# Inhoudsopgave

<b>INHOUDSOPGAVE .....</b>	<b>3</b>
<b>SAMENVATTING .....</b>	<b>6</b>
<b>1. INLEIDING .....</b>	<b>8</b>
<b>2. PROBLEEMBESCHRIJVING .....</b>	<b>10</b>
2.1. SITUATIESCHETS .....	10
2.2. PROBLEEMANALYSE .....	10
2.3. PROBLEEMSTELLING .....	11
2.4. DOELSTELLING .....	11
2.5. UITGANGSPUNTEN .....	11
<b>3. DE ZANDZAK.....</b>	<b>12</b>
3.1. ALGEMEEN .....	12
3.2. MATERIALEN .....	13
3.2.1. De zak .....	14
3.2.2. Vulmateriaal .....	15
3.2.3. Wijze van vullen .....	16
3.2.4. Opslagruimte .....	17
3.3. CONSTRUCTIE ZANDZAKDIJK .....	18
3.3.1. Locatie .....	18
3.3.2. Opbouw .....	18
3.3.3. Hoogte .....	20
3.3.4. Breedte .....	20
3.3.5. Benodigd aantal zakken .....	21
3.3.6. Geomembraan .....	21
3.4. STABILITEIT ZANDZAKDIJK .....	22
<b>4. STABILITEIT VAN DE TIJDELIJKE WATERKERINGEN .....</b>	<b>24</b>
4.1. KRACHTEN .....	24
4.2. WEERSTAND TEGEN HORIZONTAAL AFSCHUIVEN: .....	26
4.3. WEERSTAND TEGEN KANTELEN .....	28
4.4. REALISTISCHE WATERSPANNINGVERDELING ONDER TEGEN BASIS .....	30
4.5. STERKTE WATERKERING ALGEMEEN .....	33
4.5.1. Ontwerp van een dijk .....	33
4.5.2. Lekkage .....	35
4.5.3. Zettingen .....	35
4.5.4. Glijcirkel binnen- en/of buitentalud .....	35
4.5.5. Microstabiliteit .....	39
4.5.6. Onderloopsheid, achterloopsheid, wellen, zandmeevoerende wellen en piping .....	40
4.5.6.1. Onderloopsheid van de tijdelijke constructie .....	40
4.5.6.2. Achterloopsheid van de tijdelijke constructie .....	40
4.5.6.3. Wellen, zandmeevoerende wellen en piping .....	40
4.6. PIPING .....	44
4.6.1. Bligh .....	44
4.6.2. Lane .....	44
4.6.3. Sellmeijer .....	44
<b>5. BESTAANDE TIJDELIJKE WATERKERINGSSYSTEMEN .....</b>	<b>47</b>
5.1. OPBLAASBARE (WATER- OF LUCHTGEVULDE) KOKERVORMIGE GEOMEMBRANEN OF PLASTIC ELEMENTEN .....	47
5.1.1. Beschrijving .....	49
5.1.2. Installatie .....	51
5.1.3. Kerende hoogte .....	51
5.1.4. Stabiliteit Waterstructure .....	52

5.1.5. <i>Temperatuur</i> .....	53
5.1.6. <i>Verwijderen</i> .....	53
5.1.7. <i>Beschadigingen</i> .....	53
5.2. CELVORMIGE (GABION-ACHTIGE) SYSTEMEN .....	54
5.2.1. <i>Beschrijving</i> .....	56
5.2.2. <i>Installatie</i> .....	57
5.2.3. <i>Kerende hoogte</i> .....	57
5.2.4. <i>Stabiliteit</i> .....	57
5.2.5. <i>Temperatuur</i> .....	58
5.2.6. <i>Verwijderen</i> .....	58
5.2.7. <i>Beschadigingen</i> .....	58
5.3. STAANDE SYSTEMEN.....	58
5.3.1. <i>Beschrijving</i> .....	62
5.3.2. <i>Installatie</i> .....	62
5.3.3. <i>Kerende hoogte</i> .....	63
5.3.4. <i>Stabiliteit</i> .....	63
5.3.5. <i>Temperatuur</i> .....	63
5.3.6. <i>Verwijderen</i> .....	64
5.3.7. <i>Beschadigingen</i> .....	64
5.4. SNELWEGBARRIÈREBLOKKEN .....	65
5.4.1. <i>Beschrijving</i> .....	65
5.4.2. <i>Installatie</i> .....	66
5.4.3. <i>Kerende hoogte</i> .....	66
5.4.4. <i>Stabiliteit</i> .....	66
5.4.5. <i>Temperatuur</i> .....	67
5.4.6. <i>Verwijderen</i> .....	67
5.4.7. <i>Beschadigen</i> .....	67
<b>6. ANALYSE VAN DE BESTAANDE SYSTEMEN: .....</b>	<b>68</b>
6.1. CLEMENT WATERSYSTEM.....	68
6.2. AQUABARRIER .....	71
6.3. RAPID EMERGENCY DAM.....	74
6.4. HIGHWAY BARRIERS .....	76
6.5. GABIONS.....	81
6.6. WATERSTRUCTURE.....	84
6.7. NOAQ-SYSTEEM .....	86
6.8. RAPID DEPLOYMENT FORTIFICATION WALL.....	88
6.9. VERGELIJKING SYSTEMEN.....	89
6.9.1. <i>Vergelijking stabiliteit</i> .....	89
6.9.2. <i>Opzetsnelheid</i> .....	91
6.9.3. <i>Kosten</i> .....	93
<b>7. CONCLUSIE SYSTEMEN .....</b>	<b>94</b>
7.1. WATER OF LUCHT GEVULDE BUISSYSTEMEN.....	95
7.2. HIGHWAY-BARRIERS.....	96
7.3. GABIONS.....	96
7.4. STAANDE SYSTEMEN.....	97
7.5. ALGEMENE CONCLUSIE .....	98
<b>8. IDEALE SYSTEEM.....</b>	<b>100</b>
<b>9. INTERACTIE TIJDELIJKE WATERKERING MET BESTAANDE WATERKERING.....</b>	<b>103</b>
9.1. GRONDPROFIEL BESTAANDE WATERKERING .....	103
9.2. PLAATS VAN TIJDELIJKE WATERKERING OP DE DIJK .....	106
9.3. BEREKENINGEN .....	107
9.3.1. <i>Dijklichaam zonder TWK</i> .....	107
9.3.2. <i>Dijkprofiel met TWK aan de natte zijde</i> .....	108
9.3.3. <i>Dijkprofiel met TWK aan de droge zijde</i> .....	110
9.4 CONCLUSIE .....	111
<b>10. AANBEVELINGEN.....</b>	<b>112</b>

**LITERATUURLIJST ..... 115**

## Samenvatting

De laatste jaren treden er, door verschillende oorzaken, steeds vaker hoge waterstanden op. Het structureel verhogen van de dijken is een kostbare zaak, maar als door hoge rivierwaterstanden de dijk dreigt te overstromen en structureel verhogen van de dijken is niet gebeurd, dan wordt er vaak in allerijl een nooddijk van zandzakken gebouwd. In Nederland bestaan er geen richtlijnen over hoe een zandzakdijk dient te worden. Ook de precieze krachtenwerking in de zandzakdijk is onbekend, maar deze heeft zich bewezen in het verleden. Er bestaan enkel algemene vuistregels waarvan een overzicht wordt gegeven.

Voor een arbeidsintensieve oplossing als zandzakken bestaan er wel degelijk alternatieve systemen. Van deze systemen bestaat er geen enkel overzicht, ook hun stabiliteit is onbekend. Er is een onderverdeling gemaakt van een aantal tijdelijke waterkeringsystemen aan de hand van de manier waarop het water wordt gekeerd.

Deze systemen zijn onderverdeeld in vier groepen, de opblaasbare kokervormige geomembranen of plastic elementen, de celvormige systemen, de staande systemen en de snelwegbarrièreblokken.

De twee voornaamste bezwijkmechanismen van de systemen zijn het wegglijden en het omrollen of kantelen van de constructie. Bij veel systemen treedt er gevaar voor instabiliteit op bij een te keren waterhoogte ongeveer 75% van de constructiehoogte. Systemen met een hoog eigen gewicht zijn het meest stabiel. De staande systemen zijn het meest kwetsbaar voor beschadigingen, vooral omdat de complete kerende werking van deze systemen afhangt van de waterdichtheid van het geomembraan. Nadeel van systemen met een hoog gewicht is dat er door het eigengewicht, veel energie nodig is om ze te plaatsen en/of te vullen, waardoor kostbare tijd verloren kan gaan.

Bij veel systemen hangt de weerstand tegen onderloopsheid af van de aanwezigheid van een geomembraan. Fabrikanten overschatten vaak de werking van dit geomembraan, waardoor er bij een kleine discontinuïteit grote gevolgen optreden voor de stabiliteit van de tijdelijke waterkering (TWK).

Gaat men een TWK op en bestaande waterkering toepassen dan zal men moeten kijken wat de interactie is tussen deze waterkeringen. Als case is de Lekdijk bij Krimpen aan den Lek gekozen, waar een dijkverhoging wordt toegepast. Omdat de ophoging maar enkele decimeters is, maar toch grote invloed heeft op de omgeving, kan een tijdelijke waterkering misschien een alternatief bieden. Er zal vooral gekeken worden naar de interactie tussen TWK en de permanente waterkering.

Uit het onderzoek komt naar voren dat vele factoren de stabiliteit van de combinatie beïnvloeden. Door het aanbrengen van een TWK op de dijk en de extra te keren waterhoogte zal de freatische lijn in de dijk stijgen en de druk op de dijk toenemen, waardoor de stabiliteit van de dijk afneemt. Uit onderzoek blijkt dat de TWK het beste aan de natte kant van de dijk geplaatst kan worden, dit in verband met de stabiliteit van het dijklichaam. Door de lage macro-stabiliteit van de onderzochte dijk is het in deze case niet aan te raden een TWK toe te passen als alternatief voor de dijkverzwaring, echter in andere gevallen kunnen enkele systemen een prima alternatief zijn voor een zandzak-kering of een structurele dijkverhoging.

## 1. Inleiding

Het gevecht van de mens tegen het water blijft voortduren. De laatste tijd zijn het in Nederland en daarbuiten vaak door de mens zelf veroorzaakte factoren die het water tot nieuwe recordhoogten opstuwen. Het gevaar voor overstromingen is toegenomen. De opgetreden afvoer van de Rijn in 1993 en 1995 heeft volgens de toen geldende werkklijn voor de afvoerstatistiek een overschrijdingsfrequentie van circa 1/80 per jaar (volgens Technische adviescommissie voor de Waterkeringen 1994 [01],[02]; d.w.z. een herhalingstijd van 80 jaar. Voor de Maas is de herhalingstijd van de opgetreden topafvoer ongeveer 100 jaar. De kans op hoge waterstanden is echter groter geworden: in veel gevallen word geen gebruik gemaakt van de bestaande overlaatsystemen in de verschillende deelstaten van Duitsland. Mede hierdoor worden de looptijden van de afvoergolven korter en stijgt het water binnen relatief korte tijd tot grote hoogten.

De voorspelling van waterstanden op korte termijn (tot 24 uur) waren in Nederland en Duitsland geen probleem en kwamen goed overeen met de optredende waterstanden (volgens Technische adviescommissie voor de Waterkeringen 1994 [01]). Voorspellingen op langere termijn aan de hand van modellen waren vaak minder nauwkeurig en hebben op verschillende plaatsen afwijkingen te zien gegeven van de werkelijk opgetreden waterstanden. Veranderingen in de lokale situatie of niet geheel juiste afvoermodellen zijn daarvan de voornaamste oorzaken. Het is wenselijk over voorspellingen te beschikken die een langere periode beslaan. In dichtbevolkte gebieden moet de beslissing tot evacuatie of het aanbrengen van een aanvullende waterkering (nooddijken e.d.) vroegtijdig genomen worden [03].

In allerijl worden zandzakken, vulmateriaal, materieel en mankracht opgeroepen om deze nooddijken te construeren, echter bouwvoorschriften hiervoor ontbreken. De zandzakdijk heeft zich in het verleden meerdere malen bewezen, maar er zijn alternatieven op de markt.

In dit rapport wordt allereerst gekeken hoe een zandzakdijk dient te worden aangelegd. Vervolgens wordt er gekeken welke krachten invloed hebben op de stabiliteit van een tijdelijke waterkering, ook in interactie met een bestaande waterkering.

Dan wordt er gekeken naar welke systemen er op de markt zijn. De systemen worden onderverdeeld in een aantal groepen, al naar gelang hun eigenschappen.

Vervolgens worden er van elke groep enkele systemen nader onderzocht op stabiliteit, waarna de systemen onderling worden vergeleken.



Ook wordt er gekeken of het beste van alle systemen in een nieuw systeem kan worden samengebracht.

Uiteindelijk wordt aan de hand van een bestaande situatie gekeken naar de interactie van een tijdelijke waterkering met een bestaande waterkering, in dit geval een deel van de Lekdijk bij Krimpen aan de Lek. Aan de hand van dit voorbeeld worden enkele grondmechanische berekening gemaakt, om de invloed op de stabiliteit van het dijklichaam te bepalen. Daarna wordt gekeken of de TWK hier een alternatief kan zijn voor een structurele dijkverhoging.

## 2. Probleembeschrijving

### 2.1. Situatieschets

Door diverse oorzaken treden, frequenter dan volgens modellen voor rivierwaterafvoer (in een hele korte tijd) zeer hoge waterstanden op zoals in 1993 en 1995. In 1995 was er zelfs preventieve evacuatie vanwege de voorspelde waterstanden. Door onnauwkeurigheid in voorspellingen van waterhoogte, de snelheid waarmee die hoogte bereikt wordt plus het feit dat structurele verhogingen van alle dijken kostbaar, langdurig en problematisch is, is de vraag naar goedkopere, snel op te zetten tijdelijke verhogingen van de waterkering toegenomen.

Als ten gevolge van hoge rivierwaterstanden het water over de dijk dreigt te komen zal in allerijl een dijkverhoging moeten worden toegepast om overstroming te voorkomen. Hoewel dit bijna overal nog met zandzakken gebeurt, bestaat er een aantal alternatieven, zoals tijdelijke waterkeringen waarbij geen gebruik wordt gemaakt van zandzakken. De voor- en nadelen van deze alternatieven alsmede hun eigen stabiliteit en de totale stabiliteit van de waterkering in interactie met de dijkverhoging zijn in de praktijk nog nauwelijks onderzocht of getoetst. Al de momenteel beschikbare informatie bestaat uit foldermateriaal van producenten.

### 2.2. Probleemanalyse

Er is een aantal tijdelijke waterkeringsystemen op de markt die dienen als vervanging van de zandzak als tijdelijke waterkering. Omdat de zandzakdijk een arbeidsintensieve oplossing is, waarvan de stabiliteit onbekend is, is een vergelijking met andere tijdelijke waterkeringssystemen gewenst. Een vergelijkingsanalyse van deze systemen met betrekking tot de voor- en nadelen bij toepassing, maar vooral ook met betrekking tot functionering tijdens extreem hoog water is niet beschikbaar. De eigen stabiliteit van de systemen noch de macrostabiliteit van de systemen in interactie met de onderliggende waterkering zijn in onvoldoende mate onderzocht; met name de interactie tussen systeem en bestaande waterkering is daarbij van cruciaal belang.

## 2.3. Probleemstelling

Welke soorten tijdelijke waterkeringsystemen zijn er afgezien van de zandzak beschikbaar; wat is hun betrouwbaarheid in de praktijk in termen van eigen stabiliteit; welke wisselwerking is er met de bestaande waterkeringen en de stabiliteit van de totale constructie van de totale constructie, dit wil zeggen bestaande en tijdelijke kering samen.

## 2.4. Doelstelling

De doelstelling van deze studie is het maken van een inventarisatie van de meest belovende bestaande systemen als vervanging van de zandzak alsmede de controle daarvan op de microstabiliteit van het betreffende systeem en de macrostabiliteit van systeem en bestaande waterkeringen alsmede de en wisselwerking met bestaande waterkeringen.

## 2.5. Uitgangspunten

In dit rapport worden de volgende eisen gesteld:

- de oorzaak van de hoge waterstanden wordt niet geanalyseerd.
- structurele oplossingen voor het hoogwaterprobleem blijven buiten beschouwing
- alleen bestaande systemen worden geanalyseerd en vergeleken
- er worden alleen systemen beschouwd die waterkerend zijn.
- alleen geheel of gedeeltelijk mobiele systemen worden geanalyseerd.
- er worden alleen systemen beschouwd die makkelijk en snel kunnen worden aangebracht cq. aangepast aan de omgeving
- er wordt gekeken naar toepassing onder Nederlandse omstandigheden (rivier)dijken, kaden e.d.
- er wordt niet gekeken naar de invloed van golven op de kering
- er wordt niet gekeken naar de invloed van stroming op de kering
- de bodem is poreus, hierdoor is er een waterdruk tegen de onderzijde van de constructie.

### 3. De zandzak

#### 3.1. Algemeen

Al sinds het begin van de strijd van de Nederlanders (en van veel andere volkeren in andere delen van de wereld) tegen het water wordt gebruik gemaakt van de zandzak. Vooral voor tijdelijke waterkeringen is de zandzak nog steeds favoriet. Het vertrouwen in hun waterkerende capaciteit is echter altijd aanwezig, vooral omdat deze methode zich in het verleden heeft bewezen.



*Figuur 3.1. Een foto uit de jaren '50 waarop men probeert het water van een gezwollen riviertje te bedwingen met behulp van zandzakken.*

Het gebruik van zandzakken is een eenvoudige manier om schade door overstromingen te voorkomen of te verminderen. Goed geplaatste zandzakken kunnen verhinderen dat het water bijvoorbeeld gebouwen binnenkomt terwijl ze ook zeer geschikt zijn om een waterkering tijdelijk te verhogen ter voorkoming van overstroming. Zandzakdijken garanderen geen waterdichte afsluiting, maar voldoen in de meeste gevallen, omdat ze bijna onder alle omstandigheden kunnen worden ingezet.

### 3.2. Materialen

De materialen voor een zandzakdijk zoals zakken en vulmiddelen zijn vaak hoofdzakelijk gekozen omdat ze ter plekke voorradig zijn. Ook andere middelen die gebruikt worden om de keringen aan te leggen (energie in de vorm van mankracht en materieel) zijn vaak om hun aanwezigheid ingezet.



*Figuur 3.2 Zandzakdijk als waterkering.*

Zoals uit de literatuur blijkt zijn er verschillende factoren die van belang zijn om voor een bepaald project de zandzak met succes toe te passen (Kevin Biggar, / Srbojjub Masala, 1988 [04], Colorado Flood Information [05],[06];

De belangrijkste factoren die hieruit naar voren komen:

- er dient een voldoende aantal zakken beschikbaar te zijn
- er moet voldoende vulmateriaal (zand, klei e.d.) en materieel. (scheppen, shovels, zandauto's e.d.) aanwezig zijn.
- er moet op het juiste moment beschikt kunnen worden over voldoende mankracht, liefst met enige kennis van zaken.
- er dient voldoende tijd te zijn om de kering aan te kunnen leggen.

Na afloop van het hoogwater moet de zandzakdijk ook weer worden opgeruimd. De hiervoor vereiste inspanning is een niet te verwaarlozen factor: voor afbreken is vaak een stuk minder animo dan voor opbouwen.



*Figuur 3.3 Als het water weer is gedaald, zit pas het halve werk erop.*

### **3.2.1. De zak**

Waren de zandzakken vroeger meestal van jute, tegenwoordig zijn ze vaak van kunststof. Hiermee kunnen de zakken waterdicht gemaakt worden, waardoor de waterdoorlatendheid van de dijk verder terug gebracht kan worden. Ook kunnen de kunststofzakken met elke gewenste sterktes worden gemaakt. Ook zijn de kunststof zakken minder gevoelig voor vocht, de jute zakken kunnen hierdoor gaan rotten.

De gemiddelde zandzak heeft in gevulde staat een afmeting van 0,50 x 0,50 x 0,20 m. of een inhoud van  $0,050 \text{ m}^3$  (de zakken zijn natuurlijk groter, maar ze worden niet geheel gevuld.)

### 3.2.2. Vulmateriaal

De vulling voor een zak kan eigenlijk ieder materiaal worden toegepast, zolang het maar zwaarder is dan water; meestal bestaat de vulling echter uit zand of klei. Bij een waterdichte zak (bijvoorbeeld plastic) kan men natuurlijk ook bijvoorbeeld grind toepassen, of eigenlijk alles wat zwaarder is dan water en in voldoende mate beschikbaar. Maar doordat men vroeger vooral jute gebruikte, wordt zand gezien als het algemene vulmiddel, vandaar ook de naam zandzak. Zou men een jute zak met grind vullen, dan zou tussen het grind door water kunnen lopen. De jute zakken worden ook wel met klei gevuld. Volgens het US Army Corps of Engineers [07] staat dat er kunnen kleine kleideeltjes door de mazen van de (jute)zak spoelen, waardoor uitspoeling van gronddeeltjes kan voorkomen. Dan moeten de zakken wel in (hard)stromend water liggen en dan betreft het alleen de zakken die aan de rand liggen. Een zak met klei is natuurlijk wel minder waterdoorlatend dan een zak met zand. Een oplossing die wordt aangedragen om uitspoeling te voorkomen is het gebruik van twee zakken in elkaar [07].

### 3.2.3. Wijze van vullen

Over het vulpercentage van de zak verschillen de meeste van mening. Op de website van het Department of Water Resources in Californië dienen de zakken maar voor 1/3 deel te worden gevuld zodat de zakken makkelijk dichtgeknoopt kunnen worden. Volgens de verschillende website's van de United States Armycorps of Engineers varieert de vulling van de zakken tussen de 1/2 of 2/3 deel, dit verschilt per regio-corps. [07], [08], [09].

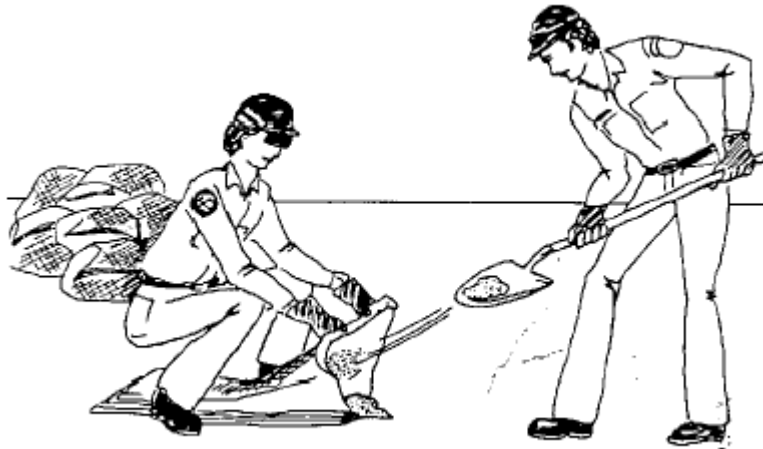
Er zijn verschillende systemen ontwikkeld, om in korte tijd een groot aantal zandzakken te kunnen vullen. Deze systemen bestaan vaak niet meer uit een frame die de zakken openhouden en een reservoir, waardoor de zakken machinaal of met groot materieel kunnen worden gevuld. Sommige systemen kunnen de hoeveelheid zand die in de zak gaat zelf doseren, maar vaak dient men zelf de zandtoevoer te regelen.



*Figuur 3.4 De "Quicksander", "GoBagger", "Sandbagger" en "Li'l Bagger" zijn systemen waarmee het vullen van zandzakken kan worden versneld.*



Desondanks blijft het bouwen van een zandzakdijk een zeer arbeidsintensieve onderneming, omdat alle zakken met de hand moeten worden geplaatst en vervolgens goed moeten worden aangestampt. Om de zakken te vullen en te plaatsen wordt vaak in allerijl mankracht opgeroepen zoals omwonenden die vaak mogelijke slachtoffer zijn, vrijwilligers, hulpdiensten en het leger. Deze mensen hebben vaak geen ervaring, maar hoe men met een schep een zandzak dient te vullen kan vrij snel uitgelegd worden.



*Figuur 3.5 Voor het vullen van een zandzak zijn al snel 2 mensen nodig.*

#### **3.2.4. Opslagruimte**

Er moet vanzelfsprekend voldoende opslagruimte voor de zakken aanwezig zijn, wanneer ze niet gebruikt worden. Al naar gelang het materiaal van de zandzak moet deze beschermd (overdekt of binnen) worden opgeslagen. Het is niet bekend of de aangewezen instanties het materiaal van de zandzak wordt aanpassen aan de opslagruimte, of dat er een ruimte wordt gezocht die voldoende bescherming biedt voor een bepaald type zandzak. Waarschijnlijk een wisselwerking hier tussen. Als zandzakken gevuld worden opgeslagen vergaan ze vaak binnen afzienbare tijd (vooral zakken van natuurlijke materialen), daarbij komt dat gevulde zandzakken erg veel ruimte in beslag nemen, niet alleen bij opslag, maar ook bij vervoer.

### 3.3. Constructie Zandzakdijk

#### 3.3.1. Locatie

Er zijn zoveel manieren voor het maken van een zandzakdijk als er bouwers zijn, er bestaan geen echt eenduidige regels voor het construeren van een zandzakdijk. Ook de Technische Adviescommissie Waterkeringen heeft bij navraag geen leidraad over hoe een zandzakdijk dient te worden aangelegd, of welke vuistregels er in acht dienen te worden genomen. Vaak worden er in allerijl met man en macht zo snel mogelijk wat zandzakken neergegoooid om het wassende water te keren. Dit gebeurt vaak ongeorganiseerd en de meeste bouwers hebben nauwelijks een idee waarmee ze bezig zijn.

Met de bouw van de zandzakdijk kan worden begonnen als het terrein is ontdaan van obstakels (bijvoorbeeld takken en/of grote of scherpe stenen die de zakken zouden kunnen beschadigen). Volgens bijvoorbeeld de Yellowstone County, Disaster & Emergency Services [10] dient er een ondiep “verbindingsgreppel” gegraven te worden, voor een goede aansluiting met de ondergrond. Deze dient ongeveer 1 zandzak diep en 2 zandzakken wijd te zijn. Om de waterdichtheid van de zandzakdijk te vergroten kan er een geomembraan worden ingeklemd



*Figuur 3.6 Een verbindingsgreppel van ongeveer 1 zandzak diep en 2 zandzakken wijd.*

Een zandzakdijk is vaak veel breder dan hoog voor een betere stabiliteit, daar moet rekening mee worden gehouden bij het kiezen van de locatie, er moet vanzelfsprekend voldoende ruimte zijn om de dijk aan te kunnen leggen. Ook moet het mogelijk zijn de zandzakken ter plaatse te krijgen. Volgens de Colorado's Flood Information [05] dient er bij de keuze van de locatie van de zandzakdijk ook rekening te worden gehouden met kelders en funderingen. Men raadt aan om tenminste 2 meter afstand te bewaren tussen zandzakdijk en kelder muur en/of fundering.

Of dit is omdat men bang is voor het bezwijken van keldermuren door de (extra) belastingen ten gevolge van de zandzakdijk, het opbarsten van de keldervloeren door de toegenomen waterdruk of men andere redenen heeft blijft onbekend.

#### 3.3.2. Opbouw

Over als over de juiste opbouw van een zandzakdijk bestaat veel discussie.

Volgens het US Army Corps of Engineers 2001[11] dient de onderste laag evenwijdig aan de stroom te liggen. De volgende laag dient hier dan dwars op gelegd te worden. Door een

waterdicht geotextiel (geomembraan) te gebruiken kan de waterdichtheid van de dijk worden vergroot. Of de zakken die parallel aan de stroming liggen met de open kant stroomop- of afwaarts dienen te liggen is een discussiepunt evenals het aantal benodigde zandzakken. Het is niet nodig de zakken dicht te naaien of te binden (volgens het overgrote deel van de geraadpleegde bronnen).



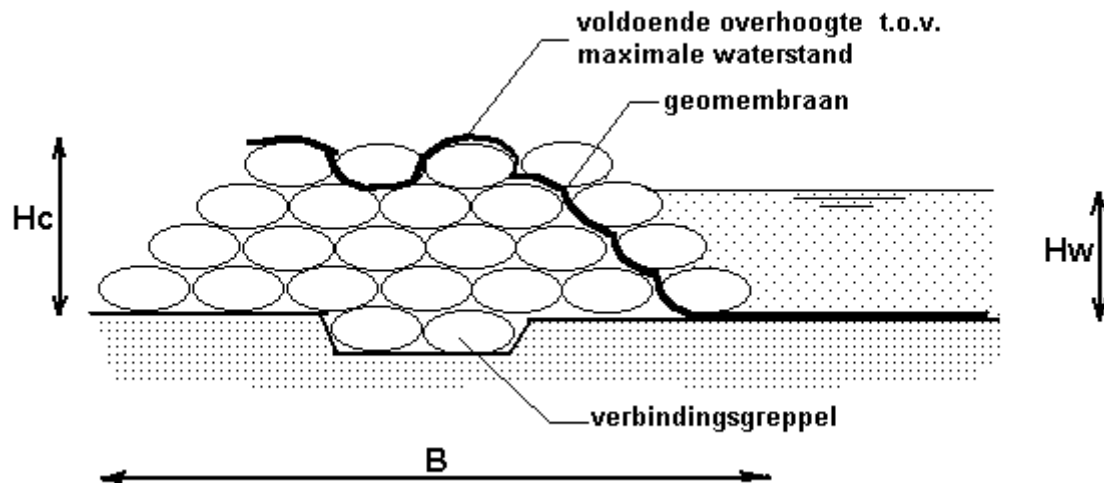
*Figuur 3.7 Voor een goede aansluiting dienen alle zakken goed aangestampd te worden.*

Het lege gedeelte van de zandzak wordt in de lengte richting aan de onderkant geplaatst (bij sommige weer aan de bovenkant), met de volgende zak erop. US Armycorps of Engineers, Buffalo District, schrijft voor het lege gedeelte in een driehoek te vouwen [09]. Het enige waar alle partijen het over eens blijken te zijn is dat de zandzakken goed aangestampd dienen te worden, om zo een goed aansluiting tussen de zakken te krijgen.



*Figuur 3.8 De zandzakken niet los op elkaar gooien, maar goed aanstampen voor een betere onderlinge aansluiting.*

De verschillende rijen zandzakken dienen halfsteens te worden neergelegd, zodat er overdwars geen naden kunnen ontstaan waar het water door zou kunnen stromen (om dit tegen te gaan wordt er tegenwoordig vaak een geomembraan in de dijk aangebracht).



Figuur 3.9 Schematische doorsnede van een zandzakdijk.

### 3.3.3. Hoogte

De hoogte van de zandzakdijk is natuurlijk afhankelijk van de waterhoogte die men wenst te keren. Vaak wordt aangeraden de dijk hoger te maken dan het hoogst verwachte waterniveau, waardoor de constructiehoogte van een zandzakdijk vaak hoger is dan de te keren waterdiepte, maar hoeveel hoger is niet echt duidelijk. Daarom wordt de stabiliteit van de constructies niet alleen berekend met een te keren waterdiepte van 100% constructiehoogte (maar voor het hele verloop tot 100% constructiehoogte). Sommige bronnen hebben het over 25% overhoogte ten opzichte van de waterdiepte, anderen spreken over tenminste 0,50 m.

### 3.3.4. Breedte

De breedte dient volgens de meeste bronnen tenminste 3 maal de hoogte te zijn (Yellowstone County Disaster & Emergency Services [10]), anderen bronnen hebben het over een minimum breedte van de voet van "de hoogte + 0,50 m." Er geldt natuurlijk, hoe breder hoe stabiel. Ook zorgt een bredere voet voor een betere aansluiting met de ondergrond, het nadeel is dat er meer zakken en vulmateriaal nodig zijn, waardoor ook de aanleg langer duurt.



Figuur 3.10 De zandzakken dienen "halfsteens" te worden neergelegd. De breedte van de voet van de zandzakdijk moet tenminste 3 maal de hoogte zijn.

### 3.3.5. Benodigd aantal zakken

Over het aantal zandzakken wat nodig is om een zandzakdijk van een bepaalde hoogte aan te leggen verschilt per bron.

De tabel hieronder geeft gemiddelde aantallen volgens het US Army Corps of Engineers[07]. Het is echter raadzaam extra gevulde zandzakken in de buurt te houden, om zwakke of beschadigde plekken te kunnen versterken.

<b>Benodigde zakken voor 10 m. dijk</b>		
<b>Hoogte (in m.)</b>	<b>Aantal zandzakken</b>	<b>Benodigd zand (in tonnen)</b>
0,33	± 200	± 4,5
0,66	± 670	± 11
1,00	±1150	± 19

*Tabel 3.1. Een schatting van het aantal benodigde zandzakken en zand volgens het United States Army Corps of Engineers.*

### 3.3.6. Geomembraan

Om de doorlatendheid van de zandzakdijk tot een minimum terug te brengen en om onderloopsheid te voorkomen past men in vele gevallen een geomembraan toe (een waterdicht folie). Dit geomembraan wordt aan de natte kant van de zandzakdijk toegepast. Soms helemaal aan de buitenkant, maar vaak wordt nog aan laag zandzakken op het folie aangebracht dit om het geomembraan op zijn plaats te houden en een goede aansluiting te krijgen tussen geomembraan en ondergrond.

- het geomembraan heeft geen invloed op de glijdweerstand van de constructie. Het geomembraan is met de constructie verbonden om onderloopsheid tegen te gaan, maar niet om het wegglijden van de constructie tegen te gaan.
- het geomembraan heeft bij de berekeningen van de stabiliteit van constructies geen invloed op de verticale waterdruk tegen de onderkant van de constructie.

### 3.4. Stabiliteit zandzakdijk

De zandzakdijk bestaat uit elementen, waarbij elk deeltje zijn eigen vorm en gewicht heeft. Elke zandzakdijk is anders, de sterkte van de dijk is afhankelijk van een groot aantal parameters:

de zak:	grootte materiaal percentage gevuld waterdoorlatendheid
vulmiddel:	dichtheid korrelgrootte vorm van de korrels mate van verdichting waterdoorlatendheid
opbouw:	vorm positie zakken (ligging ten opzichte van elkaar) aanwezigheid en plaats geomembraan

Ondanks de aanwezigheid van een geomembraan zal de ondergrond na verloop van tijd verzadigd raken met water, waardoor deze kan bezwijken, dus ook de periode waarvoor de dijk gebruikt wordt kan invloed hebben op de stabiliteit.

Elke zandzak heeft zijn eigen evenwicht, afhankelijk van de positie in de zandzakdijk. Wordt dit evenwicht verstoort, dan kan het “deeltje” bezwijken, waardoor de stabiliteit van de hele zandzakdijk in gevaar kan komen.

Doordat de sterkte van de zandzakdijk van zoveel factoren afhangt, kan men moeilijk spreken over “de stabiliteit van de algemene zandzakdijk”. Door gebrek aan dit inzicht is het niet te zeggen welke bouwmethode de juiste is, dit is ook afhankelijk van de situatie waarin de kering wordt toegepast.

De vuistregels zijn bepaald door de eerdere ervaringen met zandzakdijken:

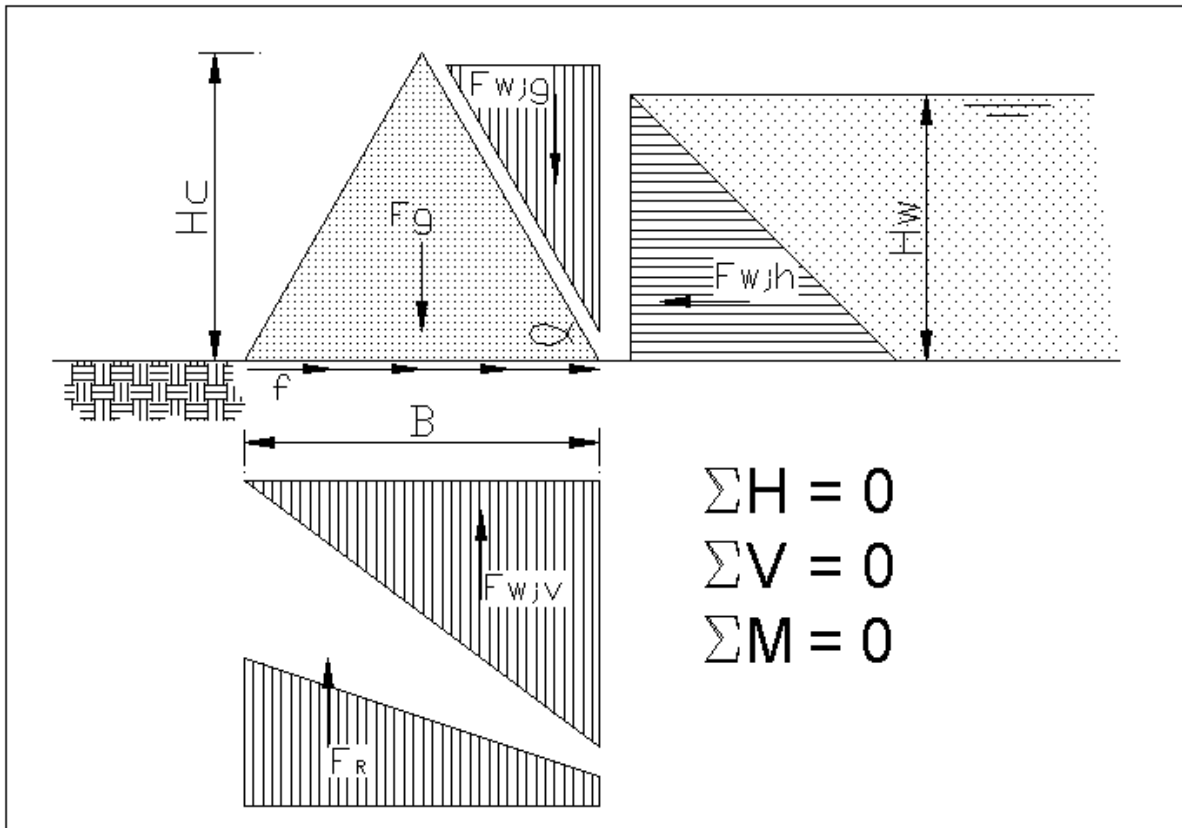
- zakken voor ongeveer 50% vullen
- vulling: jute zakken alleen met klei of zand, plastic zakken kan ook met andere materialen, mits zwaarder dan water
- de hoogte van de zandzakdijk wordt bepaald door de te keren hoogte + 25% met een minimum van 0,50 m.
- de breedte dient tenminste 3 maal de hoogte te bedragen met een minimum van de hoogte + 0,50 m.
- indien mogelijk een geul aanbrengen van twee zandzakken breed om zo een goed aansluiting met de ondergrond te krijgen.
- het is aan te raden om aan de natte zijde van de dijk een geomembraan aan te brengen om zo de waterdichtheid van de dijk te vergroten.
- Er dient tenminste 2 meter afstand gehouden te worden van keldermuren en funderingen.

Om toch tot een orde van grote van de stabiliteit van de zandzakdijk te komen is een berekening gemaakt. Hierin is alleen gekeken naar de stabiliteit met betrekking tot glijden (zie ook bijlage : berekening zandzakdijk).

## 4. Stabiliteit van de tijdelijke waterkeringen

### 4.1. Krachten

Om de stabiliteit van de systemen te kunnen vergelijken worden eerst de krachten bepaald welke op de systemen werken en welke krachten er op de ondergrond (moeten kunnen) worden overgebracht. Deze krachten zijn direct het gevolg van de te keren waterhoogte en het eigengewicht van het systeem.



*Figuur 4.1. De krachten die op de tijdelijke waterkering werken ten gevolge van waterdruk en eigen gewicht.*

De voornaamste kracht is de druk die het water op het systeem uitoefent, we verdelen deze kracht in de horizontale en de verticale componenten. De krachten ten gevolge van het gewicht van het systeem en de wrijving tussen systeem en ondergrond zorgen voor de spanning in de ondergrond die resulteren uit alle voorgaande krachten.



De volgende symbolen zullen worden gebruikt:

$H_w$	=	hoogte van het te keren water [m.]
$H_c$	=	hoogte van de kerende constructie [m.]
$B$	=	breedte van de kerende constructie [m.]
$F_G$	=	gewicht van de totale waterkerende constructie per meter lengte [N]
$F_{w;G}$	=	naar beneden gerichte verticale waterdruk in geval van een niet verticale natte zijde.
$r_G$	=	arm rotatiepunt – zwaartepunt [m.]
$F_{w;h}$	=	horizontale kracht op de constructie ten gevolge van het te keren water [N]
$F_{w;v}$	=	opwaartse kracht op de constructie ten gevolge van het te keren water [N]
$F_{v;eff}$	=	effectieve gewicht ( $F_{v;eff} = F_G - F_{w;v} + F_{w;G}$ ) [N]
$\gamma_w$	=	volumiek gewicht van water (10 kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_b$	=	volumiek gewicht van beton (24 kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_v$	=	volumiek gewicht vulmateriaal (18 kN/m <sup>3</sup> )
$f$	=	wrijvingscoëfficiënt [-]
$V_g$	=	veiligheid tegen glijden [-]
$\delta$	=	wrijvingshoek tussen ondergrond en constructie
$x$	=	actieve breedte volgens Meyerhof-distributie
$\Sigma H$	=	som van alle horizontale krachten [N]
$\Sigma V$	=	som van alle verticale krachten
$\Sigma T$	=	resultierend moment om een punt van de constructie ten gevolge van de op deze constructie werkende krachten [Nm]

Horizontale kracht ten gevolge van waterdruk tegen de constructie (per meter lengte):

$$F_{w;h} = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H_w^2 \quad (\text{formule 4.1})$$

Verticale kracht ten gevolge waterdruk tegen de constructie (per meter lengte):

$$F_{w;v} = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H_w \cdot B \quad (\text{formule 4.2})$$

Grondconstructies waarbij het gewicht van de constructie een essentiële rol speelt met betrekking tot de stabiliteit worden gewichtsconstructies genoemd. Bij de meeste van de onderzochte tijdelijke waterkering systemen is dit ook het geval. Bij deze systemen gaat het er echter niet om grond te keren, maar om water te keren. Wanneer we naar de krachtwervingen op de systemen kijken blijkt dat de belangrijkste kracht, de horizontale kracht ten gevolge van waterdruk, moet worden opgenomen door de wrijving tussen systeem en ondergrond.

#### 4.2. Weerstand tegen horizontaal afschuiven:

De wrijving tussen de constructie en de ondergrond moet groter zijn dan de som van de horizontale krachten. De wrijving  $W$  wordt bepaald door het product van de horizontale wrijvingscoëfficiënt  $f$  en het effectieve gewicht  $F_{v,eff}$ , oftewel

$$F_{w,h} < W \rightarrow W = f \cdot F_{v,eff} \rightarrow \frac{F_{w,h}}{F_{v,eff}} < f \quad (\text{formule 4.3})$$

Dit betekent dat de hoek van de resultante van de krachten met de verticaal kleiner moet zijn dan de wrijvingshoek tussen de constructie en de ondergrond en kleiner dan de inwendige wrijvingshoek van de ondergrond.

$$V_g = \frac{F_{v,eff} \cdot \tan \delta}{F_{w,h}} \quad (\text{formule 4.4.})$$

Aangezien de wrijving tussen de constructie en de ondergrond onbekend is kunnen we de veiligheidsfactor  $V_G$  [-] kiezen zodat we voor verschillende veiligheidsfactoren de minimaal benodigde wrijvingscoëfficiënt  $f$  [-] kunnen berekenen. Bij een veiligheidsfactor kleiner dan 1 bezwijkt de constructie door glijden, bij een veiligheidsfactor groter dan 1 is er voldoende weerstand om wegglijden van de constructie te voorkomen

Bij sommige constructies het contactvlak met de ondergrond klein ten opzichte van het te keren water. Dit komt omdat de voet van de constructie niet over de volle breedte van de tijdelijke waterkering aanwezig is maar verdeeld is volgens een hart op hart afstand, dat terwijl een deel van het gewicht wel over de volle lengte wordt afgedragen aan de ondergrond.

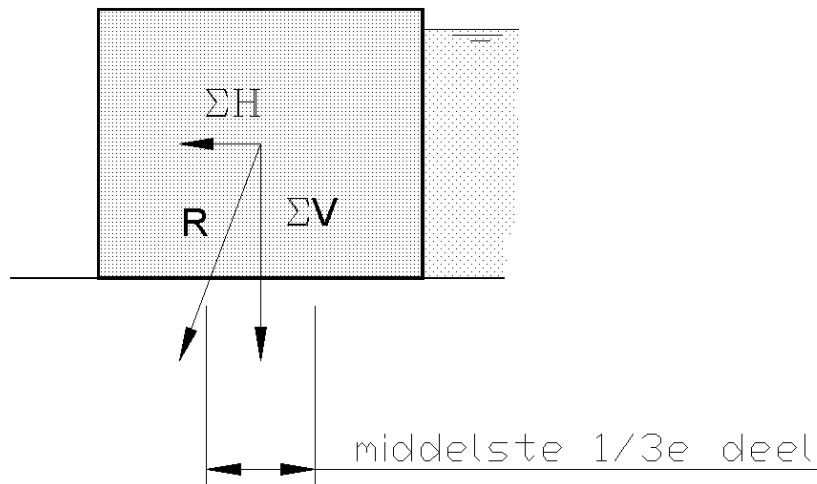


*Figuur 4.2 Een Aquabarrier waarbij er 2 pallets boven elkaar worden gebruikt, de metalen steunen op een grasveld zijn echter erg gevoelig voor wegglijden.*

### 4.3. Weerstand tegen kantelen

Onder kantelen wordt ook wel verstaan, het roteren om een willekeurige horizontale as, in dit geval in de lengterichting van de tijdelijke waterkering.

Als de resultante ( $R$ ) vanuit het zwaartepunt binnen de kern valt (dit wil zeggen het middelste  $\frac{1}{3}$  gedeelte van het funderingsvlak), dan kan in het algemeen worden gesteld dat het volledige funderingsvlak bijdraagt aan de krachtoverdracht volgens het *dictaat waterbouwkunde f3*, 1998 [12].



Figuur 4.3 Absolute stabiliteit wanneer de resultante  $R$  door het middelste  $\frac{1}{3}^{de}$  deel gaat.

Waarbij geldt:

$$\Sigma H = F_{w,h} \quad (\text{formule 4.5})$$

$$\Sigma V = F_G - F_{w,v} + F_{w;G} \quad (\text{formule 4.6})$$

$$R = \sqrt{(\Sigma H)^2 + (\Sigma V)^2} \quad (\text{formule 4.7})$$

Valt de resultante buiten de kern, dan kan de korreldruk onder het systeem alleen nog maar evenwicht maken als een resultante van een driehoekig verloop, aangezien er geen trek op kan treden tussen systeem en bodem. Hierdoor werkt maar een gedeelte van het grondoppervlak mee aan de krachtoverdracht, waardoor het gevaar op kantelen ten gevolge van het afschuiven van de grond wordt verhoogd. [12]

Een andere manier is het berekenen van het moment om het draaipunt. Het kantelmoment dient dan kleiner te zijn dan het contramoment. Dit is ook terug te zien aan de spanningen in

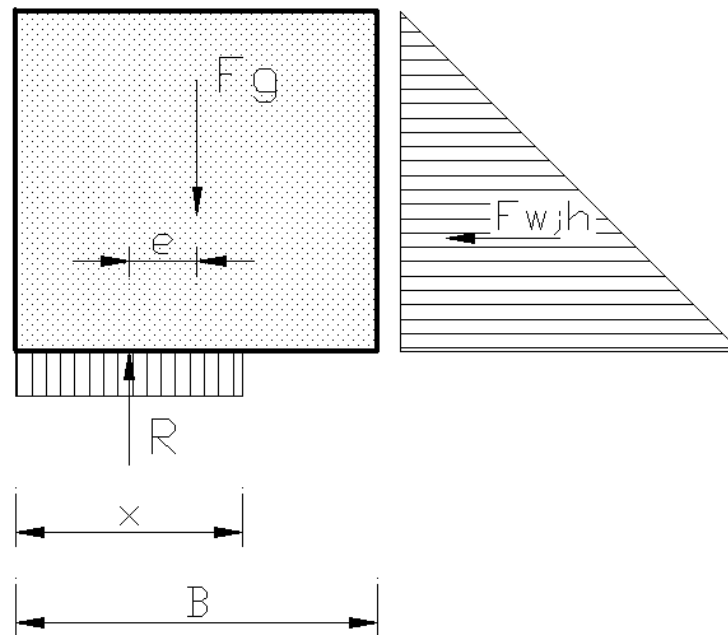
de ondergrond tegen de onderkant van de constructie. Daar de grond geen trek op kan nemen mogen de spanningen niet negatief zijn.

Het probleem is dat voor de verschillende waterkeringen verschillende aannames moeten worden gemaakt. Zo zal bij sommige systemen wel met waterdruk tegen de onderkant van de constructie gerekend moeten worden, terwijl dit bij andere systemen niet reëel is en deze (destabiliserende) kracht weggelaten moet worden. Dit houdt echter wel in dat deze systemen gevoeliger zijn voor lekkage.

#### 4.4 Realistische waterspanningverdeling onder tegen basis

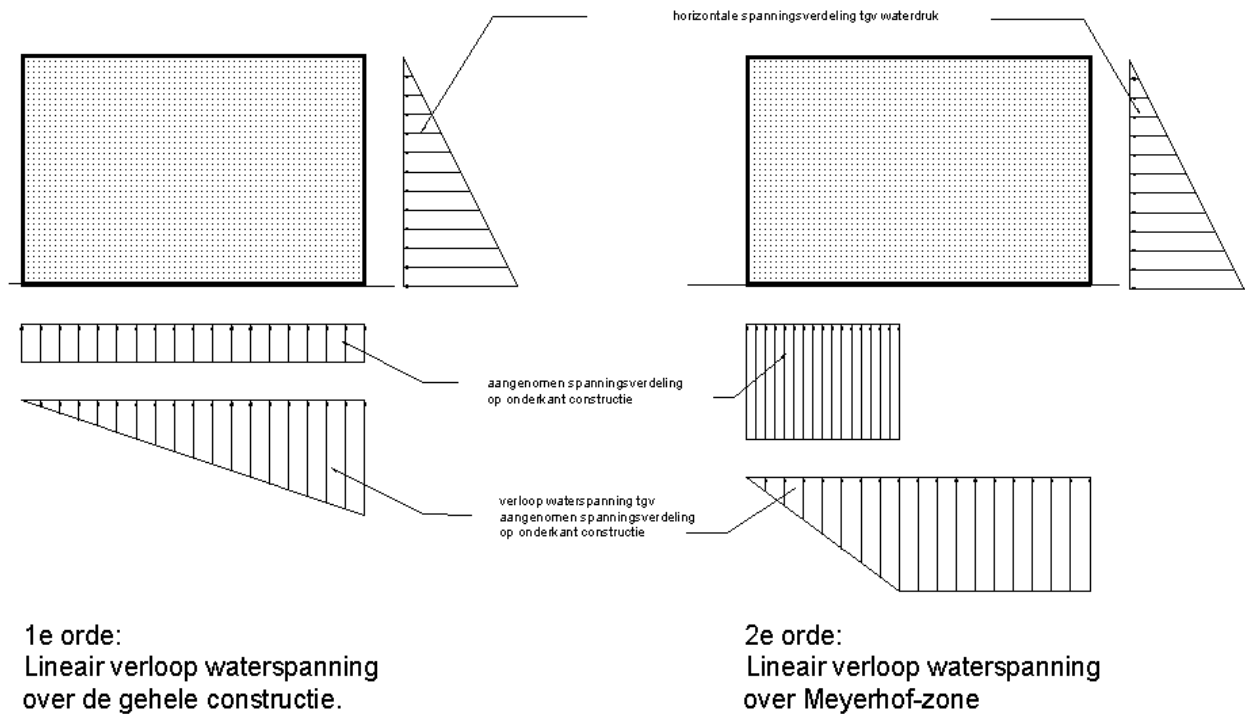
Bij de berekeningen is gebruik gemaakt van een lineair verloop van het verhang. Door het niet over de hele breedte van de constructie lineariseren van het verhang wordt in de 2<sup>de</sup> orde de Meyerhof-zone [13] als drukzone aangenomen, waardoor de lengte waarover het totale verhang plaatsvindt verkort, hierdoor wordt het verhang ter plaatse nog groter. De Meyerhof distributie dient hier alleen voor het bepalen van de 2<sup>de</sup> orde van het verloop van de waterdruk tegen de onderkant van de tijdelijke waterkering.

Bij de Meyerhof Spannings Distributiemethode wordt de grote en de excentriciteit van de resultante  $R$  bepaald uit het momentevenwicht. De breedte van de Meyerhofzone ( $x$ ) wordt bepaald door 2 maal de afstand van de resultante kracht tot het einde van de constructie te nemen. De spanning volgt uit de resultante te delen door de breedte van de Meyerhofzone.



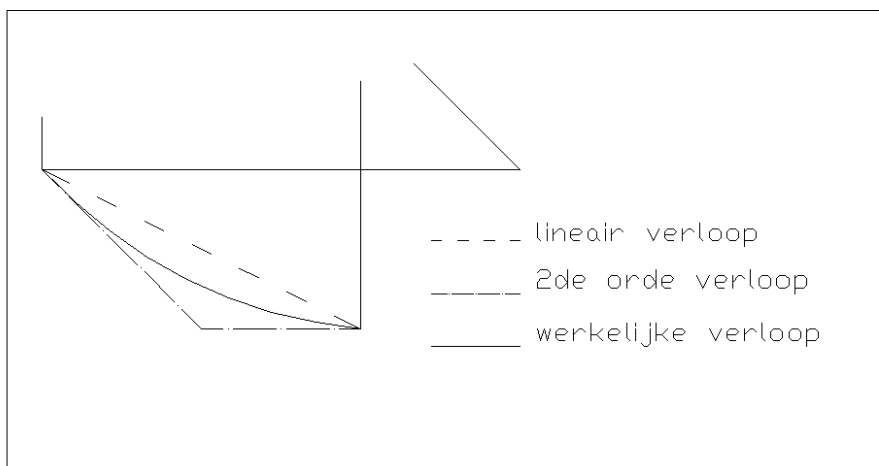
*Figuur 4.4 Aanname spanningsverloop tegen onderkant constructie volgens de Meyerhof Spannings Distributie-methode.*

Hierdoor krijgt men een voorzichtige aanname van het spanningsverloop, maar hierdoor kan de plaats aan de onderkant van de constructie waarop dit spanningsverloop van invloed is, gebruikt worden voor zone waarover het waterspanningsverloop aan de onderkant van de constructie in het uiterste geval plaats vindt.



Figuur 4.5 Invloed van de druk op de bodem op het waterdrukverloop.

Alleen over deze Meyerhof-zone volgt bij de 2<sup>e</sup> orde het verloop van de waterspanning onder de constructie. Het werkelijke verloop van de waterdruk tegen de onderkant van de constructie zit in het uiterste geval tussen de eerste en de tweede orde in.

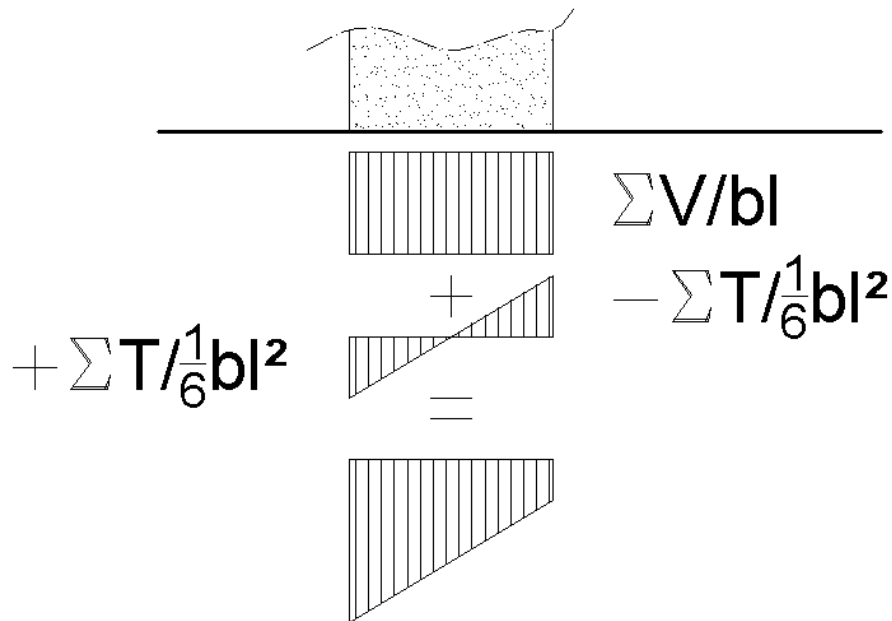


Figuur 4.6 Verloop waterdruk tegen de onderkant van de constructie.

Hoe meer druk op de bodem, hoe lager de doorlatendheid. Het werkelijke drukverloop aan de onderkant van de constructie zal worden bepaald door het gewicht van de tijdelijke waterkering en de momenten ten gevolge van de horizontale en verticale waterdruk.

Spanningsverdeling onderkant systeem; werkelijke drukverloop aan de onderkant van de constructie zal worden bepaald door het gewicht van de tijdelijke waterkering en de momenten ten gevolge van de krachten door de horizontale en verticale waterdruk.

In de formules worden de kerende hoogte, de breedte en het gewicht gebruikt welke door de fabrikanten van de systemen zijn verstrekt.



*Figuur 4.7. De spanningen onder de tijdelijke waterkering. Spanning ten gevolge van gewicht en ten gevolge van het resulterend moment worden bij elkaar opgeteld zoals vermeld door Verruijt, 1989 [14]*



## 4.5 Sterkte waterkering algemeen

Als gesproken wordt over het falen van een waterkering, dan wordt bedoeld dat de waterkering de functie waarvoor deze primair is ontworpen, het waarborgen van de veiligheid van het achterland tegen overstromen door het water te keren, niet meer (volledig) kan vervullen.

### 4.5.1. Ontwerp van een dijk

Een dijk verkeert gedurende het overgrote deel van zijn bestaan in een totaal andere omstandigheden dan die waarop hij ontworpen is. Maar het gaat er juist om dat wanneer de dijk zijn grensbelasting bereikt het water veilig gekeerd kan worden, hij moet dus altijd paraat staan om iets wat zelden aangesproken wordt. Allerlei factoren kunnen een bedreiging vormen voor een dijk, de voornaamste belastingen en bedreigingen waarop een dijk ontworpen is, zijn[12],[15]:

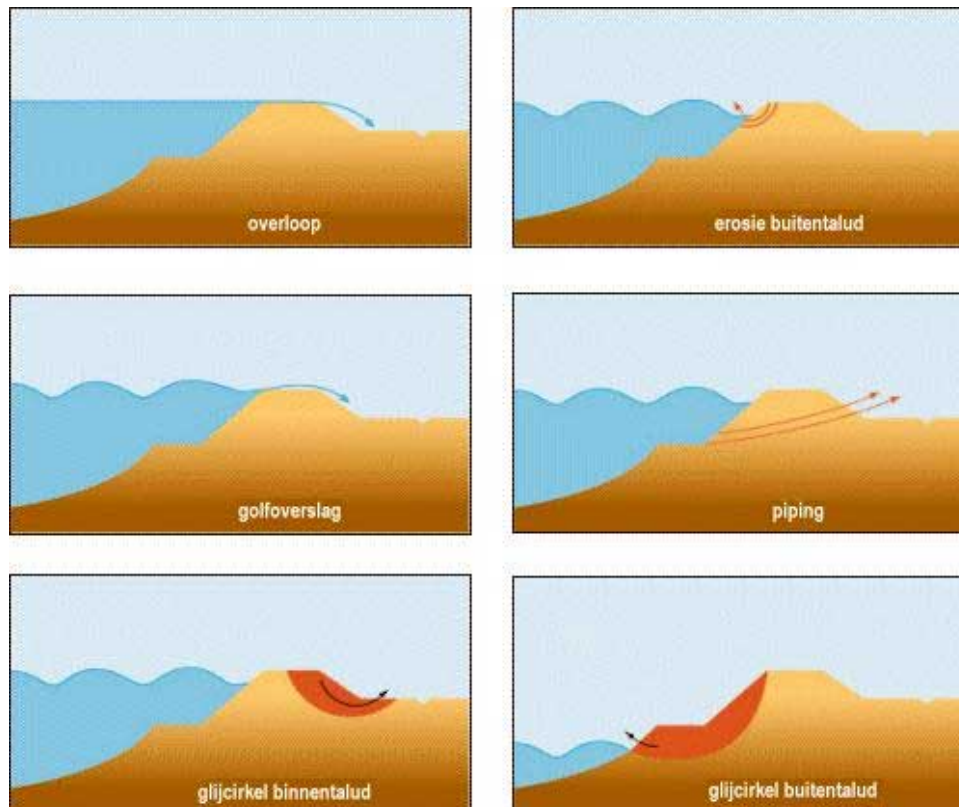
- waterstand
- golven
- weersinvloeden
- drijvend vuil en ijs
- biologische invloeden

Om aan al deze belastingen en bedreigingen weerstand te bieden heeft de dijk de dijk zijn sterkte, welke wordt bepaald door de hoogte en de stabiliteit van het dijklichaam. Zodra de belasting groter wordt dan de sterkte zal de dijk bezwijken.

Enkele faalmechanismen die op kunnen treden zijn[12],[15]:

- Lekkage
- Overlopen
- Golfoverslag
- Zettingen
- Glijcirkel buiten talud
- Glijcirkel binnentalud
- Micro-instabiliteit
- Wellen, zandmeevoerende wellen en piping

- Beschadigingen talud



*Figuur 4.8 Schematische weergave van de belangrijkste faalmechanismen volgens de TAW [16]*

Helaas is het niet zo, dat bij het tijdelijk verhogen van de waterkerende constructie om een extra hoge waterstand te keren er alleen rekening hoeft worden te houden met falen (bezwijken, disfunctioneren) door overschrijding van de kerende hoogte.

Door het vergroten van de kerende hoogte d.m.v. een waterkerende constructie zal de kans op een aantal van deze faalmechanismen toenemen, n.l.:

- Glijcirkel binnentalud
- Glijcirkel buiten talud
- Micro-instabiliteit
- Wellen, zandmeevoerende wellen en piping
- Zettingen/overloop
- Beschadigingen talud

Een extra faalmechanisme wat kan optreden bij het aanbrengen van een kerende constructie op een dijk is natuurlijk **het falen van de aangebrachte constructie**.

#### 4.5.2. Lekkage

Het water kan door de tijdelijke waterkering heen stromen. Dit kan komen door het verkeerd construeren van de tijdelijke waterkering of beschadigingen veroorzaakt door met het water meegevoerd vuil of ijs.

#### 4.5.3. Zettingen

Als gevolg van het aanbrengen van een constructie op de dijk kunnen er (extra) zettingen optreden. Dit hangt in grote mate af van het gewicht van de aangebrachte constructie, de verspreiding van deze druk over de ondergrond en de duur dat deze aangebracht is. Zettingen worden veroorzaakt door samendrukking van het korreelskelet. Het gevolg van de zettingen is dat de dijk lager wordt, waardoor de kerende hoogte afneemt. Wanneer het korreelskelet verzadigd is met water kan volumeverkleining alleen plaatsvinden door het afstromen van water. Bij het aanbrengen van een extra belasting op de dijk zal deze extra belasting eerst worden opgenomen door de overspanning van de waterdruk. Daarna zal tijdens het consolidatieproces deze waterspanning weer afnemen.

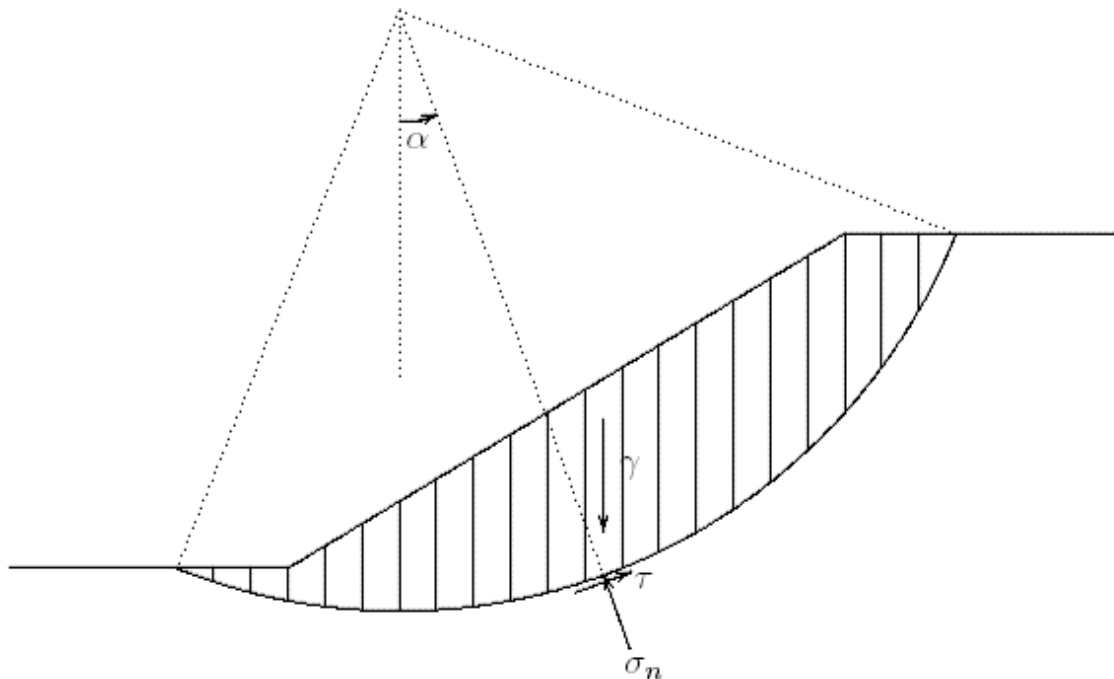
Door de beperkte duur van belasting door een tijdelijke waterkering is niet te verwachten dat de consolidatie van onderliggende lagen enige rol van betekenis zal spelen

#### 4.5.4. Glijcirkel binnen- en/of buitentalud

Onder de stabiliteit van een grondlichaam wordt verstaan de weerstand tegen het afschuiving langs rechte of gebogen glijvlakken waardoor functieverlies optreed [14]. Door het aanbrengen van een gewicht op de dijk zal de macro-stabiliteit van de het totaal veranderen. De schuifspanning langs de (mogelijke) glijcirkel moet niet alleen het gewicht van de grondmassa boven de glijcirkel opnemen, maar moet bij het aanbrengen van een tijdelijk dijkophoging ook het gewicht van deze kering opnemen. De effectieve korreelspanningen worden beïnvloed door de waterdruk in de poriën, stijging van de waterspiegel beïnvloed het gewicht en de sterkte. Bij stabiliteitsberekeningen spelen de ligging van de freatische lijn en de waterspanningen in dijk en ondergrond een grote rol. Deze worden beïnvloed door neerslag, waterstand en aangebracht gewicht op de dijk.

Bij een glijvlakberekening wordt het vlak van afschuiven, cirkelvormig of recht, als voorwaarde aan de berekening opgelegd.

$$F = \frac{M_s}{M_g} = \frac{\text{Weerstandbiedendmoment}}{\text{Aandrijvendmoment}} \quad \text{formule 4.8}$$



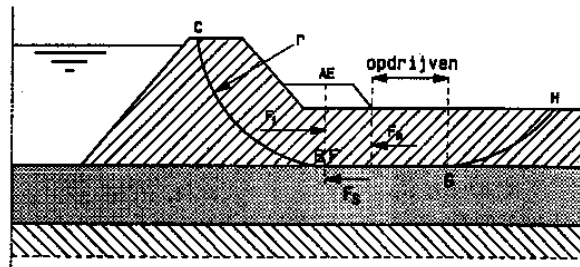
figuur 4.9 Een cirkelvormig glijvlak waarbij de afschuivende moot grond is onderverdeeld in lamellen.

Bij de meeste methoden wordt uitgegaan van een cirkelvormig glijvlak, waarbij de afschuivende moot grond wordt verdeeld in lamellen. De meest gebruikte methode is de methode van Bishop.

In plaats van met mobilisatiecurven te werken kan een glijvlakanalyse worden uitgevoerd waarin aan de actieve zijde de residuele schuifsterkte, en aan de passieve zijde maximaal de neutrale gronddruk in rekening wordt gebracht. Dit betekent dat er geen vervormingen worden verondersteld, waardoor ook geen gebruik wordt gemaakt van de schuifsterkte aan de passieve kant. Dit leidt vaak tot een overdimensionering van het ontwerp.

Een ander mechanisme van bezwijken kan is het “opdrijven” van de slappe lagen achter de dijk, bij relatief hoge waterdrukken in het zandpakket. In dit geval moet er rekening mee worden gehouden dat aan de landzijde van een waterkering potentialen in het grensvlak

tussen de watervoerende zandlaag en het afsluitende klei/veenpakket zo groot kunnen worden, dat de opwaartse druk gelijk wordt aan de neerwaartse druk, waardoor de afsluitende laag kan gaan opdrijven. De lengte loodrecht op de waterkering waarover dit verschijnsel optreedt is sterk afhankelijk van de duur van het hoge water.



ABC: actieve zone  
EFGH: passieve zone

*Figuur 4.10 Een van de faalmechanismen is het opdrijven van een slappe laag achter de dijk[15].*

Er zal extra aandacht aan de stabiliteitsbeoordeling moeten worden besteed indien er grote verschillen zijn in de stijfheid van het materiaal in en direct onder het dijklichaam. Zijn de stijfheidsverschillen in, naast en onder de waterkering groot, of wordt de effectieve spanning onder en in het slappen-lagenpakket achter de waterkering verlaagd door hoge potentialen in het watervoerende pakket, waardoor er ter plaatse nauwelijks mobiliseerbare schuifweerstand over blijft. In zo'n situatie zal er rekening moeten worden gehouden met het niet-stationere karakter van de waterspanning en met vervormingen.

De respons van de potentiaal op de waterstand wordt bepaald door grondparameters (doorlatendheid en consolidatiecoëfficiënt), door geometrische parameters (dikte van de lagen) door tijd en door plaats. Al deze parameters zijn samen te brengen in zogenaamde "lekfactoren".

Vooraf van belang voor de stabiliteit zijn dus: de geometrie van het dijklichaam, de belasting, sterkte en de bodemopbouw. Voor een betrouwbare stabiliteitscontrole is het van belang de mobilisatiecurve van de verschillende grondsoorten te kennen. Aan de hand van deze curve kan de schuifsterkte van elke grondsoort worden afgestemd op de toelaatbare of de te verwachten vervormingen langs het glijvlak. De schematisering van de geologische opbouw volgt uit een geotechnisch onderzoek.

In de normale situatie, met lage waterstand, ontleent de dijk een zekere steun aan het grondlagenpakket achter de dijk. De schuifweerstand in de actieve zone zal dan bijna helemaal worden gebruikt. De horizontale kracht die wordt uitgeoefend door de potentieel afschuivende moot grond, wordt in het passieve gebied tegengewerkt door de horizontale gronddruk en door middel van schuifweerstand overgedragen aan de ondergrond.

Bij een hoge waterstand vermindert de korrelspanning op het scheidingsvlak tussen de zand laag en de slappe laag, en na enige tijd ook de slappe laag zelf, waardoor de maximaal mobiliseerbare schuifweerstand van deze zone afneemt. Afhankelijk van de grootte van de te mobiliserende weerstandbiedende kracht kunnen er nagenoeg geen, weinig of zelfs ontoelaatbare vervormingen optreden.

Een van de meest ongunstige momenten van belasting met betrekking tot de stabiliteit van het buitentalud (natte zijde) kan optreden wanneer het water in de rivier na de hoogwatergolf (snel) weer gedaald is en de tijdelijke waterkering nog op de dijk geïnstalleerd is. In de dijk is er dan nog een "hoge" freatische lijn aanwezig, waardoor de korrelspanningen en daardoor de schuifspanningen laag blijven, terwijl het tegenwerkend moment afneemt (door het gedaalde rivierwater).

#### 4.5.5. Microstabiliteit

Doordat de hoogte van het te keren water stijgt, zal ook de freatische lijn in het dijkprofiel stijgen. Hierdoor neemt de kwelstroming toe, waardoor de druk op individuele gronddeeltjes groter wordt, waardoor de stabiliteit afneemt [17].

De stabiliteit hangt af van de helling van de grond en de resultante van de stroomrichting. Het gewicht van de korrels wordt uitgezet tegen de stuwdruk op de korrels ten gevolge van de grondwaterstroming, aan de hand waarvan de stabiliteit bepaald kan worden.

Situatie	i	v	Stabiliteit
Geen kwel; Droog of nat talud	0	-	$\alpha \leq \phi$
Horizontale kwel	$\tan \alpha$	0	$\alpha \leq \phi/2$
Kwel evenwijdig aan talud	$\sin \alpha$	$\alpha$	$\tan \alpha \leq (\tan \phi)/2$
Kwel loodrecht op talud	i	$\alpha-90^\circ$	$\sin \alpha / (\cos \alpha - i) \leq \tan \phi$

Tabel 4.1 Microstabiliteit van een talud [17].

Dit geldt voor losse korrels op een talud. Mocht de dijk een bekleding hebben (bijvoorbeeld gras), dan is de stabiliteit van de korrel vaak veel hoger. Mochten er zich toch problemen voor doen, dan kan het talud met een filterdoek worden afgedekt.

## **4.5.6. Onderloopsheid, achterloopsheid, wellen, zandmeevoerende wellen en piping**

### 4.5.6.1. Onderloopsheid van de tijdelijke constructie

Een waterkering is onderloops indien ten gevolge van een verschil in de waterstand aan twee zijden van de waterkering water in het verticale vlak onder de waterkering door stroomt en daarbij zand meevoert.

### 4.5.6.2. Achterloopsheid van de tijdelijke constructie

Een waterkering is achterloops indien ten gevolge van een verschil in de waterstand aan twee zijden van de waterkering water in het horizontale vlak langs de waterkering door stroomt en daarbij zand meevoert.

### 4.5.6.3. Wellen, zandmeevoerende wellen en piping

Door het waterstandsverschil aan weerszijden van de constructie ontstaat er een verhang in de bodem onder de constructie. Is dit verhang te groot, dan bestaat de kans dat de gronddeeltjes weggespoeld worden, waardoor de constructie ondermijnd kan worden. Bij een bepaald waterstandsverschil zal er dus een voldoende kwelweglengte dienen te zijn, om de gradiënt van het verhang voldoende laag te houden.

Wellen kunnen op een groot aantal plaatsen ontstaan. Veelal op de bodem van de sloot en op de insteek van de sloot achter de dijk, op plaatsen van duikers, bij niet kerende objecten en bij gaten in de kleilaag. Deze gaten kunnen bijvoorbeeld zijn ontstaan door afgravingen of door boorgaten voor peilbuizen of grondmechanisch onderzoek.

Zandmeevoerende wellen zijn tijdens hoogwater een veelvoorkomend verschijnsel bij rivierdijken. Een meevoerende wel ontstaat vaak bij het volgende hoogwater weer op dezelfde plek. Een hoop waterschappen hebben daarom een wellenkaart en houden deze locaties bij hoogwater nauwlettend in de gaten. Toch kunnen er bij een volgend hoogwater nieuwe wellen ontstaan[15].

Door het verval over de dijk ontstaat er een grondwaterstroming onder en door de het dijklichaam. Het debiet per eenheid van oppervlak van de grondwaterstroming kan worden



bepaald met behulp van een vierkantennet, meten aan een analogon of berekeningen met een computermodel. Door de grondwaterstroming kan er interne erosie ontstaan, doordat de grondwaterstroming kleine deeltjes grond meeneemt. Een gang, ontstaan ten gevolge van zandmeevoerende wellen onder of langs een waterkering, wordt ook wel *pipe* genoemd. Het ontstaan van een pipe ten gevolge van het afvoeren van gronddeeltjes door een te grote stroomsnelheid van het grondwater wordt *piping* genoemd. Na het ontstaan van de pipe wordt deze snel groter, omdat de weerstand afneemt waardoor de stroomsnelheid kan toenemen, waardoor meer gronddeeltjes meegenomen worden. Het meevoeren van gronddeeltjes is afhankelijk van de grondsoort. Silt is het meest gevoelig voor piping gebleken. Dit omdat in vergelijking met grind en zand de diameter van de korrels kleiner is ; daar klei en veen in tegenstelling tot zand en grind cohesief zijn en bieden zij meer weerstand aan erosie.

De kans op piping hangt af van de kerende hoogte, lengte kwelweg en de grondsoort. De bekendste ontwerpregels zijn van Bligh, Lane en Sellmeijer die hebben aangetoond dat er een verhouding bestaat tussen verval en kwellengte.

Alle fabrikanten nemen aan dat het begin van de kwelweglengte begint bij het begin van het geomembraan. Het valt zeer te betwijfelen of het verhang (i) van de waterdruk tegen de onderkant van de intreed bij het begin van een stuk geomembraan wat los op de bodem ligt, doordat niet zondermeer aangenomen kan worden dat de doorlatendheid van de bodem (k) overal constant is. De doorlatendheidscoëfficiënt k van de ondergrond is onder andere afhankelijk van:

- korrelgradatie
- korrelvorm
- pakkingsdichtheid
- bindingskrachten
- temperatuur water (viscositeit)
- poriëngrootte

De onderstaande tabel geeft een indicatie van de k-waarden.

<b>Gemiddelde k-waarden tabel [2]</b>	
Grondsoorten	Gemiddelde k-waarden in m/sec.
Grind	$> 10^{-2}$
Grof zand met fijn grind	$10^{-2} - 10^{-3}$
Grof zand	$10^{-3} - 10^{-4}$
fijn zand	$10^{-4} - 10^{-5}$
zeer fijn zand	$10^{-5} - 10^{-6}$
klei / sterk leemhoudend zand	$10^{-6} - 10^{-8}$
zanderige klei	$10^{-8} - 10^{-10}$
klei	$< 10^{-10}$

Tabel 4.2 Gemiddelde k-waarden voor de verschillende grondsoorten.

Sommige delen van de ondergrond kunnen meer doorlatend zijn dan andere delen. Denk bij een asfaltweg op een dijk bijvoorbeeld aan de zand / puinlaag eronder. Deze zand / puinlaag kan veel meer doorlatend zijn dan de andere lagen. Vaak is deze laag echter bij de aanleg verdicht om zo de verkeersbelastingen op te kunnen vangen.

Sommige fabrikanten stellen voor om het begin van het geomembraan een stukje in te graven in de bodem, om zo een waterdichte afsluiting te krijgen tussen het geomembraan en de bodem waar dit (los) op ligt. Waarschijnlijker is dat het verhang pas intreed daar waar er druk op de bodem wordt uitgevoerd (en dat het gehele verhang daar plaats vindt). Een manier om de kwelweg te verlengen is door gewicht op het geomembraan aan te brengen. Dit dient dan wel continu langs de constructie te verlopen, anders loopt het water er tussendoor. Dit heeft grote (negatieve) gevolgen voor de stabiliteit van de systemen. Enkele systemen halen hun gehele horizontale en verticale stabiliteit van de wrijving tussen geomembraan en ondergrond.

De "piping gevoeligheid" voor elke situatie is lastig te bepalen. Deze is namelijk niet alleen afhankelijk van de bodem, maar voor een groot deel ook van andere factoren, namelijk:

- De grootte van de segmenten, het aantal "verbindingen per meter kering"
- De aansluitingen tussen de segmenten, welke weer afhankelijk zijn van factoren als plaatselijke situatie en de kundigheid van het personeel dat de kering
- Aanvullende afdichtingmiddelen, geleverd door de fabrikant of gefabriceerd om de kering ter plaatse aan te passen aan de omstandigheden

De kwaliteit van de tijdelijke waterkering kan ook variëren door:

- De terreincondities, draagkracht van de bodem, korrelgradatie
- De stijfheid van de constructie
- De vaardigheid en ervaring van de installatiemedewerkers

Een methode waarmee men probeert onderloopsheid tegen te gaan, is het plaatsen van twee systemen los achter elkaar, met een geomembraan ertussen. Bij het ontbreken van een goede aansluiting tussen de systemen in van het geomembraan met de ondergrond, is er geen invloed op verhang. Echter het overgrote deel van de systemen zijn afhankelijk van het geomembraan voor hun waterdichtheid.

Bij flexibele waterkeringen (bijv. de kokervormige geomembranen en andere vergelijkbare systemen) zal de drukverdeling naar de ondergrond meer verspreid zijn door de flexibiliteit van de constructie. Hierdoor nemen we bij deze systemen een lineaire drukverdeling aan.

## 4.6. Piping

### 4.6.1. Bligh

Door middel van de formule van Bligh [17] kan men kijken of een kunstwerk gevoelig is voor piping. Bligh kijkt alleen naar het verhang over het kunstwerk en de grondsoort.

$$H_{cr} = \frac{L}{C_{creep}} \quad \text{formule 4.9}$$

waarin:

L = kwallengte [m.]

H<sub>cr</sub> = het toelaatbare verval over het kunstwerk [m.]

C<sub>creep</sub> = de creep-coëfficiënt van Bligh [-]

### 4.6.2. Lane

Lane kijkt niet alleen naar het verhang over het kunstwerk en de grondsoort, maar ook naar de weg die het kwelwater moet afleggen (horizontaal en verticaal) [17]

$$H_{cr} = \frac{L_v + \frac{L_h}{3}}{C_{w,creep}} \quad \text{formule 4.10}$$

waarin:

L<sub>h</sub> = de horizontale component van de leklengte [m.]

L<sub>v</sub> = de verticale component van de leklengte [m.]

H<sub>cr</sub> = het toelaatbaar verval over het kunstwerk [m.]

C<sub>w,creep</sub> = de "gewogen" creep-coëfficiënt van Lane [-]

### 4.6.3. Sellmeijer

Sellmeijer wordt gebruikt wanneer uit de ontwerpregels van Bligh (en/of Lane, maar Bligh is vaak maatgevend) blijkt dat een constructie gevoelig is voor piping[17]. (H>H<sub>cr</sub>) Deze stap is

alleen zinvol indien de dikte van de aquifer (het watervoerend pakket) en de kwelengte van de constructie kleiner is dan 1 ( $D/L < 1$ ). Om de regel van Sellmeijer toe te kunnen passen zijn er wel meer invoergegevens nodig. Om een zeefkromme te kunnen bepalen zullen er een aantal grondmonsters genomen moeten worden. De regel Sellmeijer doet een meer gedetailleerde uitspraak dan die van Bligh en Lane.

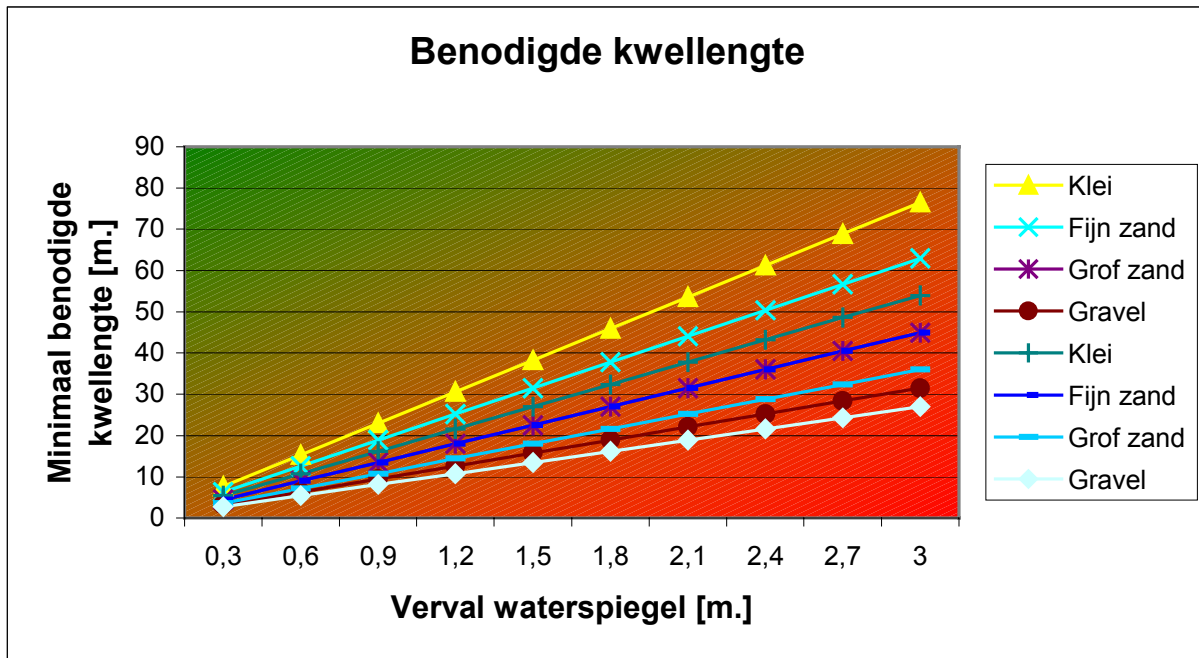
$$H_{cr} = \alpha \cdot c \cdot \frac{\rho_p}{\rho_w} \tan \Phi (0.68 - 0.10 \cdot \ln c) \cdot L \quad \text{formule 4.11}$$

$$\alpha = \left[ \frac{D}{L} \right] \left[ \left[ \frac{D}{L} \right]^{2.8} - 1 \right]^{0.28} \quad \text{formule 4.12}$$

$$c = \eta \cdot d_{70} \cdot \left[ \frac{1}{\kappa \cdot L} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{formule 4.13}$$

waarin:

- $\rho_p$  = de massadichtheid van de gronddeeltjes onderwater [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $\rho_w$  = de massadichtheid van water [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $\Phi$  = de rolweerstand [41 graden]
- $\eta$  = sleepkrachtfactor (Coëfficiënt van White = 0,25 [-])
- $d_{70}$  = 70 percentiel waarde in de korrelverdeling [m]
- $\kappa$  = intrinsieke doorlatendheid van de zandlaag, die aan erosie blootstaat [m]
- $D$  = dikte van de zandlaag [m]
- $L$  = lengte van de kwelweg, horizontaal gemeten [m]



Grafiek 4.1 Benodigde kwellingte volgens Lane en Bligh ten gevolge van het verval, per grondsoort.

Door het plaatsen van een (extra) waterkerende constructie op de al bestaande waterkerende constructie zal de kerende hoogte toenemen. Er zal speciaal gekeken moeten worden naar het contactvlak tussen de extra waterkerende constructie en de al bestaande waterkerende constructie. Piping kan niet alleen worden tegengegaan door het verlagen van het verhang, maar ook door het aanbrengen van een filterconstructie aan de droge zijde. De meest toegepaste noodmaatregelen zijn het afdekken van de wel met een zanddicht waterdoorlatende doek en het verhogen van de tegendruk door het opzetten van het waterpeil door middel van het aanbrengen van een ring zandzakken, of het afdammen van de sloot ter plaatse.

Bij niet waterkerende objecten gaat het om objecten die op of in de dijk aanwezig zijn maar geen waterkerende functie hebben, wel kunnen zij de waterkerende functie van de dijk beïnvloeden. Voorbeelden hiervan zijn leidingen, woningen, gemalen en bomen.

## 5. Bestaande tijdelijke waterkeringssystemen

Er bestaan al enkele bestaande systemen die de zandzak “vervangen” als tijdelijke waterkering. Deze systemen worden beoordeeld met betrekking tot de volgende criteria:

- Mobiliteit
- Stabiliteit m.b.t. wegschuiven/glijden en omvallen
- Veiligheid tegen onderloopsheid en lekkage
- Mogelijkheid om het systeem in situ te repareren/aanpassen
- Aanpasbaarheid aan de omgeving, assortiment en accessoires
- Gemak van opbouwen en afbreken

Daarnaast is kostenbesparing natuurlijk een belangrijk aspect, waarbij als vergelijkingsbasis de zandzakdijk die traditioneel wordt gebruikt. De kosten van een zandzakdijk-constructie moeilijk zijn te schatten Door de vaak velen vrijwilligers gaat deze vergelijking vaak niet op, of valt zeer ongunstig uit voor andere systemen.

De verschillende soorten tijdelijke waterkeringen zijn onder te verdelen in de volgende hoofdgroepen:

### 5.1. Opblaasbare (water- of luchtgevulde) kokervormige geomembranen of plastic elementen.

Men kan deze systemen zien als verplaatsbare opblaasbare gewichtsdammen. Deze systemen hebben de meeste mogelijkheden m.b.t. inzet in bewoond en onbewoond gebied bijna zonder beperkingen m.b.t. de ondergrond en het reliëf. Deze methode heeft veruit de kleinste installatietijd en de laagste materieleisen. Vrijwel alle beschikbare systemen bestaan uit een of meerdere waterdichte binnenbuizen, met daaromheen een hogesterkte buitenbuis. De systemen zijn onder te verdelen in:

<b>watergevulde buisvormige systemen</b>	WaterStructure™ [18][19], Clement Water Diversion Systems[20],
<b>watergevulde celvormige systemen</b>	Waterwall[21], Concertainer [23] SWI Mitigation HDPE Blocks[06]) en
<b>luchtgevulde buisvormige systemen</b>	NOAQ Flood Fighting systems[22].

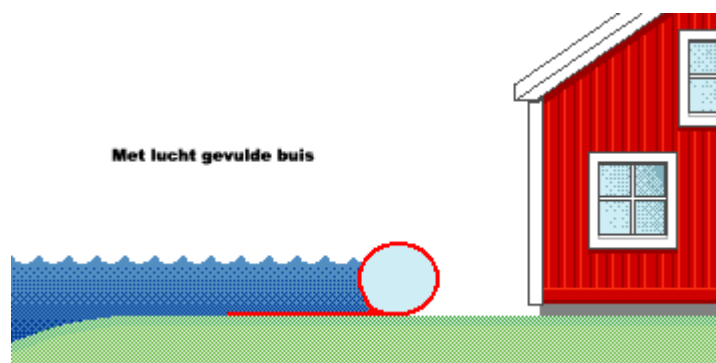


*Figuur 5.1 Een voorbeeld van een watergevulde buisvormig systeem.*

Deze systemen zijn niet te vergelijken met balgstuwen, die een betonnen fundering als verankering gebruiken.

De omrolstabiliteit en de reacties op golfaanvallen van de systemen zijn nog onbekend, mede door de vervormingcapaciteiten van de constructies en dient nog nader te worden onderzocht. Onderloopsheid kan in veel gevallen worden voorkomen door het aanbrengen van een geomembraan aan de buis om zo de kwelweg te verlengen. De weerstand tegen wegschuiven van de systemen is ook afhankelijk van materiaal en ondergrond, maar kan bij sommige systemen worden vergroot door de systemen met haringen te verankeren aan

de bodem of door het aanbrengen van een constructie aan de droge kant van het systeem of het aanbrengen van ballast op de flap geomembraan welke bevestigd is aan de buisconstructie. Het grote gevaar voor deze systemen is het lek raken van een of meerdere binnenkamers door drijvend vuil of scherpe stenen cq. takken in de ondergrond.



*Figuur 5.2 Het Noaq systeem, een met lucht gevulde buis als waterkering [22].*



Sommige fabrikanten beweren dat hun systeem ter plaatse kan worden gerepareerd, maar het is niet duidelijk of en hoe een beschadigde sectie kan worden vervangen bij calamiteiten. Er is een grote variatie aan verschillende kerende hoogte van de systemen. Doordat ze na gebruik weer worden laten geleegd, is de benodigde opslagruimte voor de systemen beperkt. Opslag moet in veel gevallen in het donker gebeuren, omdat de invloed van ultraviolet licht op de lange termijn schadelijk kan zijn voor alle geosynthetische materialen waarvan de verschillende systemen zijn gefabriceerd.

De watergevulde buissystemen zijn eigenlijk mobiele gewichtsmuren, waarbij het gewicht van het water in de constructie voor stabiliteit moet zorgen. Het grootste probleem bij deze systemen zal niet het wegglijden, maar het omrollen zijn. Dit komt omdat de buizen flexibel zijn, waardoor ze van vorm veranderen. Ook golfbelasting zal voor vervormingen van de constructie zorgen en dient onderzocht te worden. Er bestaan diverse watergevulde buisvormige systemen, maar het principe is vrijwel altijd hetzelfde, als voorbeeld gebruiken we het Waterstructure-systeem.

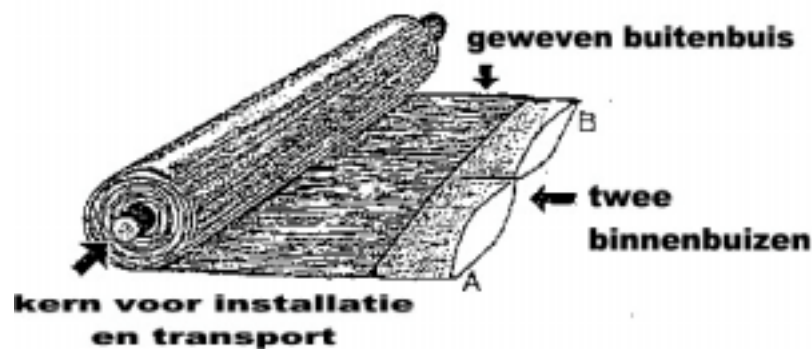
### **5.1.1. Beschrijving**

Het Waterstructure-systeem [18] [19] is een product van het Amerikaanse bedrijf GeoCHEM Incorporated. Het ontwerp heeft als uitgangspunten:

1. Meervoudige waterdichte binnenbuizen gevuld met een watermassa voor de stabiliteit.
2. Een sterke, geweven buitenbuis om de binnenbuizen, die de stabiliteit waarborgd.
3. Een koppelingskraag voor het verbinden van twee of meer Waterstructure-systemen.
4. Water als massagewicht.

Bij het ontwerp van Waterstructure is er rekening mee gehouden dat het een korte installatietijd moest hebben.

Waterstructure bestaat uit 2 “binnenbuizen”, van elk 10 mm. of 20 mm. polyethyleen of 10 mm. PVC, welke gevuld worden met water. Daaromheen zit de “buitenbuis” van polipropyleen die de binnenbuizen bij elkaar houdt en beschermd. De buitenbuis geeft Waterstructure zijn sterkte en duurzaamheid samen met het gewicht van het opgeslagen water.



Figuur 5.3 Voor transport kan de Waterstructure opgerold worden[18].

Er wordt water gepompt in de binnenbuizen, de buitenbuis van sterk gewezen polypropyleen met de waterdruk van de binnenbuizen en het gewicht geeft Waterstructure zijn stabiliteit. Wrijving gaat het rollen tegen wat zou optreden door de uitgeoefende waterdruk. Door de flexibiliteit van het polyethyleen en het gewicht van het vastgehouden water vormt Waterstructure zich naar de meeste sedimentaire oppervlakken, rivierbeddingen en andere soorten oevers.

Waterstructure is er in verschillende afmetingen, van 300 tot 2700 mm. in de hoogte (opgeblazen toestand). Hoogten van 3000 en 3600 mm. worden op dit moment onderzocht. Er zijn standaard lengten van 15 en 30 m. Men kan op bestelling ook aangepaste lengten bestellen. Twee of meer Waterstructures kunnen aan elkaar gekoppeld worden d.m.v. uniek gepatenteerd koppelingssysteem, zodat elke gewenste lengte bereikt kan worden. Waterstructure kan worden gebruikt in een rechte lijn, gekromd of rondom een gebouw. Waterstructure elementen kunnen ook in hoeken met elkaar verbonden worden als dat wenselijk is.

De criteria opgelegd door het werkgebied bepalen de maat en het aantal Waterstructure. Op dit moment zijn er 9 standaard maten beschikbaar van GeoCHEM Inc., Waterstructure groter dan 3 m. hoogte zijn beschikbaar op aanvraag gebaseerd op voorgenomen toepassing.

De keuze van de te gebruiken Waterstructure hangt af van de volgende parameters:

- De hoogte van het te keren en/of om te leiden water.
- De helling van het stroombed.
- Stroomsnelheid.
- Maximum voorspelde verandering in het waterniveau na opblazen.

### 5.1.2. Installatie

Waterstructure kan op de meeste soorten ondergrond worden geïnstalleerd, waaronder slib, gladde rotsbodem, klei, zand, gravel, grind, kleine rotsen en vegetatie. Het terrein moet effen, vlak en verstoken zijn van prikkeldraad, scherpe objecten, vuilnis, glas, dode takken etc. De helling van het rivierbed moet relatief vlak zijn of hellend aan bovenstroomse kant. De helling mag een kleine gradiënt hebben. Men kan de systemen altijd ondersteunen met extra grond aan de achterkant tegen het weggrollen.

De installatie plaats dient goed geïnspecteerd te worden alvorens met de installatie wordt begonnen. Door het vullen van de buizen met water zal Waterstructure zijn uiteindelijke vorm aannemen.

Waterstructure wordt normaal gesproken in de fabriek geassembleerd en in zijn geheel vervoerd, klaar om gebruikt te worden. Het is echter niet ongebruikelijk om Waterstructure op de werkplek te assembleren als gevolg van plaatselijke veranderingen.

De verschillende buizen kunnen aan elkaar gekoppeld worden door middel van een “kraagsysteem”, wat eigenlijk niet meer voorstelt dan een stuk geomembraan rondom de aansluiting, waarbij de kraag aaneen van de twee buizen is bevestigd. De aansluitende buis wordt er met een uiteinde ingelegd en daarna volgepompt, waardoor er volgens de fabrikant een waterdichte aansluiting ontstaat.

Waterstructure wordt aangevoerd opgerold rond PVC of staal. De kern speelt in bepaalde gevallen ook een belangrijke rol tijdens de installatie en het transport van de grotere maten Waterstructure, zo blijven de grotere maten van Waterstructure drijven als ze opgerold zijn.

### 5.1.3. Kerende hoogte

De hoogte van het te keren water is de belangrijkste randvoorwaarde voor de keuze van de maat Waterstructure. Er moet natuurlijk gekeken worden naar de nog te verwachten waterspiegelrijzing van het te keren / om te leiden water t.g.v. de installatie van Waterstructure. Een goede vuistregel voor het bepalen van de hoogte van het te keren water gaat als volgt.

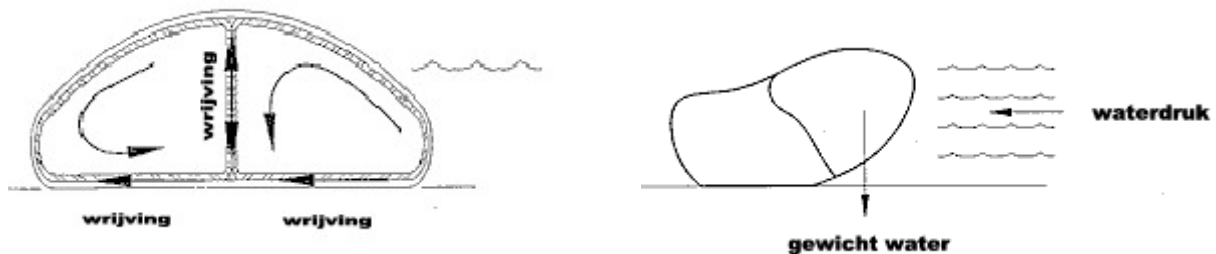
De maximum waterdiepte langs het installatieterrein.

De gemiddelde waterdiepte op het installatieterrein

Het verschil in oppervlakteniveau tussen de geïnstalleerde en omgeleide wateren +

De hoogte van het te keren water nadat Waterstructure is geïnstalleerd.

Mocht er een tijdelijk waterspiegelrijzing plaatsvinden, dan kan men Waterstructure “*super-inflaten*” waardoor deze een hogere diepte kan keren. Waterstructure moet dan aan de achterkant wel ondersteund worden tegen horizontale druk en/of tipping. Dit kan door grond, zandzakken of een tweede Waterstructure achter de eerste te plaatsen.



*Figuur 5.4 Doordat de buizen met elkaar verbonden zijn wordt het omrollen (tipping) tegengegaan[18].*

#### 5.1.4. Stabiliteit Waterstructure

Er zijn twee mechanismen om Waterstructure als gevolg van druk op te laten bewegen. De constructie moet of worden omgerold, of in zijn geheel verschuiven.

Bij het omrollen moet de ene kamer van de Waterstructure over de ander worden getild. Een ander faalmechanisme is het in het geheel wegschuiven van Waterstructure. De enige kracht die dit tegen gaat is de wrijving van de constructie met de ondergrond. Men kan de hele constructie eventueel met touwen verankeren[04],[18].

Wanneer Waterstructure wordt gebruikt voor het stremmen van stromend water zal er tijdens de installatie aandacht uit moeten gaan naar de stroming bij het einde van Waterstructure. De stroming zal worden beïnvloed tijdens installatie, de stroomsnelheid zal op sommige plaatsen toenemen en afhankelijk van de bodem waarop de Waterstructure gebruikt wordt, ontstaat het gevaar voor erosie aan het eind van de Waterstructure. Hierdoor neemt de hoogte van het te keren water toe en dit moet worden meegenomen bij het bepalen van de uiteindelijk kerende hoogte. De stroomsnelheid zal ook een belangrijke rol spelen tijdens de installatie van Waterstructure. Zo zal, bijvoorbeeld, tijdens de installatie het systeem gevuld kunnen worden met een hogere capaciteit om weggrollen te voorkomen[18].

### 5.1.5. Temperatuur

Ook bij vorst kan Waterstructure worden gebruikt. Als het water in de Waterstructure is bevroren mag men het systeem niet verplaatsen, dit omdat het ijs in de Waterstructure breekt, waardoor er scherpe randen kunnen ontstaan die de buizen lek kunnen prikken. Voor de kou is er ook een “koud-weer-vinyl-optie”, op deze manier is het materiaal van de buizen beter bestand tegen lagere temperaturen. Van  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  normaal, tot  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  met de vinyl-optie.

### 5.1.6. Verwijderen

Bij het verwijderen van het systeem is het een kwestie van de buizen leeg laten lopen en het systeem weer oprollen.

### 5.1.7. Beschadigingen

Mocht de Waterstructure lek raken, dan kan deze gewoon geplakt worden (als het gat niet te groot is natuurlijk).

Dit kan zelfs als de Waterstructure zich in opgeblazen toestand bevindt. Vanzelfsprekend zal de Waterstructure, indien nodig, bijgevuld moeten worden.

In de buitenste gevlochten laag bevinden zich UV-licht blokkers. Door deze blokkers dringt er minder UV-licht door in de lagen van Waterstructure. Hierdoor kan het een jaar lang in het zonlicht blijven liggen. In opgeslagen toestand, mits op de juiste manier, heeft Waterstructure een volgens de fabrikant oneindig leven[18]. Het “verglazen” van het materiaal komt vaak voor ten gevolge van een “kortsluiting” tussen twee moleculen die onverzadigde verbindingen bevatten. Polyethyleen wordt steeds harder en brosser door het formeren van covalente verbindingen door middel van zuurstofmoleculen, die op deze manier aan elkaar grenzende moleculen met elkaar verbindt.

Doordat de covalente verbinding het “slippen” tussen de twee ketens polyethyleen tegen gaat, wordt het materiaal bros en verliest het aan elasticiteit. Licht intensiteit en de aanwezigheid van ozon zal het verval aan elasticiteit versnellen.

## 5.2. Celvormige (gabion-achtige) systemen

Gabions zijn geprefabriceerde flexibele cellen die gevuld worden met grond of steen. Ze worden al lange tijd gebruikt als gewichtsmuren in de grondmechanica en als oeverbescherming tegen erosie[04]. Ze worden sinds kort ook op enkele plaatsen als permanente waterkering gebruikt. Toch kunnen ze ook goed gebruikt worden als tijdelijke waterkering als alternatief voor de zandzakmethode. Vooral de nieuwe uitklapbare meercellige producten. Deze zijn gemaakt van een stalen frame met stalen of kunststof panelen welke gevuld met grond fungeren als waterkering.



*Figuur 5.5 De Hesco Concertainer[23].*

De flexibele en scharnierende constructies zorgen voor een goede aanpassing aan de ondergrond. Waterdichtheid wordt bewerkstelligd door een geotextiel voering en vulling. Door de verschillende afmetingen en lengten waarin de systemen kunnen worden geleverd is het goed mogelijk een systeem te kiezen aangepast aan de te verwachten wateroverlast. De meeste systemen kunnen worden gestapeld zodat een grotere kerende hoogte bereikt kan worden. Ook kunnen zwakke punten versterkt worden door er andere cellen achter te



*Figuur 5.6 De Flex-Mac van Maccaferri[24] en de Hesco Concertainer[04].*

plaatsen. Voor het vullen van de systemen kan men mankracht gebruiken of vulmaterieel de installatietijd bekort kan worden (dit kan alleen wanneer zwaar materieel ingezet kan worden).



*Figuur 5.7 Door het inzetten van groot materieel kan de installatietijd van het systeem worden verkort.*

Het opzetten van de meeste systemen kan gedaan worden door ongetraind personeel. Ze zijn goed handelbaar en te transporteren (bijv. 1 km. Concertainer kan worden getransporteerd op een 40 ft. trailer)[04].

Deze systemen zijn meer inzetbaar in zware omstandigheden, waar men rekening moet houden met harde stroming met scherpe stenen en/of drijvend materiaal. Ook zijn deze systemen beter geschikt in extreem koude weersomstandigheden.

De opslag van de systemen kan in de meeste gevallen in de buitenlucht gebeuren (bijv. op pallets).

De te verwachten stabiliteitsproblemen zijn op hellend vlak en m.b.t. onderloopsheid. (Rapid Deployment Fortification Wall[08], Hesco Concertainer[23], Maccaferri Flex Mac[24], Big Bag)

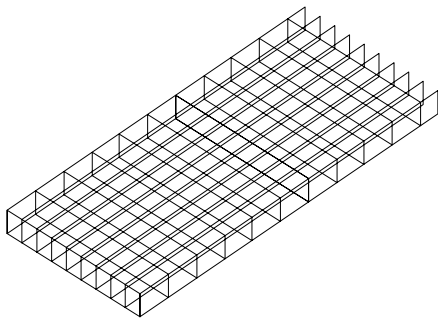
### 5.2.1. Beschrijving

Rapid Deployment Fortification Wall [08] (RDFW) is een product van Geocell Systems Inc wat is ontworpen om erosie door golfoverslag tegen te gaan, maar wat ook gebruikt kan worden als waterkerende constructie.



*Figuur 5.8 Hier wordt de RDFW ingezet tegen golfoverslag[17].*

De RDWF is een driedimensionaal grid van P.E.T.G. plastic cellen die het zand bijeen houden. De individuele panelen worden ingeklapt op een pallet aangevoerd. De ingeklapte pallets hebben een afmeting van 1,20 x 1,20 x 0,013 m. (4'x 4'x1/2").



*Figuur 5.9 Schets van een grid.*

Het uitgeklapte paneel heeft een afmeting van 4'x4'x8''(1,20 x 1,20x 0,20 m.) en kan dan 10,6 kubieke voet vulmateriaal vasthouden. De verschillende panelen kunnen van boven tot beneden aan elkaar geklikt worden, en zo ontstaat er een doorlopende constructie van



cellen. De muur kan worden afgemaakt door hem op te vullen met zand en/of grind met een maximale korrelgrootte van  $\pm 75$  mm. De RDFW kan gevuld worden door een lader die langs de muur rijdt en deze volstort met vulmateriaal.

### 5.2.2. Installatie

De lichtgewicht RDFW-panelen kunnen makkelijk worden vervoerd door bijvoorbeeld pick-up trucks. De panelen zijn ontworpen voor hergebruik. Ook het P.E.T.G. plastic is recyclebaar.



*Figuur 5.10 Het opzetten van de panelen is in een handomdraai gebeurd[08].*

Een RDFW sectie van 30 m. lang x 1,20 m. breed x 1 m. hoog bestaat uit 125 RDFW-panelen. Het kost 7 manuren om een muur te maken van 30 m. lengte (met gebruik van een zandlader). Zou er een zandzakdijk constructie van dezelfde afmetingen gemaakt moeten worden dan kost dit ongeveer 140 manuren. Het terrein waarop de RDFW geïnstalleerd wordt moet vlak zijn en vrij van obstakels.

### 5.2.3. Kerende hoogte

Door de panelen op te stapelen kan de te keren hoogte aangepast worden. Mocht de constructie onstabiel worden, dan er altijd een rij panelen achter worden geplaatst.

### 5.2.4. Stabiliteit

Het systeem werkt als een gewichtsmuur, het is niet bekend hoe de secties op elkaar worden gehouden.

### 5.2.5. Temperatuur

De RDFW kan volgens de fabrikant [08] bij elke temperatuur gebruikt worden.

### 5.2.6. Verwijderen

Het verwijderen van de RDFW, na gebruik, is geen probleem. Per laag wordt er een paneel opgepakt, waarbij het vulmateriaal gewoon door de gaten in de onderkant weg kan. De panelen worden apart genomen en dan ingeklapt. Daarna kunnen ze worden opgeslagen voor hergebruik. Uit ervaring is gebleken dat de RDFW gemiddeld zes keer kan worden gebruikt. Het vulmateriaal kan ook weer worden hergebruikt, doordat het makkelijk te scheiden is van de elementen hoeft het niet eerst gereinigd te worden.

RDFW kunnen zo'n 6 maanden in-situ gebruikt worden.

### 5.2.7. Beschadigingen

Omdat de RDFW uit zoveel verschillende cellen bestaat en gevuld is met grond zijn scherpe objecten hier niet een gevaar. Mocht er een of een paar cellen beschadigen, is er maar een klein stukje waar het zand weg kan lopen, waardoor de stabiliteit en de waterkerende functie behouden blijven.

## 5.3. Staande systemen

Zijn erg goede (maar dure) bij voor het beschermen van vitale objecten in bewoond gebied, vooral bij een grote waterspiegelrijzing (bijv. Dike Protection System 2000 (DPS2000)[25]). Een nadeel van dit systemen is dat zij alleen het water keren, voor de stabiliteit van de constructie en de piping zal een fundering en/of kwelscherm aanwezig moeten zijn cq. aangelegd moeten worden. Hierdoor is de stabiliteit van het systeem afhankelijk van de fundering. Het systeem bestaat uit verticale H-palen ,die aan de fundering vastgemaakt worden d.m.v. bouten, tussen deze palen worden holle aluminium ligger planken geplaatst. Het DPS2000 is makkelijk aan te leggen, wel is er enige instructie vooraf nodig. Met 3 man kan er een 150 m. lange muur van 1,80 m. hoog worden aangelegd in 5 uur. De drie man is nodig om de H-palen rechtop te zetten. Het plaatsen van de planken kan door een persoon gedaan worden (een 3 m. lange plank weegt ongeveer 3 kg.). De kosten van dit systeem zijn erg hoog in vergelijking met andere systemen. Ook is er aandacht nodig voor de opslag,

zodat de aluminium keerplanken en de stalen staanders niet gestolen worden. Hier tegenover staan de lange levensduur en de lage installatiekosten.

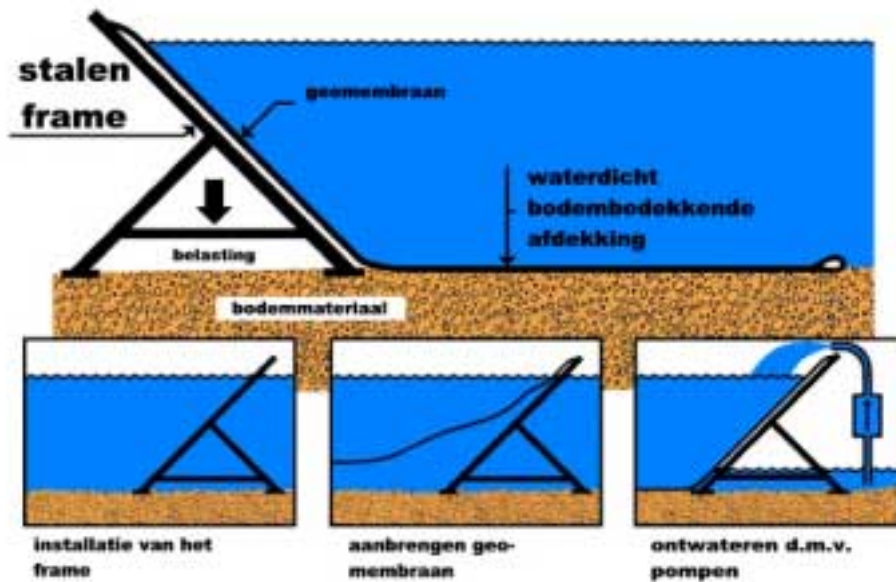
Dan zijn er nog de systemen die bestaan uit betonnen en/of stalen elementen die aan elkaar gekoppeld dienen te worden, zoals Richardson's [04] betonnen en stalen waterkeringen. D.m.v. klemmen, bouten en een bepaalde stapelconstructie met diagonale steun kunnen de afzonderlijke elementen aan en op elkaar gemonteerd worden en met haringen aan de bodem worden verankerd. De elementen zijn gemaakt van gewapend beton of staal. Voor het plaatsen en stapelen van de elementen is zwaar materieel nodig. Het krachterevenwicht zou moeten voortkomen uit het gewicht van de elementen en de steun aan achterzijde. De voet van de kering is zeer smal, waardoor er zeer grote grondwatergradiënten in de bodem onder de kering ontstaan. Dit wordt tegen gegaan door de hele constructie te bedekken met geotextielen en –membranen[04].

Het monteren van deze constructies vereist een goed getraind team met zwaar materieel en goede voorbereidingen, zoals het vlak maken van de ondergrond. De sterke kanten zijn de variabele hoogte, de mogelijkheid van het maken van hoeken en de duurzaamheid. Wel is er voor de betonnen variant veel opslag ruimte nodig (voor de stalen elementen aanzienlijk minder, omdat deze plat neergelegd kunnen worden). Van de systemen zijn geen testresultaten of documentatie te vinden waarin de stabiliteit is getoetst.



*Figuur 5.11 Hier wordt de Rapid Emergency Dam toegepast[16].*

Andere staande systemen, zoals de Rapid Emergency Dam (RED) [26] en de Portadam[27], zijn een stuk goedkoper, maar de stabiliteit moet nog bewezen worden. Dit zijn een soort boeksteunen van een waterdicht kunststof folie.



*Figuur 5.12 De Aqua-Barrier is een systeem wat gebruikt maakt van stalen frames waarop men pallets plaatst om het geomembraan over te spannen[28].*

Bij deze systemen is soms ook een fundering nodig, om de horizontale kracht op te kunnen vangen. Doordat de lengte van het doek aan de omstandigheden aan gepast kan worden zal onderloopsheid tegen gegaan kunnen worden, bij vrijstaande versies wordt de horizontale stabiliteit verkregen door de weerstand van het doek met de ondergrond. De installatie bestaat uit het plaatsen van het systeem wat d.m.v. bouten aan de ondergrond kan worden verankerd, waarna het geomembraan erover gespannen kan worden. Wel kan er enige lekkage optreden, omdat de verbinding tussen twee stukken geomembraan puur op wrijving bewerkstelligd wordt. Ook is het onbekend hoe de losse stukken geomembraan zich gedragen in stromend water, ze kunnen bijvoorbeeld opgetild en/of omgeslagen worden, waardoor de kwelweg aanzienlijk verkort kan worden.

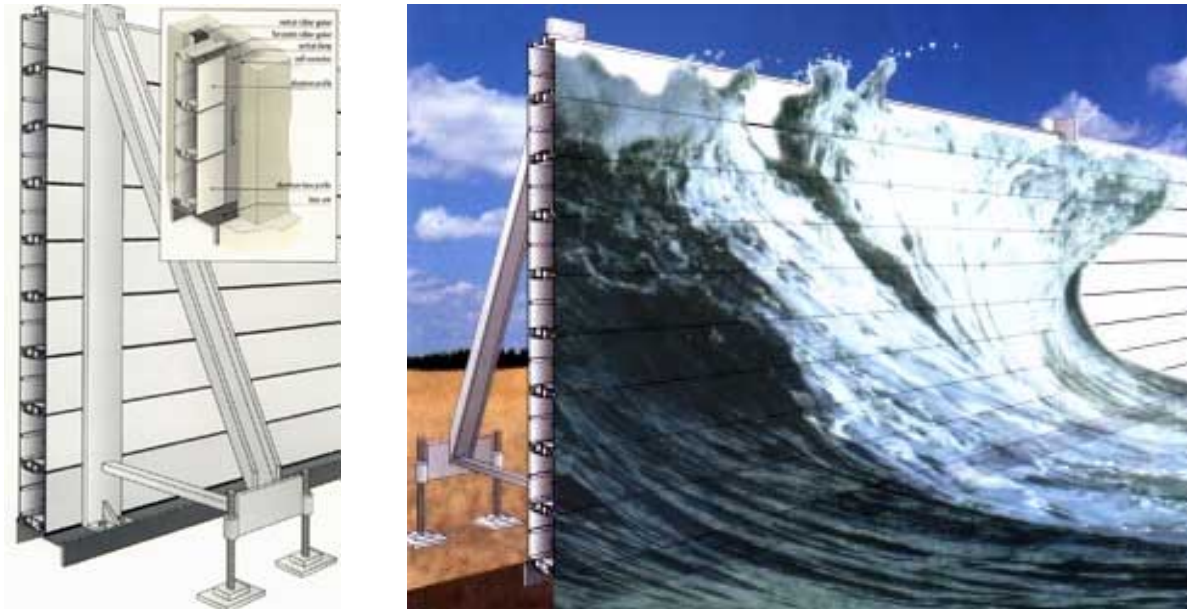


*Figuur 5.13 De Aquabarrier als waterkering; het water komt door de bodem omhoog [29].*

Ook lijken deze systemen erg gevoelig voor drijvend vuil en ijs. Als men daarvoor dikker geomembraan gebruikt, wordt de aanleg van de systemen een stuk lastiger, omdat dit doek dan veel zwaarder en stijver is, waardoor het moeilijker handelbaar is. Deze systemen hebben zich in het verleden als succesvol alternatief voor de zandzak bewezen. Als voorbeeld nu het Dike Profile System 2000 Mobile flood protection (DPS 2000)[25],[30],[31].

### 5.3.1. Beschrijving

DPS 2000 is een gepatenteerd ontwerp van het bedrijf GOH. Het is een keermuur van aluminium profielen die op elkaar worden gestapeld tussen gegalvaniseerde stalen kolommen. De profielen hebben een “tanden-systeem” waarbij de tanden in elkaar grijpen en zo zorgen voor de waterdichtheid tussen de balken. De profielen vullen zich aan de binnenkant met water, waardoor de stabiliteit en de waterdichtheid van de keermuur toeneemt.



Figuur 5.14 Doorsnede en principe van DPS 2000[25],[30],[31].

DPS 2000 moet wel voorzien zijn van een fundering met aansluiting voor het “tanden-systeem”. De fundering moet niet alleen de horizontale drukkracht van het water op kunnen nemen, maar tevens bescherming bieden tegen onderloopsheid en kan bijvoorbeeld op een bestaande stenen muur worden aangebracht.

### 5.3.2. Installatie

Ook DPS 2000 is ontworpen met snelle opbouw in gedachten. Als eerste worden de stalen kolommen geplaatst, waarna de aluminium profielen ertussen kunnen worden aangebracht. In 3 uur kunnen 5 man een muur opbouwen van 100 m. lengte met een hoogte van 2 m. Tot een hoogte van 1,60 m. is het mogelijk een keermuur te maken die niet geschoord is.

De profielen worden met vrachtauto's aangevoerd. Een goede bereikbaarheid van de site is dus een pré. Ook omdat voor gebruik een fundering gestort dient te worden met daaronder een kwelscherm.



*Figuur 5.15 De aluminium profielen zorgen voor een snelle en gemakkelijke opbouw van het systeem[30].*

### **5.3.3. Kerende hoogte**

DPS 2000 kan tot meer dan 4 m. water keren [25]. Het is mogelijk om aangepaste systemen te maken om bijvoorbeeld ramen en deuren af te sluiten. In Nederland is het systeem op sommige plekken al in gebruik, bijvoorbeeld in Venlo waar een keermuur kan worden opgebouwd van 2,20 m. over een lengte van 190 m.

### **5.3.4. Stabiliteit**

De DPS 2000 haalt de stabiliteit van het systeem uit de fundering en de schoren aan de H-palen. De DPS 2000 is bestand tegen grote stroomsnelheden. Doordat het DPS 2000 vast gemaakt dient te worden aan een fundering voor stabiliteit en tegen onderloopsheid. Er is aan de waterkant een zeer vlakke constructie, waar het water gemakkelijk langs kan stromen en waar weinig vuil aan kan hechten.

### **5.3.5. Temperatuur**

Het is volgens de fabrikant [25] geen probleem om de DPS2000 bij vorst te gebruiken. Over minimum temperaturen waarbij het systeem nog gebruikt kan worden is niets bekend.

### **5.3.6. Verwijderen**

Na gebruik is het DPS 2000 systeem nagenoeg onzichtbaar. Het deel van het “tanden-systeem” wat in de fundering aanwezig is kan worden afgedekt met stalen platen, om beschadiging en opeenhoping van vuil tussen de tanden te voorkomen. De kolommen en de profielen kunnen ergens worden opgeslagen tot ze weer gebruikt moeten worden. Het DPS 2000 systeem is goed te gebruiken in dicht bevolkte gebieden, dit omdat de constructie vrij smal is. Het is wel erg duur en er is een goede fundatie nodig van beton en/of steen, dus het systeem is niet overal toepasbaar. Een goede toepassing kan worden gevonden bij gebruik in coupures en/of op kademuren.

### **5.3.7. Beschadigingen**

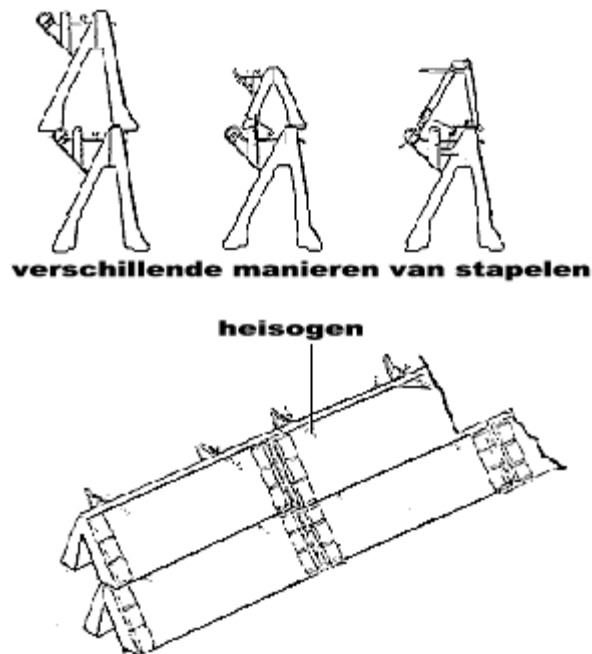
Bij beschadigingen aan het systeem kunnen de beschadigde onderdelen worden vervangen, voor de volgende inzet. Is het systeem in gebruik, dan wordt het moeilijk een onderdeel te vervangen als deze zich (deels) onder het wateroppervlak bevindt.



## 5.4. Snelwegbarrièreblokken

### 5.4.1. Beschrijving

Het grote voordeel is dat al op veel plaatsen deze snelwegbarrières al aanwezig zijn. (bijv. Jersey Highway barrières)[04]. Zijn inzetbaar op goed bereikbare ondergrond waar zwaar materieel kan komen. Is de kerende hoogte niet voldoende, dan kunnen de elementen gestapeld worden. Ook is hier een vlakke en waterdichte ondergrond nodig.



Figuur 5.16 Richardson Highway Barriers van staal (boven) en beton (onder)[04].

Een groot probleem is de aansluiting tussen de blokken en de ondergrond, ze kunnen alleen worden toegepast op een vlakke bodem daar de elementen zeer stijf zijn en zich dus niet vormen naar het profiel van de ondergrond. Waterblock b.v. [32] maakt gebruik van een combinatie van een met water gevulde zak voor een goede aansluiting met de (onregelmatige) bodem en de betonnen snelwegbarrières. Door deze zak zouden de elementen een waterdichte aansluiting met deze bodem moeten verkrijgen, terwijl het aanwezige geomembraan verhinderd dat er onderloopsheid optreedt. Ook op de kieren tussen de elementen moet een geomembraan zorgen voor de waterdichtheid.

Het makkelijkst is om het geomembraan over de hele kering heen te leggen, om het aan de droge zijde te verankeren. De elementen kunnen het best gebruikt worden in gebieden waar

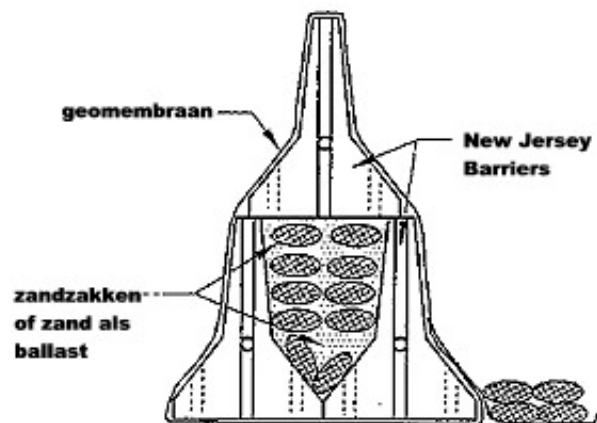
al een voorraad van deze elementen aanwezig is. Een nadeel is dat er moeilijk hoeken gemaakt kunnen worden, alleen aan het einde van een element.

#### 5.4.2. Installatie

In korte tijd kunnen de elementen worden getransformeerd tot een mobiele dijk. Hiertoe wordt de barrier aan de onderzijde voorzien van een opblaasbare kunststof slab, waarvan de bevestiging wordt gerealiseerd door middel van een spanconstructie. De opblaasbare kunststof slab zorgt ervoor dat oneffenheden effectief worden afgedicht, waardoor onafhankelijk van de ondergrond een waterdichte constructie ontstaat [32]. Wel is bij de installatie van de snelwegbarriere-elementen zwaar materieel nodig, om de elementen te vervoeren en deze op hun plaats te zetten.

#### 5.4.3. Kerende hoogte

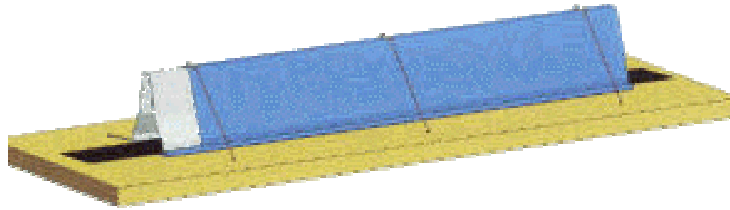
De elementen kunnen worden gestapeld om zo een grotere kerende hoogte te verkrijgen; dit gaat echter wel ten koste van de stabiliteit.



*Figuur 5.17 New Jersey barriers kunnen gestapeld worden om zo een grotere kerende hoogte te creëren, de stabiliteit neemt hierdoor wel af.[04].*

#### 5.4.4. Stabiliteit

De stabiliteit van de barrier kan worden verkregen door spanbanden in combinatie met een verankeringsconstructie als schroefankers, slagankers of speciale ankerstenen. Of dit nodig en/of mogelijk is afhankelijk van de plaatselijke situatie.



*Figuur 5.18 Waterblock maak gebruik van een opblaasbaar kunststof slab om een waterdichte aansluiting te garanderen[32].*

Deze verankeringsystemen kunnen al op voorhand worden aangebracht op plaatsen waar calamiteiten worden verwacht. Een nadeel is dat de ankers aan de natte kant wel op een plaats liggen waar ook het geomembraan ten behoeve van de waterdichtheid dient te komen. Er moet dus gekozen worden voor een kort of een geperforeerd geomembraan.

#### **5.4.5. Temperatuur**

Er is niets bekend over enige beperkingen m.b.t. de temperatuur.

#### **5.4.6. Verwijderen.**

Als het water weer weg is kunnen de elementen weer overal voor gebruikt worden. Mocht er gebruik zijn gemaakt van bijvoorbeeld Waterblock, dan dient dat systeem natuurlijk goed opgeborgen te worden, vergelijkbaar met Waterstructure.

#### **5.4.7. Beschadigen.**

De barriere-elementen zijn niet zo snel stuk te krijgen. Het enige wat eigenlijk kan beschadigen is het geomembraan of de Waterblock. Het is niet bekend of de Waterblock kan worden gerepareerd als deze in gebruik is.

## 6. Analyse van de bestaande systemen:

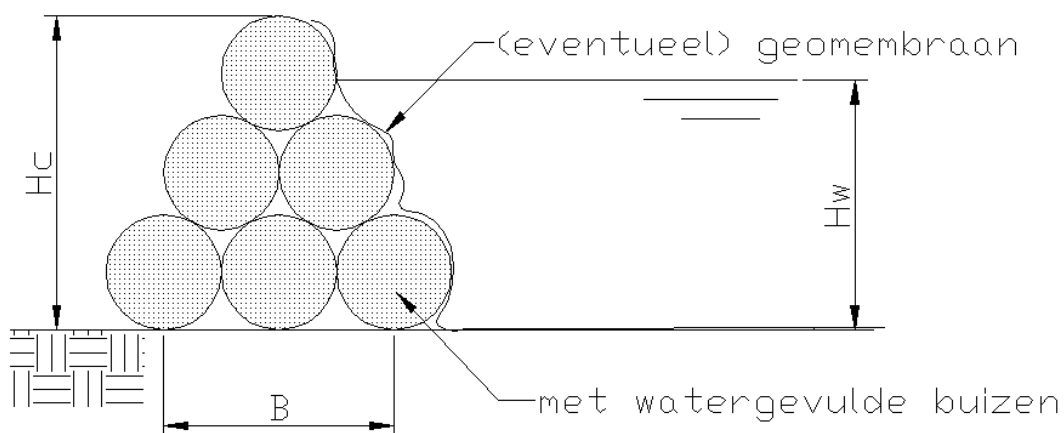
### 6.1. Clement Watersystem

Dit systeem bestaat uit losse met water gevulde buizen die zodanig op elkaar liggen dat er in dwarsdoorsnede een driehoek op elkaar liggen. Als de buizen gevuld zijn met water, blijven er ruimtes tussen, waardoor de kwelweg aanzienlijk verkort wordt. Het grote voordeel van het systeem is de modulariteit, elke buis kan door een persoon gedragen worden. Het is echter niet duidelijk hoe deze buizen aan elkaar zijn verbonden.



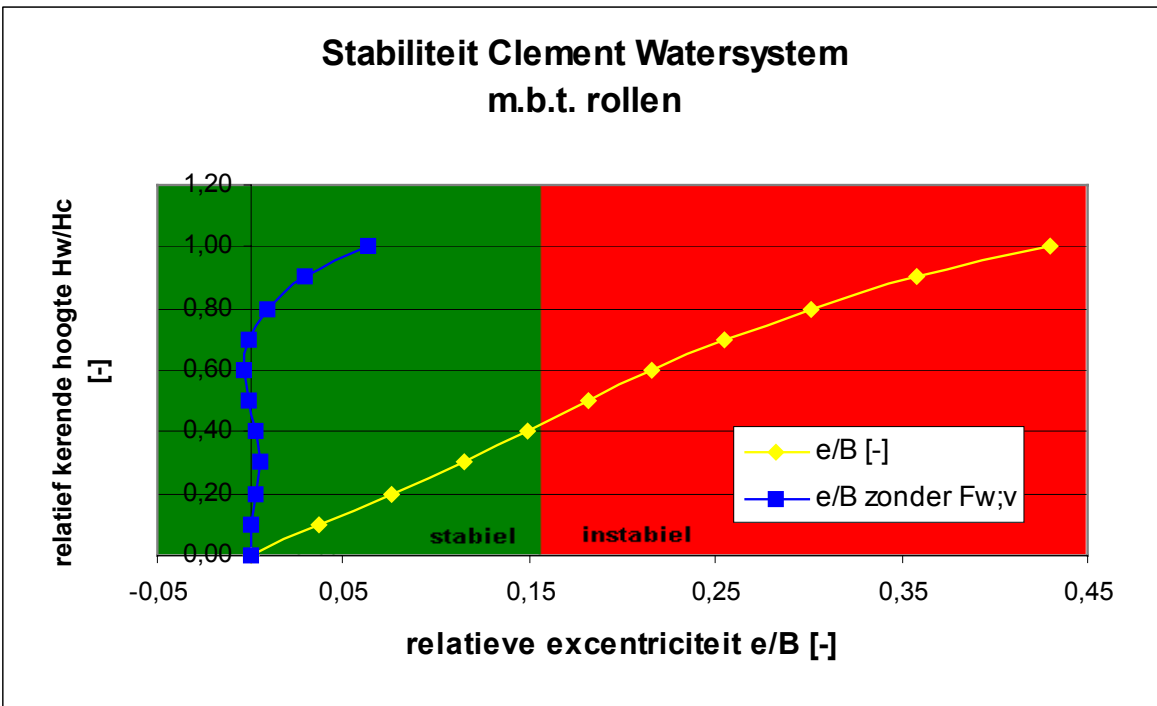
*Figuur 6.1 Een Clement watersystem wordt ingezet als tijdelijke waterkering.*

Bij de maximaal te keren hoogte ligt het rotatiepunt  $0,10 \times B$  van de droge kant van de kering, door de flexibiliteit van de kering is te verwachten dat er grote vervormingen op zullen treden waardoor de kering kan falen.



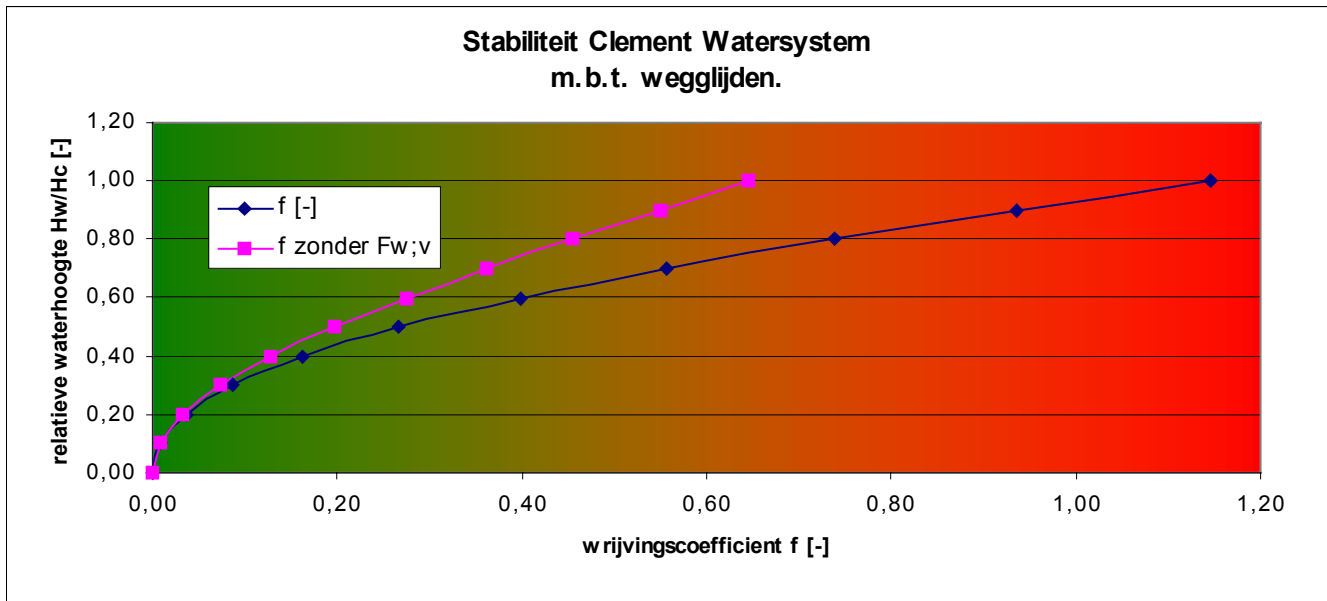
*Figuur 6.2 Schematische doorsnede van een Clement watersystem.*

Doordat de verbindingen tussen de buizen en de druk in de buizen onbekend is, zijn de optredende vervormingen ook niet bekend. Om het lekken van water door de constructie tegen te gaan schrijft de fabrikant nu voor om een geomembraan aan de natte kant van de kering aan te brengen (tot 3 m. uit de voet), waardoor de verticale waterdruk ( $F_{w,v}$ ) tegen de onderkant van de kering zou kunnen worden verwaarloosd. Dit komt natuurlijk de stabiliteit ten goede, maar het blijft de vraag of de waterdruk werkelijk verwaarloosd kan worden. In de berekening is de stabiliteit met en zonder geomembraan berekend.



Grafiek 6.1. Verschil in rolstabiliteit van het Clement Watersystem door wel of niet meerekenen van waterdruk tegen onderkant constructie.

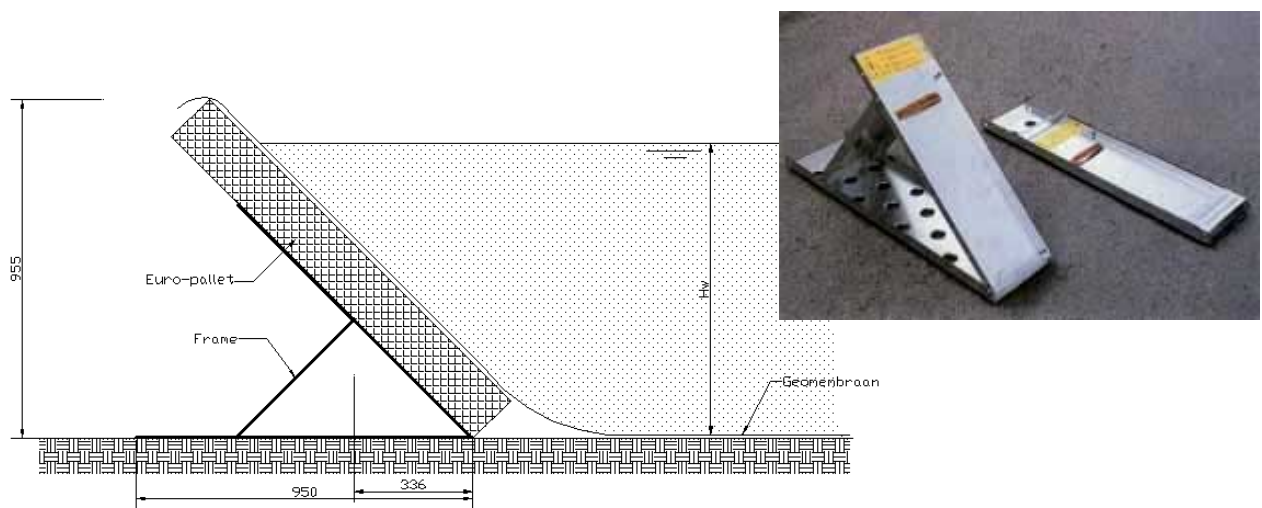
Zonder geomembraan komt de stabiliteit bij een te keren hoogte van 50% van de constructiehoogte in gevaar. Met geomembraan zou de constructie niet in gevaar komen.



Grafiek 6.2 Verschil in glij-stabiliteit van het Clement Watersystem door wel of niet meerekenen van waterdruk tegen onderkant constructie.

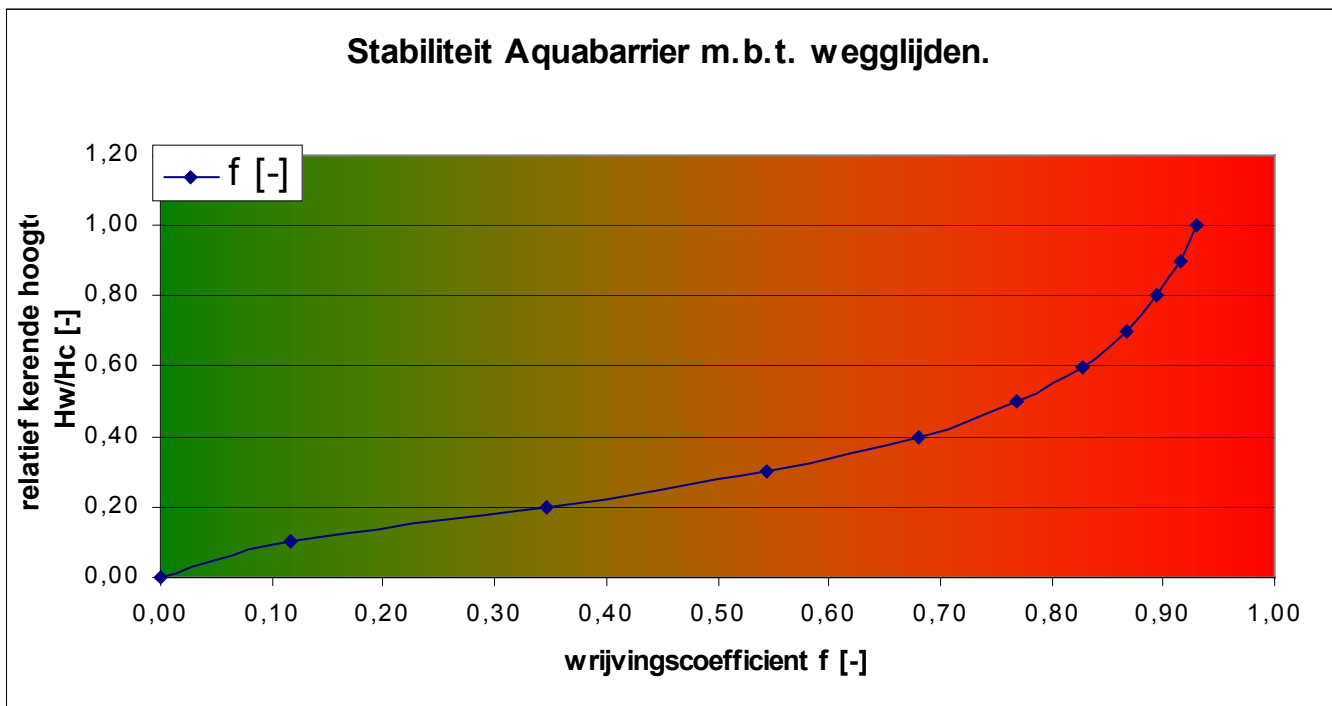
Toch blijft ook met het geomembraan de kans op wegglijden aanwezig. De fabrikant geeft zelf nog aan dat het wegglijden wordt voorkomen door het geomembraan, doordat dit ook een bijdrage zou leveren door middel van de weerstand van het geomembraan met de ondergrond. Bij een lekkage van het membraan zal de druk boven en onder het doek nivelleren en zal de wrijving tussen geomembraan en ondergrond tot nul teruglopen.

## 6.2. Aquabarrier



figuur 6.3 Een schematische doorsnede van het Aquabarrier-systeem met in de inzet de uitklapbare frames die worden toegepast.

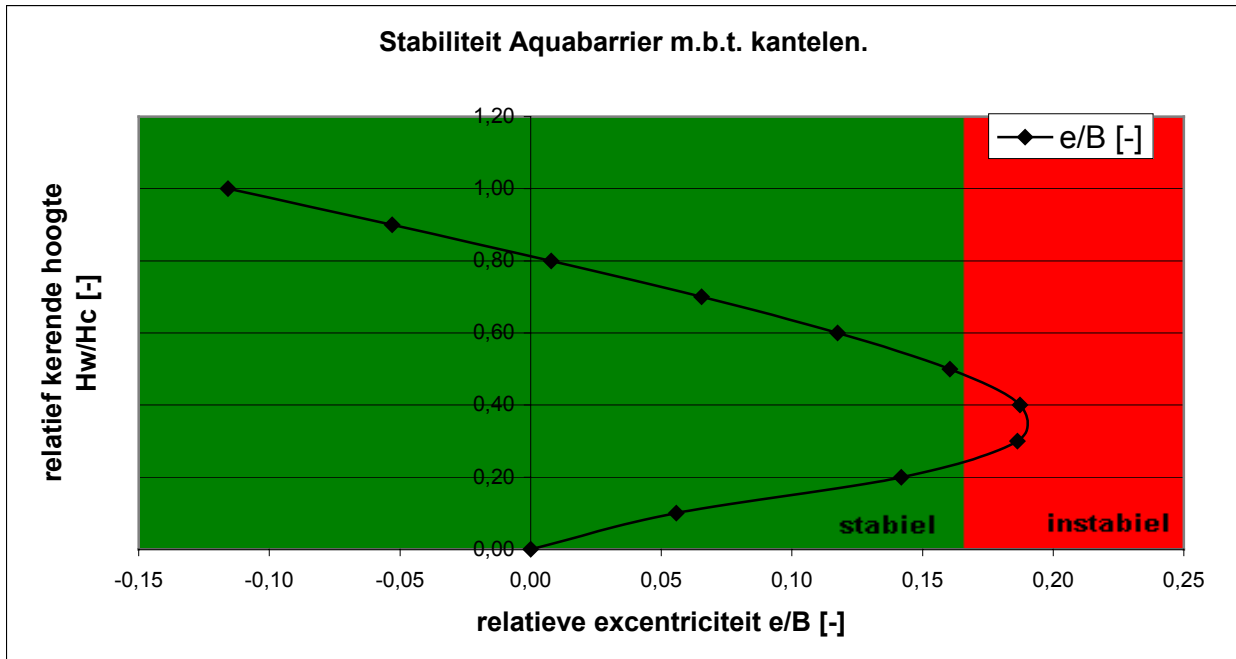
De Aquabarrier is een stalen frame waar een (euro)pallet op gelegd wordt. De pallet kan in dwars en in lengterichting geplaatst worden al naar gelang de gewenste kerende hoogte. De stabiliteit van het systeem hangt vooral af van de weerstand tegen het wegglijden welke bijna geheel afhangt van de verticale neerwaartse kracht die het water op de constructie uitoefent.



Grafiek 6.3 De stabiliteit van de Aquabarrier tegen wegglijden afhankelijk van de te keren waterhoogte.

Ook is het systeem, wanneer er nog geen water tegen staat en het systeem dus nog geen gewicht heeft, extreem gevoelig voor wind. Doordat de frames van staal zijn gemaakt en helemaal vlak zijn glijden ze makkelijk weg.

Doordat het systeem eigenlijk geen onderkant heeft, werkt er ook geen waterdruk onder tegen de constructie. Bij dit systeem dient er dan ook een geomembraan aangebracht te worden tegen onderloopsheid.



Grafiek 6.4 De stabiliteit van Aquabarrier met betrekking tot kantelen.

De gehele waterkerende functie van het systeem hangt af van het geomembraan en is dus extreem gevoelig voor lekkage. Een stuk geomembraan van zo'n 0,50 m. is vaak niet voldoende om onderloopsheid tegen te gaan op een doorlatende bodem (bij een te keren hoogte van 0,90 m.) Bij een langer geomembraan zal de rek zo groot zijn, dat het systeem een stuk moet verschuiven voordat het geomembraan de optredende trek in het doek kan opnemen.



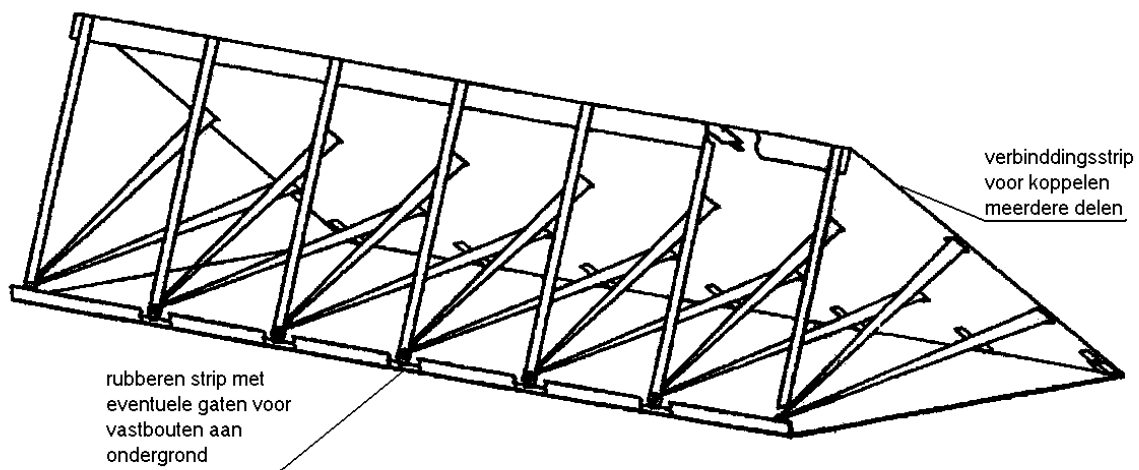


*Figuur 6.4 Op het geomembraan worden verzwaringen aangebracht, zodat de uiteinden van het membraan een “goede” aansluiting hebben met de ondergrond en zodat deze niet omslaan.*

Ook kan er lekkage tussen de twee verschillende secties optreden, de afsluiting geschiedt namelijk door een overlap van de twee losse stukken geomembraan. Bij de keuze van het geomembraan dienen er ook keuzes gemaakt te worden. Bij drijvend vuil is een dik en stijf geomembraan gewenst, dun geomembraan is echter goedkoper en makkelijker aan te brengen.

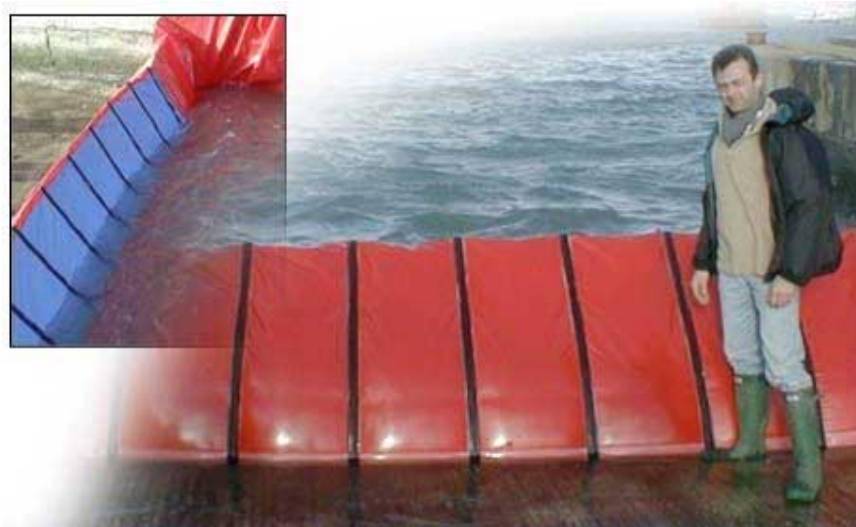
### 6.3. Rapid Emergency Dam

De rapidam is een mobiele waterkering die ontworpen is om privé en commerciële eigendommen te beschermen tegen beschadigingen ten gevolge van hoog water. Volgens Hydrosience, de fabrikant van de Rapid Emergency Dam (RED) is de dam zelfs door ongetraind personeel eenvoudig en snel te installeren. Er zijn verschillende versies, de vrijstaande en de bout-versie, allebei beschikbaar in hoogten van 0,50 m, 1,00 m, 1,50 m. en 2,00 m.



*Figuur 6.5 '3D-schets van het RED – systeem.*

Het principe van de RED is min of meer te vergelijken met een boekensteun. Door het gewicht op het horizontale deel wordt wegglijden en omvallen tegengegaan. Wel raadt de fabrikant aan de uiteinden van het vlies in te graven of te verzwaren om zo een waterdichte (?) aansluiting te krijgen. Wordt het RED-systeem toegepast op een verhard oppervlak, dan kan het hieraan worden vastgemaakt door middel van bouten, waarbij de uiteinde van het systeem in een rubberen strip in de ondergrond wordt geklemd. Deze strip moet wel al van tevoren in de ondergrond zijn aangebracht.

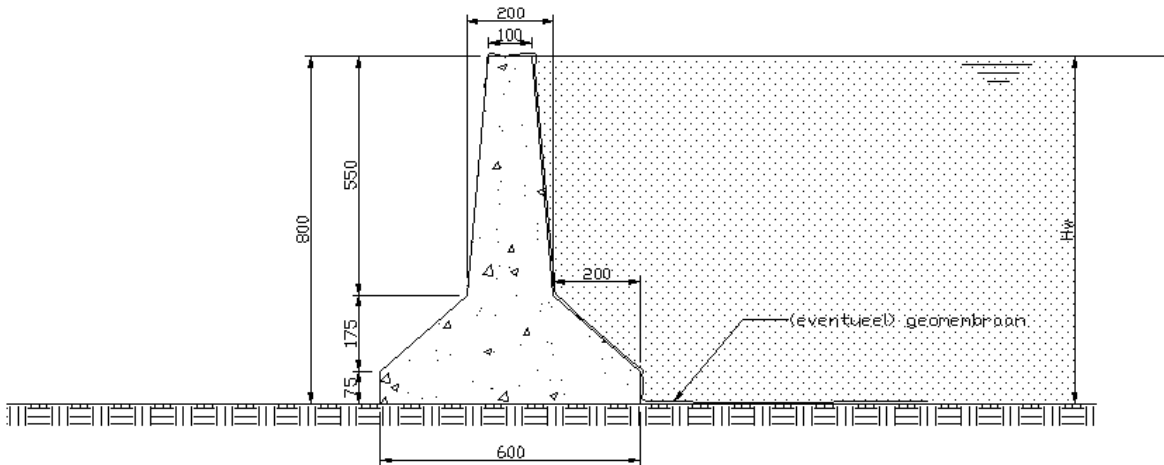


*Figuur 6.6 De bedenker bij een test van de Rapid Emergency Dam.*

Het systeem bestaat uit een gewapend PVC-doek wat behandeld is tegen UV-straling en schimmels en eventueel aangepast kan worden aan de plaatselijke omstandigheden.

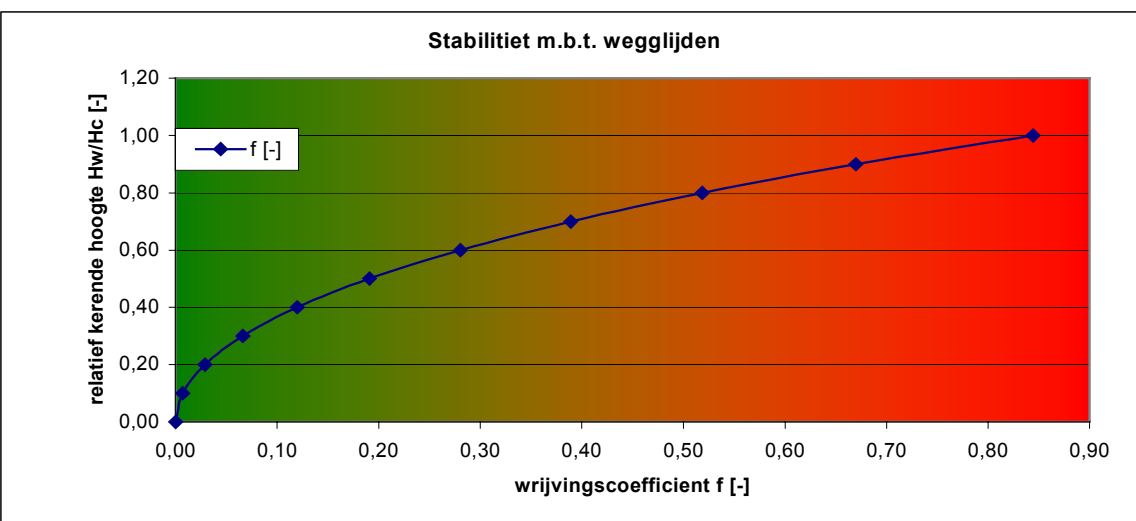
## 6.4. Highway barriers

De Jersey highwaybarriers hebben altijd min of meer dezelfde doorsnede en zijn gemaakt van beton. Door de vorm aan de natte zijde zal er een verticale kracht werken op de barrier. Deze kracht is afhankelijk van de waterdiepte en wordt als  $F_{w,G}$  bij het gewicht van de barrier opgeteld. Ook een highwaybarrier is een starre constructie, dus ook hier wordt het moment genomen om de voet aan de droge zijde. Eigenlijk hetzelfde als een gabion, alleen wordt hier de aanwezige verticale neerwaartse waterdruk aan de natte zijde in rekening gebracht.



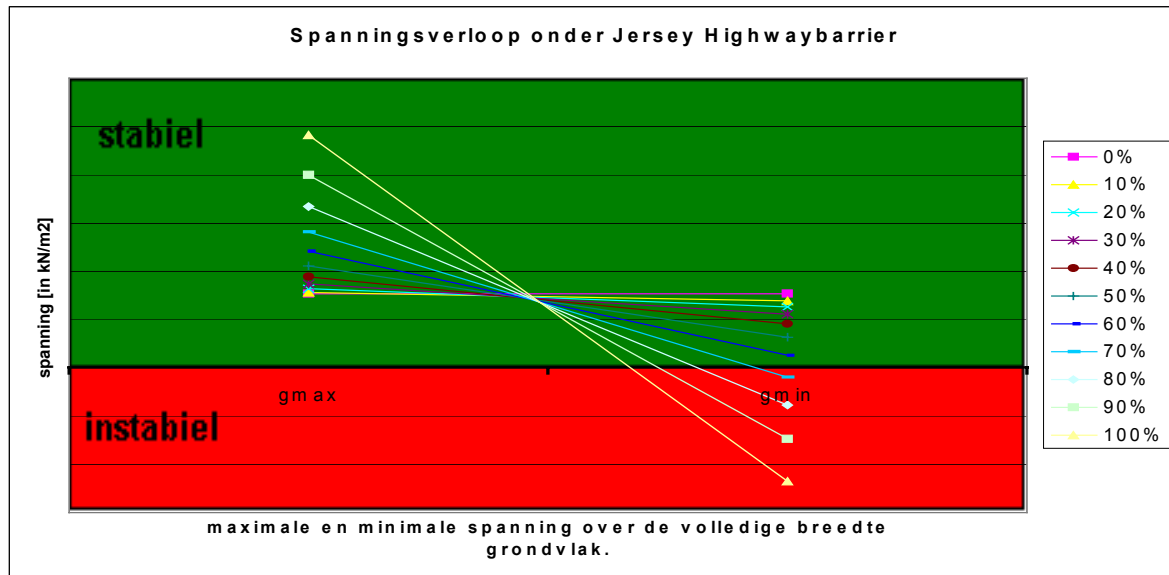
Figuur 6.7 Doorsnede van een Highwaybarrier.

Highway-barriers zijn slanke constructies, ze zijn vaak veel hoger dan breed. Doordat ze van beton zijn gemaakt hebben ze een hoog soortelijk gewicht waardoor deze constructies slanker kunnen zijn dan wanneer ze met water of zand gevuld zouden zijn. Door de smalle voet is er natuurlijk wel een zeer korte kwelweg en zullen er aanvullende maatregelen moeten worden getroffen om onderloopsheid tegen te gaan.



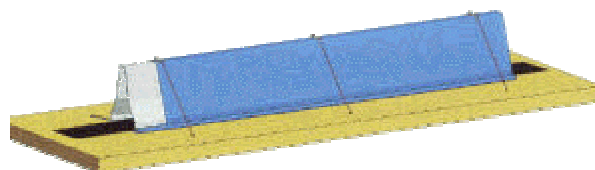
Grafiek 6.5 Stabiliteit van de Highwaybarrier met betrekking tot wegglijden.

Bij een te keren niveau van ongeveer 70% van de constructiehoogte komt de stabiliteit met betrekking tot wegglijden in gevaar. Bij een waterstand van ongeveer 65% van de constructiehoogte komt de constructie met betrekking tot omvallen al in gevaar. Het draaimoment wordt aan de teen aan de droge kant van de constructie genomen, dit omdat de vervorming van een elementen door de starre constructie uiterst miniem zal zijn.



Grafiek 6.6 Het verloop van de spanningen onder een Hersey Highwaybarrier bij de verschillende waterhoogten.

Ook door middel van de “holle” stalen snelweg barrières kering wordt getracht het water tegen te houden, de stalen barrière-elementen waarover een geomembraan is gespannen worden door middel van spanbanden aan grondankers bevestigd, waardoor de constructie op zijn plaats wordt gehouden. Hierdoor kan er echter geen geomembraan worden aangebracht, waardoor er gevaar is voor onderloopsheid.



Figuur 6.8 De stalen barrier wordt doormiddel van ankers en spanbanden aan beide kanten van de constructie aan de ondergrond bevestigd tegen wegglijden en omrollen, waardoor er weinig plaats overblijft voor het geomembraan.

Afhankelijk van de sterkte van de banden en het aantal ankers per meter kan dit systeem stabiel gemaakt worden. De maximaal opneembare kracht van een (schroef)anker is afhankelijk van de bodem waarop dit systeem wordt aangebracht. De aansluiting met de bodem gebeurt door middel van een opblaasbare slab, deze kan echter kleine vervormingen

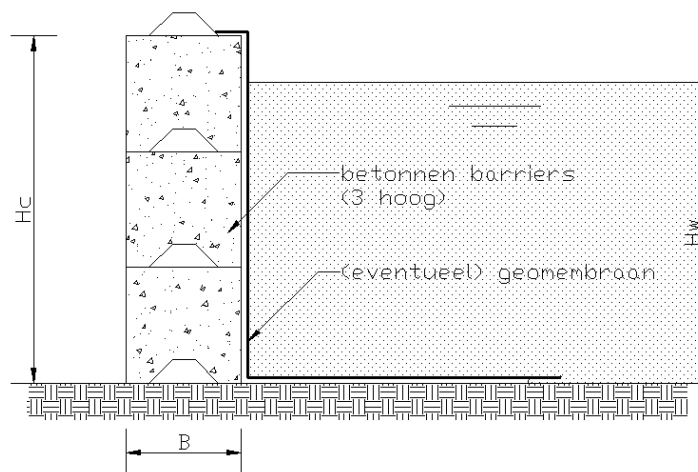
in de ondergrond volgen. Bij bijvoorbeeld een “bolle” weg zal het lastig zijn een lange starre balk op de bodem te laten aansluiten.

De laatste keringen zijn keringen met een rechthoekige doorsnede, die ook op elkaar kunnen worden gestapeld, de Waterbarrier. Een afgeleid systeem van de highwaybarriers is de Waterblock-variant, dit zijn als het ware grote betonnen lego-stenen (2,60 x 0,50 x 0,50) waaronder een geomembraan gelegd wordt.

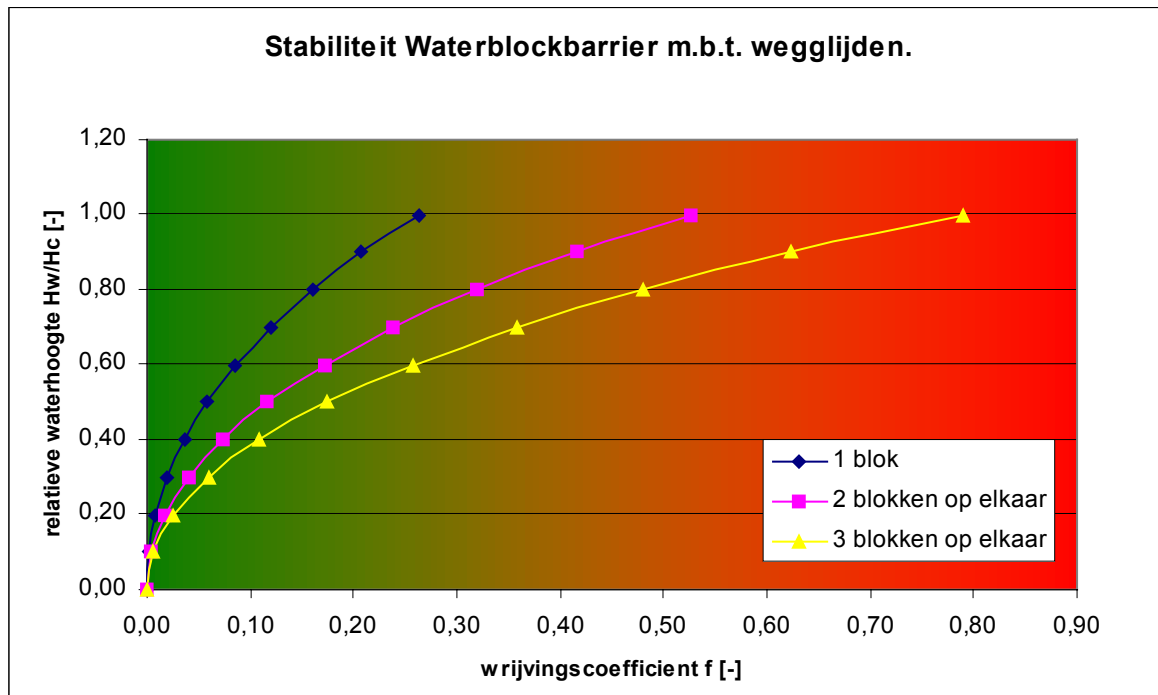


*Figuur 6.9 Betonnen elementen van verschillende lengten worden door middel van zwaar materieel als lego-stenen op elkaar geplaatst.*

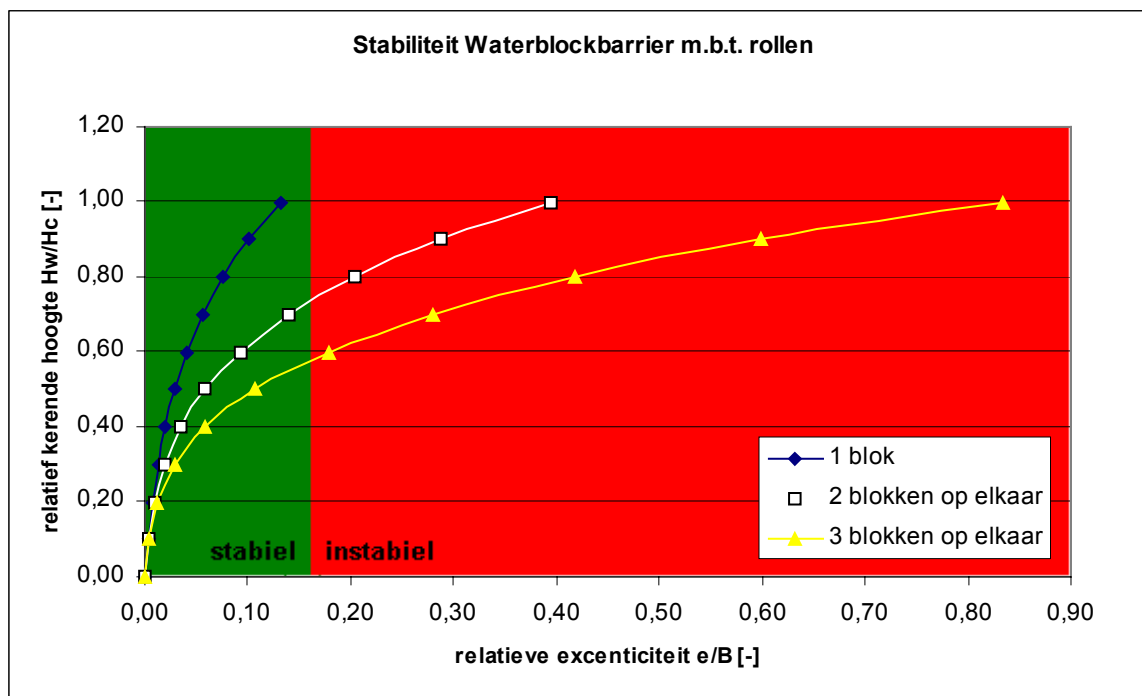
Bij dit systeem kunnen verschillende lagen op elkaar gezet worden, waardoor de kerende hoogte vergroot kan worden. Het op elkaar stapelen heeft wel negatieve gevolgen voor de stabiliteit van de kering.



*Figuur 6.10 Schematische doorsnede van de Waterbarrier*



Grafiek 6.7 Stabiliteit Waterbarrier met betrekking tot wegglijden.



Grafiek 6.8 Stabiliteit waterbarrier met betrekking tot rollen.

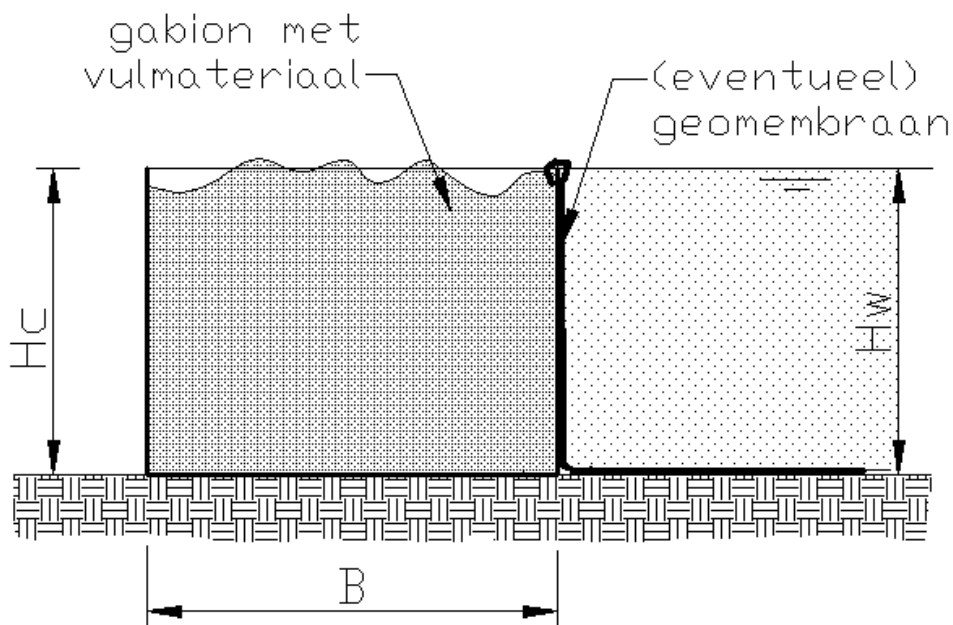
Uit deze grafieken is af te lezen dat het systeem bij twee blokken op elkaar al instabiel wordt voordat de waterhoogte gelijk is aan de constructiehoogte. Wel moet gezegd worden dat het hier gaat om de relatief kerende hoogte, bij twee blokken kan ongeveer  $0,75 \times 2H_{\text{blok}} = 1,5 H_{\text{blok}}$  water gekeerd worden. Bij drie blokken op elkaar komt men tot ongeveer  $1,65 H_{\text{blok}}$ .

Een enkel blok is wel stabiel met betrekking tot omvallen en wegglijden. Alleen zal ook hier een geomembraan aangebracht moeten worden om zo te proberen onderloopsheid te voorkomen. Een ander nadeel bij dit systeem is dat men zwaar materieel nodig heeft om de blokken te kunnen plaatsen.



## 6.5. Gabions

De gabions zijn allen gevuld met zand of zijn gemaakt van beton. Het voordeel van een gabion is dat deze van zichzelf een kwelweg heeft. De weerstand tegen piping is dus groter. Door de vorm (rechthoekig) en het materiaal (zand en/of beton) is het gewicht vaak hoog. Dit komt ten goede aan de stabiliteit tegen wegschijven en omvallen.



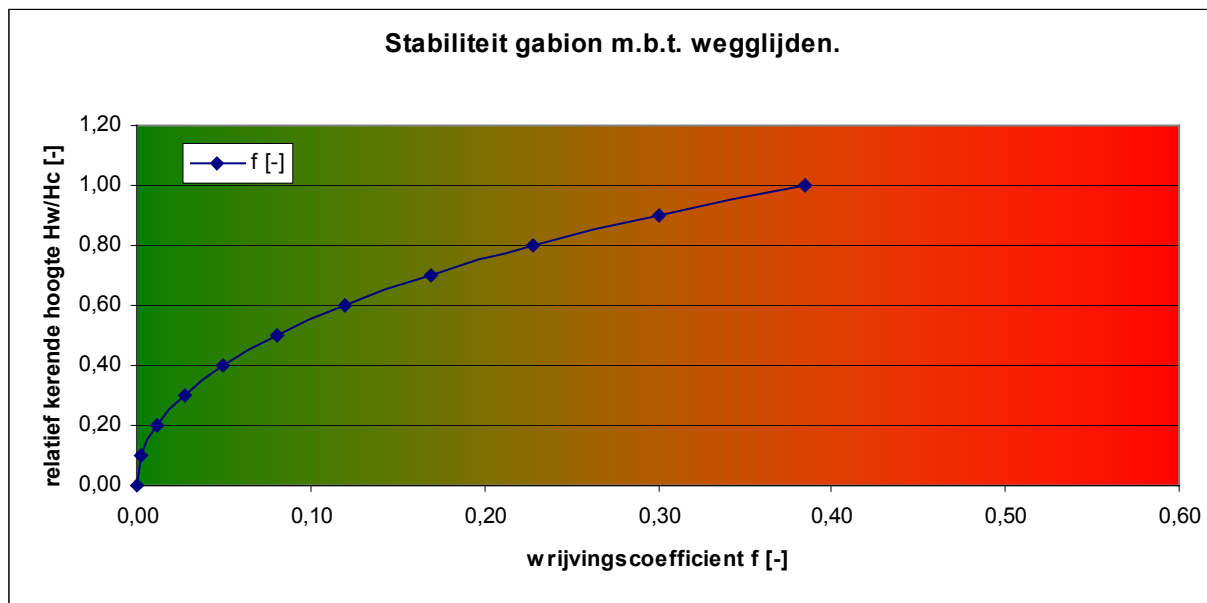
*Figuur 6.11 Een schematische doorsnede van een gabion.*

Een gabion wordt voorgesteld als een starre gewichtloze rechthoek welke evenredig is gevuld met vulmateriaal van een bepaalde soortelijk gewicht. We kunnen er dus vanuit gaan dat het massazwaartepunt in het midden van deze rechthoek zit (dus  $r_G = \frac{1}{2}B$ ).

We nemen het moment om de voet aan de droge zijde. De breedte van het contactvlak voor de 2<sup>de</sup> orde piping wordt berekend door het moment om de droge voet gelijk stellen en aan het effectieve gewicht  $x$  de afstand tot het midden van het contactvlak  $M_A = (F_{v,eff} \cdot \frac{1}{2}x)$ .

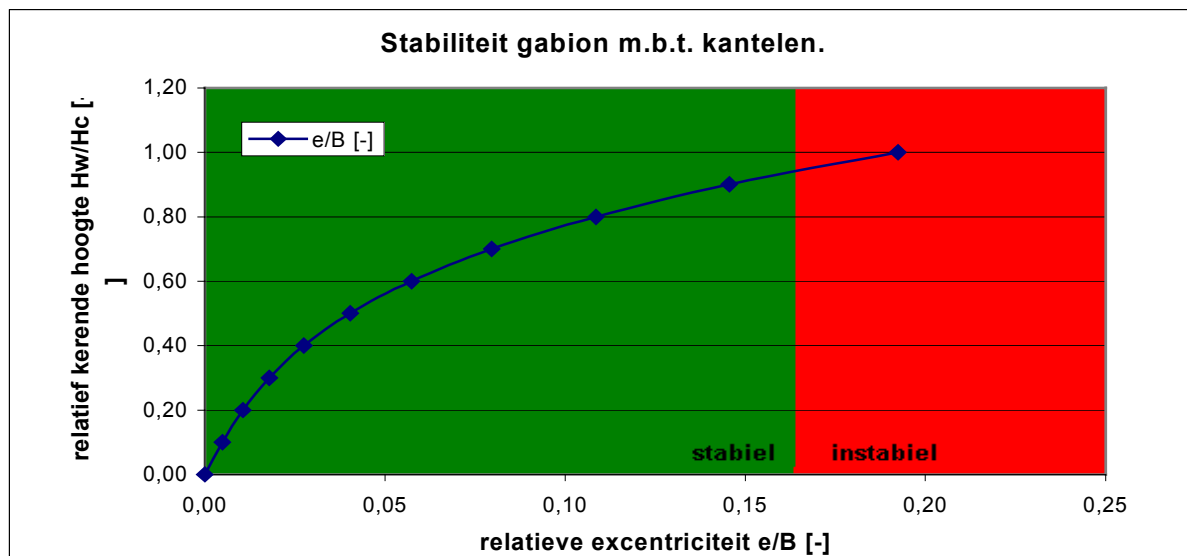
Er is een grote variëteit aan gabions beschikbaar. Ze worden doorgaans gevuld met zand.

Als voorbeeld-gabion is hier de stabiliteit weergegeven van de Maccaferri Flexmac met een doorsnede van 0,50 x 0,50 m.



Grafiek 6.9 Stabiliteit van een gabion waarbij de hoogte gelijk is aan de breedte ( $H_c=B$ ).

Hier is te zien dat een gabion van gelijke hoogte en breedte tot 100% van de constructiehoogte het water kan keren, zonder dat de wrijvingscoëfficiënt boven de 0,4 komt, waardoor deze constructie voor bijna elk grondtype stabiel is met betrekking tot wegglijden. (behalve bij zeer slappe grond)



Grafiek 6.10 Stabiliteit van een gabion met betrekking tot kantelen ( $H_c=B$ ).

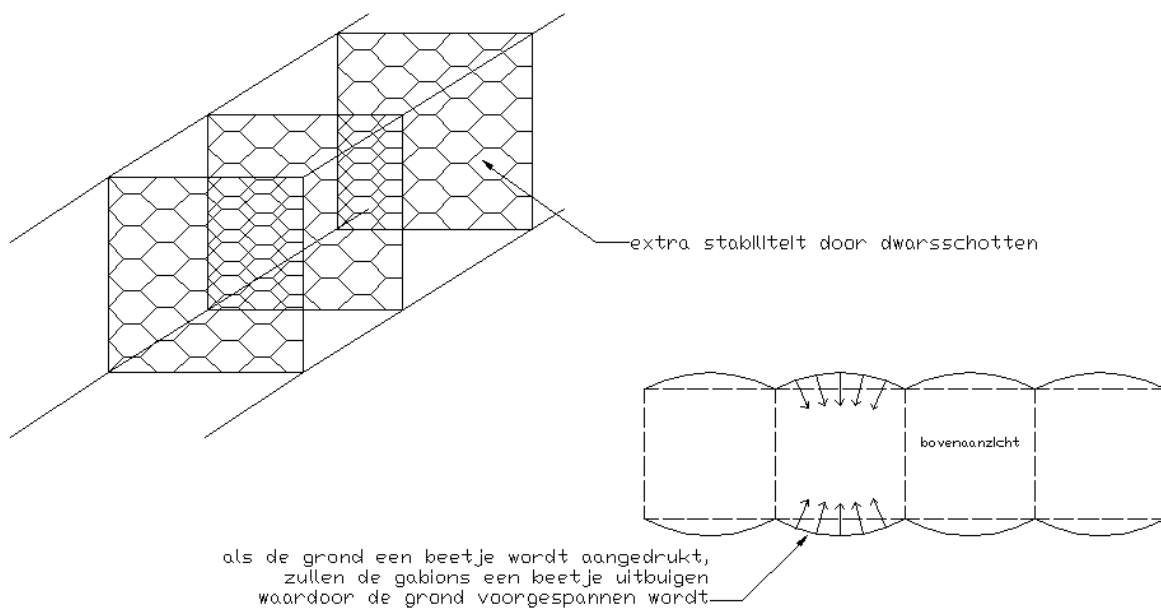
We zien dat met betrekking tot de stabiliteit van het systeem op zich dat bij een waterdiepte van ongeveer 95% van de constructie hoogte de stabiliteit in gevaar komt (aansluiting met grond kan geen trek opnemen, er moet gelden  $\sigma \geq 0 \text{ N/mm}^2$ )

Ook is de interne stabiliteit van de gabion berekend, omdat de stijfheid van de aanwezige dwarschotten onbekend is.

Uit de berekeningen blijkt of de grond de schuifspanningen kan opnemen.

Zand heeft geen cohesie ( $c=0 \text{ kN/m}^2$ ), maar de hoek van inwendige wrijving is bij zand groot genoeg, om de schuifspanning op te kunnen nemen. Bij klei is de hoek van inwendige wrijving niet voldoende, echter de cohesie van de klei zorgt er voor dat de optredende krachten ten gevolge van de waterdruk, opgenomen kunnen worden.

Er zijn nog een aantal andere factoren, die de interne stabiliteit ten goede komen:

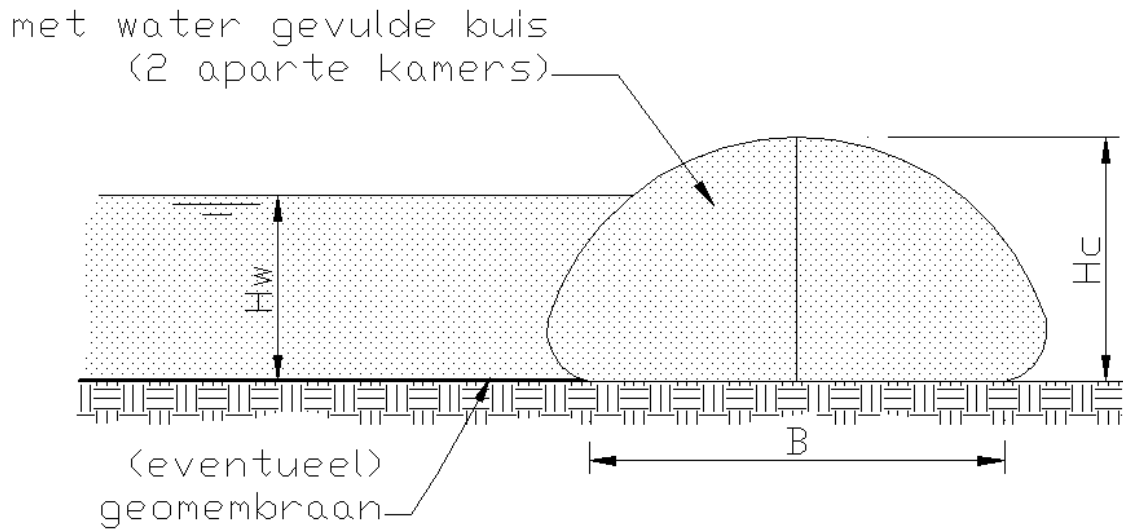


*Figuur 6.12 Factoren die de interne stabiliteit van een gabion vergroten.*

- Dwarsschotten zijn vaak gemaakt van staaldraad in een vierkant frame, hierdoor fungeert het staaldraad als een soort kruisverband en is het frame vormvast bij de optredende krachten ten gevolge van de waterstand. Hierdoor ontstaan wel verhoogde spanningen ter plaatse van het bodemvlak.
- De grond wordt als het ware voorgespannen in de gabion, hierdoor nemen de korrelspanningen toe en daardoor ook de opneembare schuifspanningen.

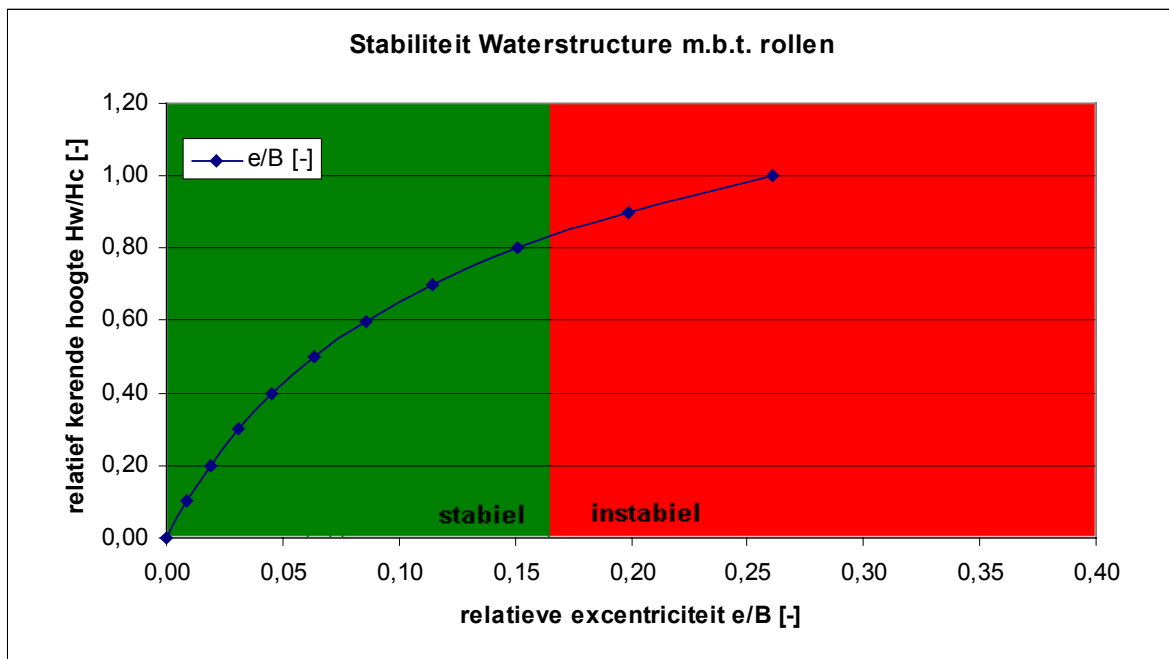
### 6.6. Waterstructure

Bij de Waterstructure bestaat het bezwijken door omvallen eigenlijk uit het tillen van de ene kamer over de andere kamer. De plaats waarom de constructie draait, het draaipunt, is dan ook halverwege de kamer aan de droge kant genomen.



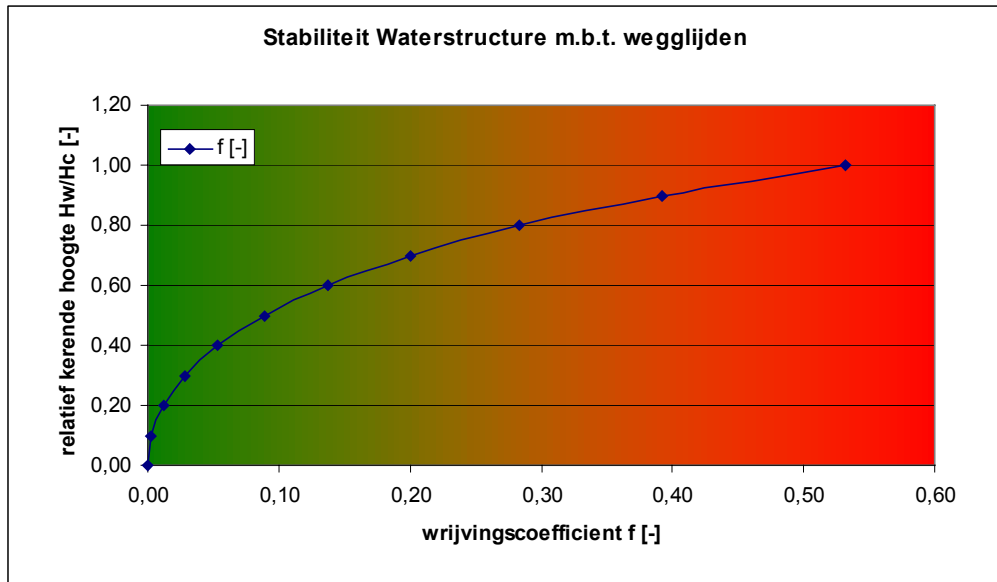
Figuur 6.13 Schematische doorsnede van het Waterstructure-systeem.

Dit vanwege de flexibiliteit van de constructie.



Grafiek 6.11 Stabiliteit Waterstructure met betrekking tot rollen.

De Waterstructure kan met kabels worden beveiligd tegen wegglijden. Grote verschillen met betrekking tot de veiligheidsfactor in vergelijking met de fabrikant ligt hem in het feit dat de fabrikant de waterdruk tegen de onderkant van de constructie niet heeft meegerekend.

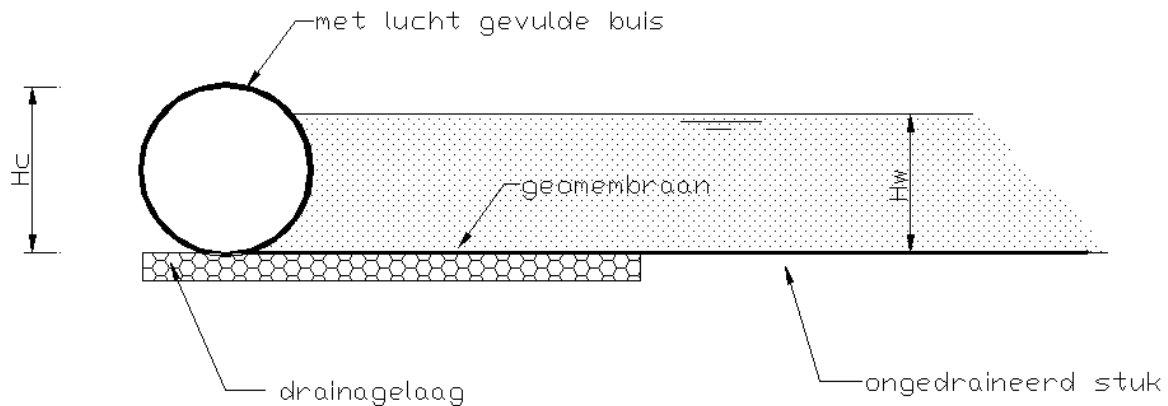


Grafiek 6.12 Stabiliteit Waterstructure met betrekking tot wegglijden.

Doordat de constructie van de Waterstructure flexibel is en gevuld met water zal de druk op een horizontale ondergrond overal gelijk zijn, de spanningen onder de constructie verlopen dus lineair.

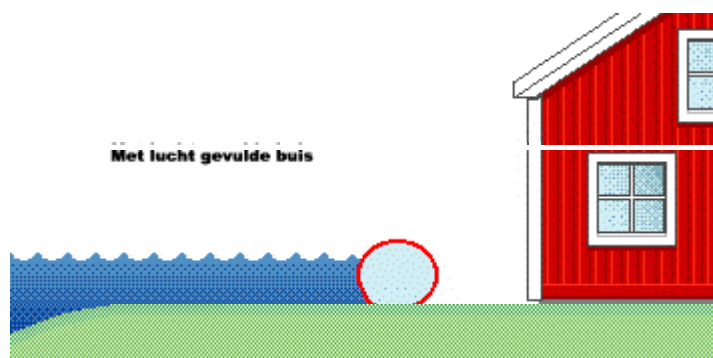
## 6.7. NOAQ-systeem

Bij het NOAQ-systeem wordt de weerstand tegen glijden geheel opgewekt door de weerstand tussen geomembraan en gedraineerde ondergrond. We kunnen hier dus de invloed van het geomembraan op het horizontaal en verticaal evenwicht niet verwaarlozen.



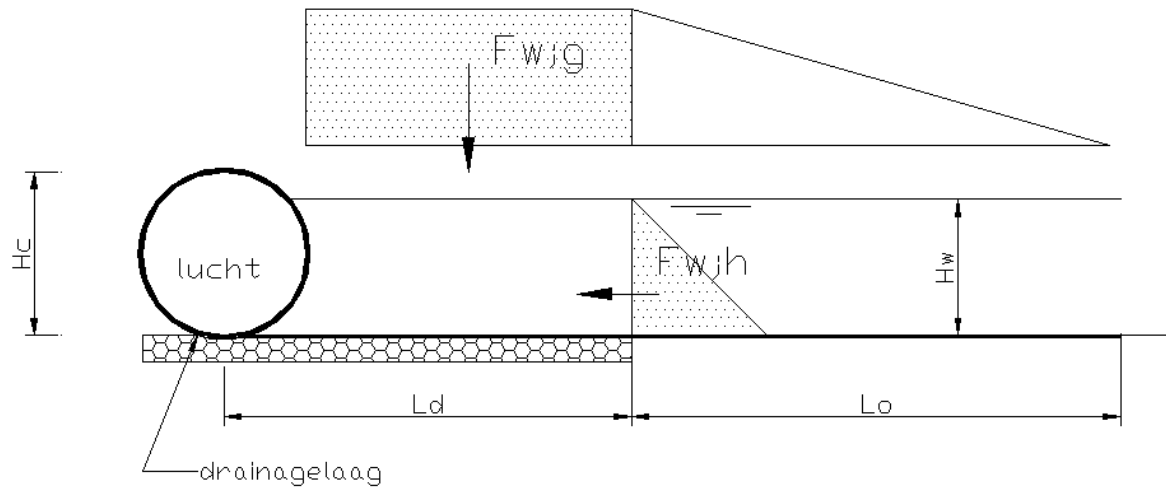
*Figuur 6.14 Schematische doorsnede NOAQ-systeem.*

De fabrikant stelt dat de verticale waterdruk ( $F_{w,v}$ ) lineair verloopt over het ongedraineerde deel van de ondergrond en dat er in het gedraineerde deel van de ondergrond geen water voorkomt (wat natuurlijk bijna niet realiseerbaar is, want door de drain onder de constructie door wordt de kwelweg ernstig verkort!).



*Figuur 6.15 Principe van het NOAQ-systeem.*

De horizontale stabiliteit van het systeem hangt volledig af van de wrijving tussen het geomembraan en de ondergrond. Doordat het systeem gevuld is met lucht, blijft het uiteinde aan de kant van de buis altijd boven water.

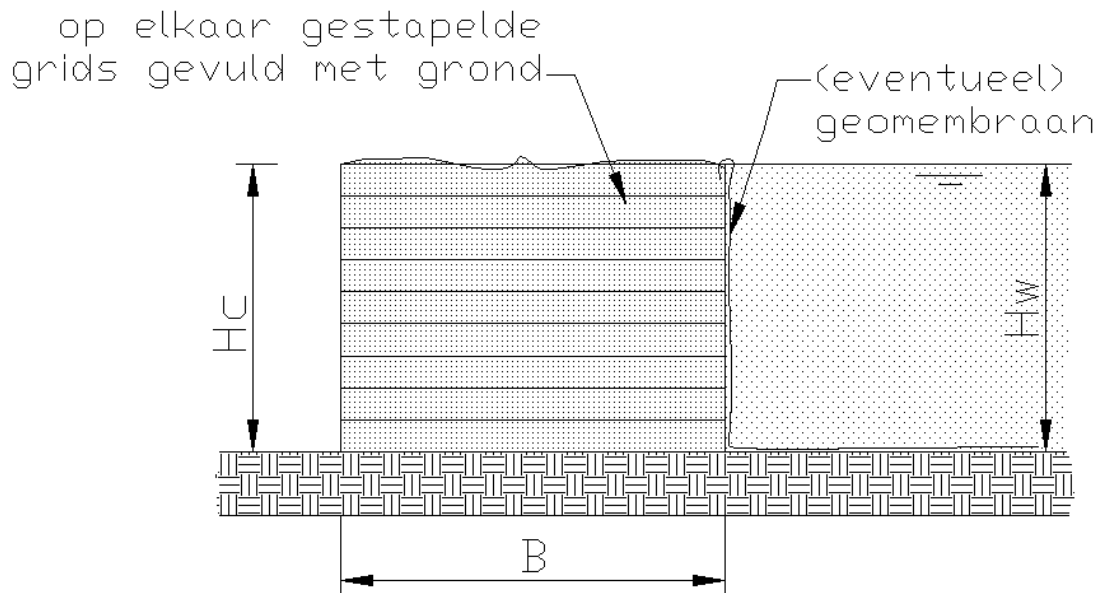


*Figuur 6.16 Krachten op het NOAQ-systeem volgens de fabrikant.*

Bij proeven in Nederland bij verschillende waterschappen is gebleken dat het systeem wegdrijft, tijdens het vervaardigen van dit rapport is ook bekend geworden dat het Zweedse bedrijf failliet is gegaan.

## 6.8. Rapid Deployment Fortification Wall

Bestaat uit een met grond gevuld grid. Doordat de bodem niet waterdicht is zal t.g.v. het water de kering “nat” kunnen worden. Hierdoor zal er een korte kwelweg zijn. Doordat de RDFW bestaat uit allemaal losse grids op elkaar moet niet alleen de gehele constructie, maar ook elke aparte laag worden gecontroleerd op bezwijken.



*Figuur 6.17 Schematische doorsnede van een RDFW-systeem.*

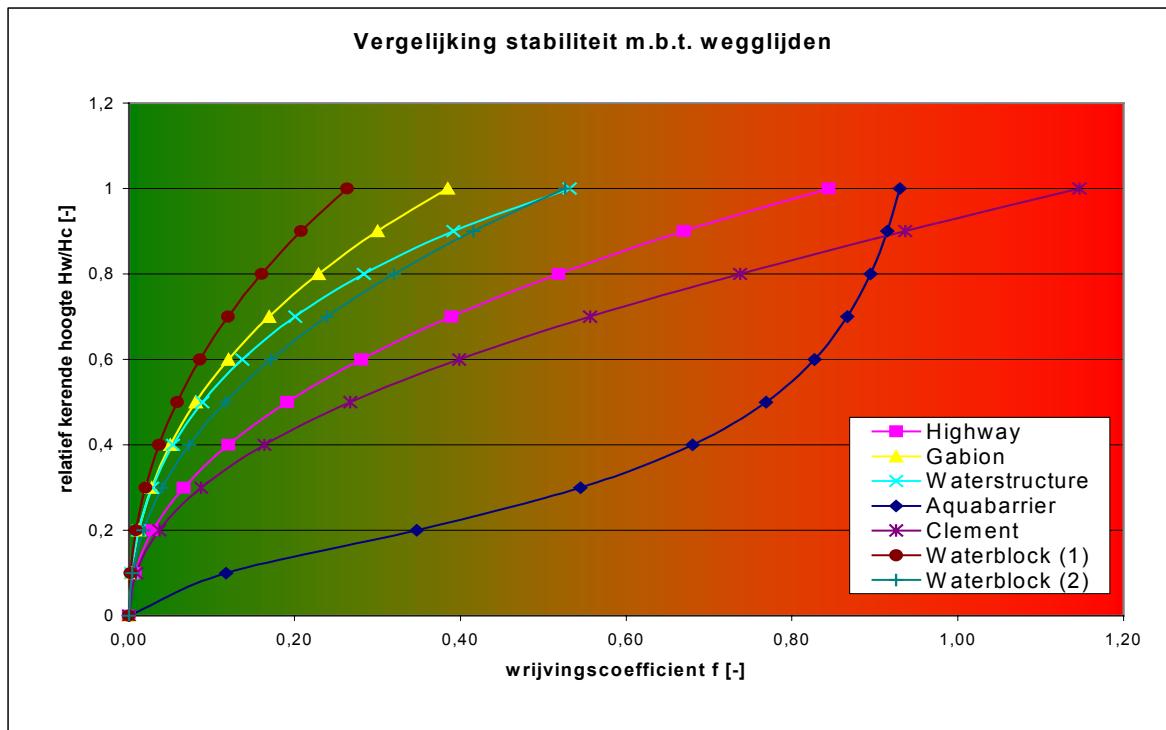
De weerstand tegen wegschuiven tussen twee afzonderlijke lagen is onbekend, daar de delen aan elkaar bevestigd kunnen worden. De RDFW is dus eigenlijk een gabion die opgebouwd is uit verschillende delen, gevuld met zand.



## 6.9. Vergelijking systemen

### 6.9.1. Vergelijking stabiliteit

We kunnen alle wrijvingscoëfficiënt van de verschillende systemen tegen elkaar uit zetten om een goed beeld te krijgen van de systemen in relatie tot elkaar. Omdat er bij sommige systemen nogal wat variaties zijn in aanwezige alternatieven (bijvoorbeeld gabions) wordt hierbij een gemiddeld systeem uitgezocht.

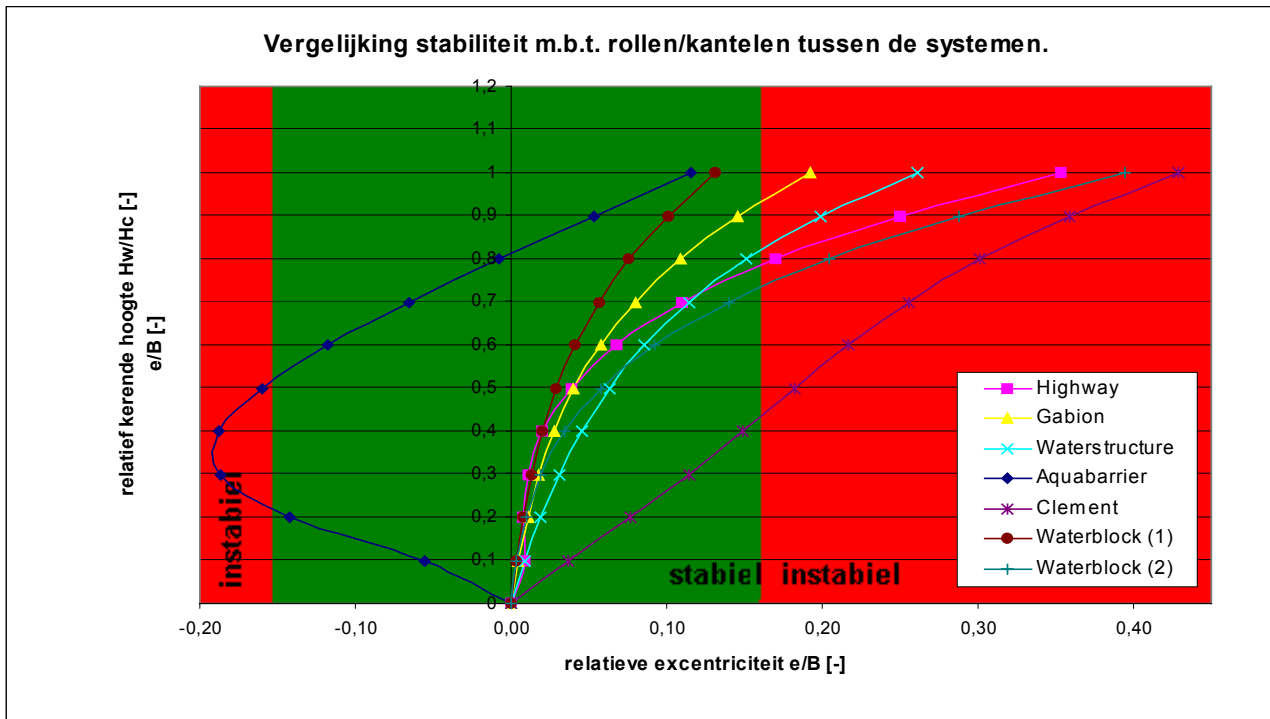


Grafiek 6.13 Vergelijking van de stabiliteit van de verschillende systemen met betrekking tot wegglijden.

De wrijvingscoëfficiënt  $f$  [-] is uitgezet tegen de relatief kerende hoogte, de relatief kerende hoogte, de waterkerende hoogte  $H_w$  gedeeld door de constructiehoogte  $H_c$ .

De Aquabarrier heeft een afwijkend verloop, omdat de alle andere getoonde constructies een soort "gewichtconstructies" zijn, terwijl de Aquabarrier voor zijn stabiliteit tegen wegglijden afhankelijk is van het geomembraan welke voor en over de constructie wordt aangebracht.

Om stabiel te zijn dient excentriciteit gedeeld door de breedte van het desbetreffende systeem ( $e/B$ ) tussen de  $-0,167$  en  $0,167$  te liggen.

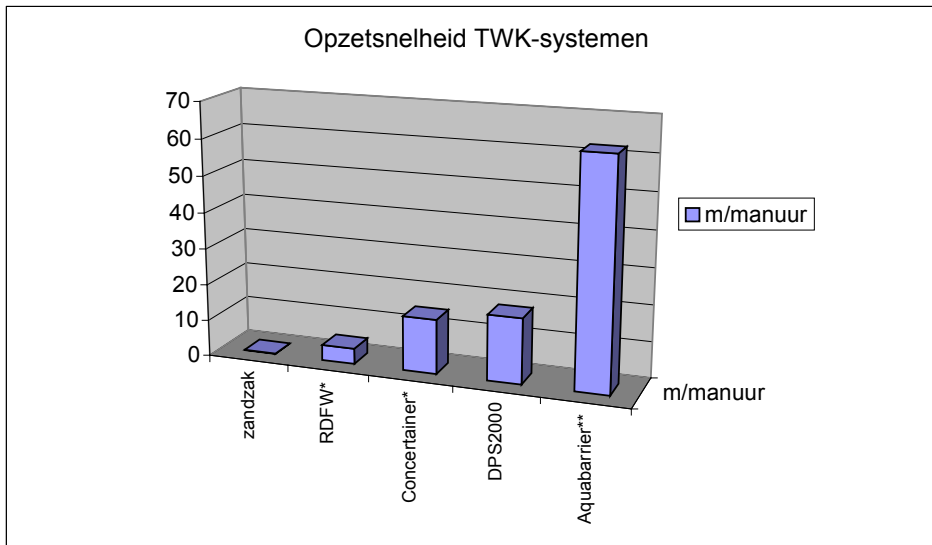


Grafiek 6.14 Vergelijking van de stabiliteit van de verschillende systemen met betrekking tot rollen of kantelen.

Het NOAQ-systeem is in de vergelijkingen niet terug te vinden. Dit systeem heeft van zichzelf geen gewicht (bestaat uit een met lucht gevulde buis) maar tracht zijn stabiliteit te verkrijgen van de wrijving tussen geomembraan en ondergrond. Als we dit bij dit systeem zouden moeten meerekenen, zouden in vergelijking met dit systeem andere systemen oneindig stabiel worden, wat natuurlijk niet reëel is.

## 6.9.2. Opzetsnelheid

Van groot belang is natuurlijk ook de opbouwsnelheid van een systeem. Door steeds betere weersvoorspellingen en daardoor ook steeds betere voorspelling van de waterstanden, kan men een hoogwatergolf vaak al dagen van te voren zien aankomen. Toch is er in sommige gevallen haast geboden. De opzetsnelheden die hieronder in de grafiek en de tabel zijn weergegeven zijn alleen door de fabrikant verstrekt.



grafiek 6.15 Vergelijking van de opzetsnelheid van de verschillende systemen.

Vergelijking snelheid opzetten	
stelsel:	m/manuur
zandzak	0,07
RDFW*	4,29
Concertainer*	15,00
DPS2000	18,00
Aquabarrier**	62,50

\* = vullen m.b.v.zwaar materieel

(kiepwagens/graafmachines)

\*\* = met gebruik van heftruck

Tabel 6.1 Vergelijking van de opzetsnelheid van de verschillende systemen.



*Figuur 6.18 De Aquabarrier is veruit het snelste systeem in het opzetten in vergelijking met de andere tijdelijke waterkeringen. Er wordt dan wel gebruik gemaakt van een heftruck, maar ook zonder heftruck kan het systeem worden geïnstalleerd.*

### 6.9.3. Kosten

De kosten van de verschillende systemen zijn moeilijk te bepalen. Fabrikanten durven niet zomaar een meterprijs op te geven. Als ze een te lage prijs opgeven zijn ze bang dat ze daaraan gehouden zullen gaan worden, bij een te hoge prijs zijn ze bang dat ze zichzelf uit de markt prijzen. Er zijn wel globale prijzen bekend, maar die komen meestal niet van de fabrikanten, maar zijn volgens Emergency Preparedness Canada [04], [29]

Type of commerciële naam:	Richtprijs in US\$ per 30 m. lengte 1 m. hoogte
zandzakdijk	10.000
Hesco Concertainer	1.600 – 2.400 + vulling
Maccaferri Flexmac	2.100 + vulling
Aquabarrier	6.400 – 6.800
Aquadam	5.200
Waterstructure	3.900
Clement water system	6.000 – 9.000
Dike Protection System 2000 (DPS2000)	25.000 + fundering

*Tabel 6.2 Overzicht van de kosten van de verschillende tijdelijke waterkeringssystemen [04].*

Hierbij dient opgemerkt te worden, dat alle systemen hergebruikt kunnen worden, terwijl dit bij de zandzakdijk niet het geval is.

De kosten bij hergebruik bestaan uit: tussentijdse opslag, op- en afbouw personeel, vervoer tussen opslag en werkterrein en eventueel vulmaterieel (pompen, graafmachines, heftrucks e.d.). De aankoopprijs van de systemen kunnen dus over meerdere keren worden afgeschreven.

## 7. Conclusie systemen

De markt wordt overspoeld met systemen als vervanging voor de zandzak. Deze systemen zijn vaak “bedacht” door mensen zonder een Civiel-technische achtergrond die allemaal denken dat zij het ei van Columbus hebben uitgevonden. Bij veel systemen wordt er met een aantal bezwijkmechanismen geen rekening gehouden, men weet vaak niet welke processen allemaal mee gaan spelen wanneer men een TWK gebruikt.

Aan de andere kant staan de (vaak zeer kritische) Civiel-technici bij wie het soms wel een sport lijkt om een nieuw systeem onderuit te halen. *“Als het zo simpel was, dan waren we er zelf wel op gekomen!”* is een veel gehoorde kreet. Bij een systeem dat dient als vervanging van de zandzak worden vaak bezwijksituaties aangehaald, waarop een zandzakdijk ook zou bezwijken (vandalisme, piping, aanvaring door een boot, extreme golfslag e.d.). Bijvoorbeeld vragen van wat er gebeurd als men een kering moedwillig lek steekt, dan blijft er vaak geen ander antwoord over dan dat het systeem bezwijkt; als men bij een zandzak dijk een paar zakken er tussen uithaalt, dan komt dit de stabiliteit ook niet ten goede.

Bij veel systemen is er wel rekening gehouden met de stabiliteit ten aanzien van het omvallen, of omrollen, maar in veel mindere mate met het wegglijden van de constructie; dit is ook het faalmechanisme wat bij veel constructies als eerste zal optreden. Doordat het gemiddelde systeem een dusdanig slechte stabiliteit heeft, is het logisch dat iedereen zeer kritisch over de systemen, toch zijn er een aantal die het verdienen om nader onderzocht te worden. Bijvoorbeeld door de systemen te testen in een proefopstelling, op verschillende soorten ondergrond.

De stabiliteit met betrekking op wegglijden en omvallen is berekend met een eenvoudige berekening, een meer ingewikkelde berekeningsmethode is niet wenselijk, daar een tijdelijke waterkering vaak wordt aangebracht zonder dat daar berekeningen aan vooraf zijn (of kunnen) gaan. Vaak wordt het systeem neergezet op een terrein waarvan de verschillende parameters van tevoren niet bekend zijn, waardoor veel parameters in de berekeningen zullen moeten worden geschat. Hierbij zal men in veel gevallen uit gaan van gemiddelde waarden die voortkomen uit het testen van modellen. Het is daarom wenselijk dat er hoge veiligheidsfactoren worden gebruikt.

De meest stabiele systemen zijn de systemen die gebaseerd zijn op de “gewichtconstructies”. Deze zijn ook een stuk minder kwetsbaar dan de andere systemen. Vooral de staande systemen zijn erg gevoelig voor lekkage.

De meest efficiënte doorsnede voor een tijdelijke waterkering (gevuld met water) is een vierkant. Een vierkante doorsnede zorgt voor de beste verhoudingen tussen gewicht en voetoppervlak. Hoe groter het voetoppervlak, hoe groter de waterdruk tegen de onderkant van de constructie (de oppervlak van de driehoek wordt groter. Als we water als vulmiddel gebruiken dan moet de breedte van de voet van de constructie tenminste gelijk zijn aan de hoogte.

De bodem dient zo flexibel mogelijk te zijn om een goede aansluiting met de ondergrond te verkrijgen. Bij een flexibele bodem kunnen we een constant spanningsverloop met de ondergrond aannemen, waardoor het verhang van de waterdruk tegen de onderkant van de constructie als lineair kan worden aangenomen.

Bij sommige systemen is zwaar materieel nodig om de TWK te kunnen plaatsen en/of te kunnen vullen, hierdoor is de toepasbaarheid van deze systemen beperkt tot plaatsen waar dit materieel kan komen. Ook is het soms niet mogelijk om op al kritieke waterkeringen met dit materieel te rijden. Het kan dus van belang zijn dat het (lege) systeem met de hand kan worden verplaatst en kan worden opgezet.

## **7.1. Water of lucht gevulde buissystemen**

Zijn makkelijk en snel aan te brengen, met behulp van relatief ongetrainde mensen. Ze kunnen makkelijk worden vervoerd en er is weinig opslagruimte nodig. Bij de opslag dient er echter wel rekening te worden gehouden met temperatuur, vochtigheid en zonlicht (UV-straling). Een hekel punt blijft de gevoeligheid voor het lek raken van de opblaasbare buis bij drijvend vuil en scherpe stenen of takken op de ondergrond, al kan de buis van enkele van de systemen in het werk worden gerepareerd.

Bij de watergevulde systemen dient er natuurlijk voldoende water aanwezig te zijn om de buizen te vullen, wat vooral bij de wat grotere kerende hoogte een aanzienlijke hoeveelheid is. Mocht de tijdelijke kering weer worden opgeheven, dan kan men de buizen weer leeg laten lopen en de systemen oprollen, dus ook het “afbreken” van de kering verloopt relatief gemakkelijk en snel.

De systemen zijn geschikt voor gebruik zowel binnen als buiten bebouwde kom en worden in de praktijk vooral gebruikt om individuele gebouwen te beschermen en om stroompjes tijdelijk af te dammen.

Bij de luchtgevulde buis (NOAQ) zijn er problemen met opdrijven, wat natuurlijk niet verwonderlijk is. Dit systeem is extreemgevoelig voor beschadiging. Raakt de buis lek, of het geomembraan tegen de onderloopsheid, dan zal er onvermijdelijk inundatie optreden.

Bij alle systemen is er een lage stabiliteit tegen wegglijden, omvallen is niet echt bekend door de grote vervormbaarheid van de constructies.

## 7.2. Highway-barriers

Dit systeem heeft als voordeel dat de betonnen (of stalen) barriers al in het hele land aanwezig zijn. De Waterbarrier van Waterblock moet eerst gekocht worden, of kan worden gehuurd. Het nadeel van de systemen is dat de stabiliteit tegen wegglijden laag is en dat er een sterk verval optreedt over een korte lengte, waardoor onderloopsheid een groot gevaar is. Door het van tevoren aanbrengen van een geomembraan (van voldoende lengte) kan dit worden tegen gegaan. Bij oneffenheden in de ondergrond zullen er echter aanpassingen moeten worden gemaakt, omdat de balken zeer stijf zijn, wat ook bij het maken van bochten een probleem kan geven. Ook de kans op wegglijden is aanwezig. De opslag is geen probleem, de barriers kunnen in weer en wind worden opgeslagen, plek is er voldoende, want deze barriers zijn al aanwezig. Wel is zwaar materieel vereist om de barriers op en van hun plek te krijgen, het terrein moet hier dus op ingericht zijn; er is een hoop werkruimte nodig en gespecialiseerd personeel. Dit systeem zal dus alleen op vlakke wegen en sommige kaden kunnen worden gebruikt, waar maar een beperkte hoogte water hoeft te worden gekeerd.

## 7.3. Gabions

De gevulde gabions zijn eigenlijk grote stijve zandzakken welke aan elkaar gekoppeld kunnen worden, in vele soorten en maten. Ze verschillen met de zandzak door dat ze sneller opgebouwd en gevuld kunnen worden. Ze zijn goed bestand tegen drijvend vuil, golfaanvallen en lage temperaturen. Een groot aantal systemen is meerdere keren te gebruiken, waarbij ze eigenlijk overal opgeslagen kunnen worden en weinig ruimte in beslag nemen, doordat ze opvouwbaar zijn. Ze kunnen eigenlijk met alles gevuld worden, maar zand blijkt volgens velen het fijnst te werken (het best handelbaar). De bouw kan erg versneld worden door het gebruik van verschillende vulmachines, zwaar materieel waar ruimte voor moet zijn.

Er kunnen redelijk gemakkelijk bochten worden gemaakt en door de flexibiliteit van de bodem past deze zich goed aan aan de ondergrond waardoor er een goede aansluiting wordt verkregen. Toch is het aan te raden voor de keringen een geomembraan aan te brengen om onderloopsheid te voorkomen en de waterdichtheid van de dijk te vergroten.



## 7.4. Staande systemen

Deze systemen zijn niet meer dan een soort standaards die een stuk geomembraan omhoog houden. Bij de staande systemen hangt de stabiliteit vaak af van de hoeveelheid water die er tegen staat en/of de weerstand tussen geomembraan en ondergrond, de systemen zelf hebben vaak ten opzichte van het gewicht van het water op de constructie een verwaarloosbaar gewicht. Ook het vaak kleine contactvlak met de ondergrond draagt niet echt bij aan de stabiliteit. Bij een lekkage kan de stabiliteit van de systemen ernstig in gevaar komen. Ook onderloopsheid wordt alleen door het (los op de bodem liggende) geomembraan tegen gegaan. Een voordeel is dat er vaak geen gespecialiseerd personeel nodig is. De opslag dient vaak overdekt te zijn en beveiligd tegen diefstal. De meeste van deze systemen zijn snel op te bouwen.

### 7.5. Algemene conclusie

Elk systeem heeft zijn sterke en zwakke punten, maar bij allemaal is onderloopsheid een probleem. Dit is echter vergelijkbaar bij een zandzakdijk, waar volgens de verschillende piping-formules ook onderloopsheid moet optreden. Sommige systemen hebben een wel erg hoge verhanggradiënt.

Vermelde stabiliteitsberekeningen van fabrikanten dienen met een kritisch oog nagekeken te worden. Een groot deel houdt geen rekening met een aantal (maatgevende) bezwijkmechanismen, of gaan uit van een zeer gunstig verhang van de freatische lijn in de ondergrond. Hierdoor verkrijgen zij een zeer gunstige uitkomst met betrekking tot de stabiliteit, terwijl deze (veel) lager kan liggen.

Stelsel:	kerende hoogte	Wrijvingscoëfficiënt	stabiliteit piping	weerstand tegen aan bodem	aangepasbaarheid in lengterichting	aangepasbaarheid benodigd materiaal	Mobiliteit	Vulling	Accessoires	opbouw-snelheid	sterkte	gevoeligheid voor beschadiging	mogelijkheid tot reparatie	op- en afbouw niveau	temperatuur	UV-bestendigheid	opslag
zandzakdijk	+	+?	?	--	++	++	-	o	o	--/	+	++	++	+	++	++	o
Waterstructure	+	+	+	--	++	+	o	+	+	++	-	-	+	o	o	--	-
Highway barrier	-	o	-	---	--/o	--	--	nvt	o	+	++	++	o	-	++	++	o
Clement	+	-	-	--	+	+	o	+	o	++	-	-	o	-	-	--	-
RDFW	+	o	o	--	o	+	-	+	o	o	+	o	++	o	o	++	o
Gabion	o	+	+	--	o	++	-	+	o	o	+	+	++	o	o	++	+/o
NOAQ	-	--	--	---	++	+	o	+	--	o	+	-	--	-	o	o	--
RED	o	?	?	---	o	o	+	+	nvt	o	+	--	---	-	-	o	-
DPS 2000	+	nvt	nvt	nvt	nvt	+	+	---	o	-	+	++	+	o	o	++	++
Aquabarrier	+	--	+	---	o	+	o	+	nvt	-	+	-	---	-	o	+	o

+ = goed; -=slecht

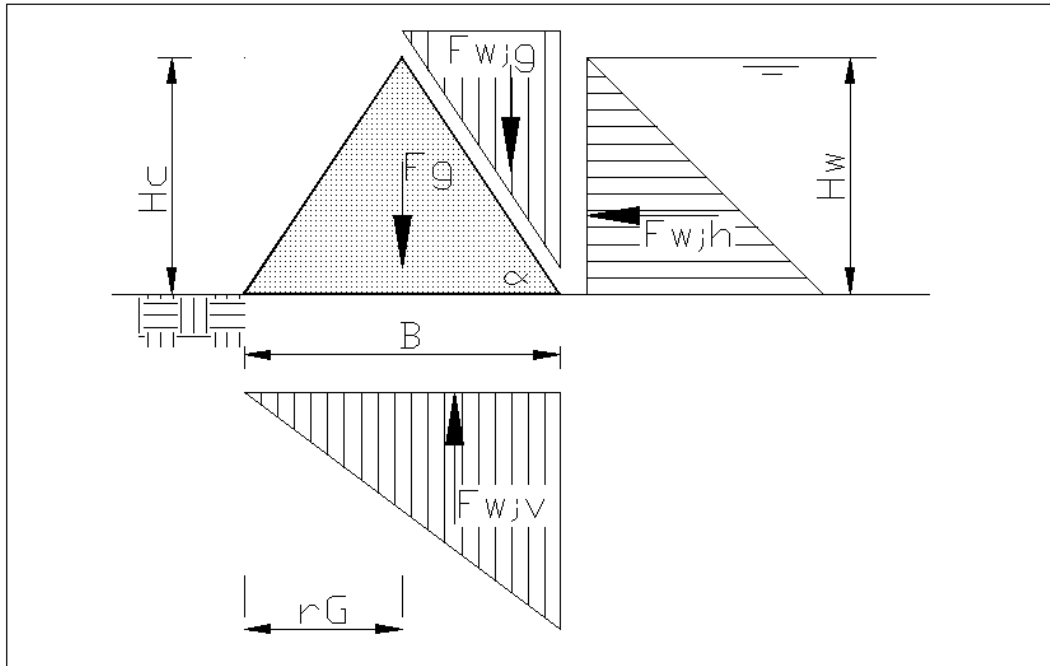
Tabel 7.1. Vergelijking systemen

De systemen zijn onder te verdelen in:

<b>watergevulde buisvormige systemen</b>	WaterStructure™ [18][19], Clement Water Diversion Systems[20],
<b>watergevulde celvormige systemen</b>	Waterwall[21], Concertainer [23] SWI Mitigation HDPE Blocks[06])
<b>luchtgevulde buisvormige systemen</b>	NOAQ Flood Fighting systems[22].
<b>celvormige systemen</b>	Rapid Deployment Fortification Wall[08], Hesco Concertainer[23], Maccaferri Flex Mac[24]
<b>staande systemen</b>	Dike protection system 2000[25] Rapid Emergency Dam[26] Portadam[27] Aquabarrier[28]
<b>snelwegbarrièreblokken</b>	Jersey Highway barriers[04] Richardson highway barriers[04] Waterbarrier[32]

## 8. Ideale systeem

Aan eerste instantie is gedacht aan een driehoekige doorsnede:



Figuur 8.1 Schematische doorsnede van een tijdelijke waterkering.

De volgende symbolen zullen worden gebruikt:

- $H_w$  = hoogte van het te keren water [m.]
- $H_c$  = hoogte van de kerende constructie [m.]
- $B$  = breedte van de kerende constructie [m.]
- $F_G$  = gewicht van de totale waterkerende constructie per meter lengte [N]  
(eventueel inclusief een naar beneden gerichte verticale waterdruk in geval van een niet verticale natte zijde).
- $F_{w,h}$  = horizontale kracht op de constructie ten gevolge van het te keren water [N]
- $F_{w,v}$  = opwaartse kracht op de constructie ten gevolge van het te keren water [N]
- $F_{w,g}$  = neerwaartse kracht op de constructie ten gevolge van gewicht van water [N]
- $F_{v,eff}$  = effectieve gewicht ( ) [N]
- $\rho_w$  = soortelijk gewicht van water ( $10 \text{ kN/m}^3$ )

Waarbij voor de krachten geldt:

$$H_c = \tan(\alpha) \times \frac{1}{2}B$$

$$F_g = \frac{1}{2} \times B \times H_c \times \rho_w \times g$$

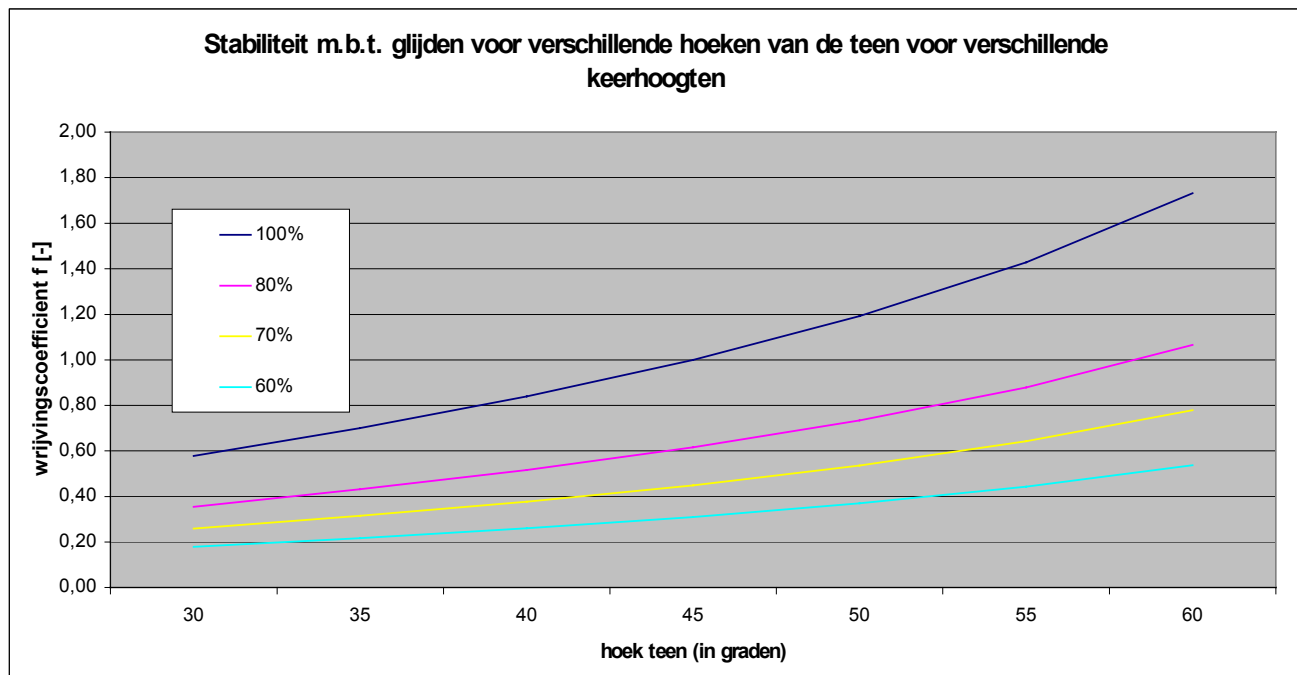
$$F_{w;h} = \frac{1}{2} \times \rho_w \times g \times H_w^2$$

$$F_{w;v} = \frac{1}{2} \times \rho_w \times g \times H_w \times B$$

$$F_{w;g} = \frac{1}{2} \times \rho_w \times g \times H_w^2 \times \tan(\alpha)$$

$$F_{v;eff} = F_g + F_{w;g} - F_{w;v}$$

Door hoek  $\alpha$  variabel te houden, kan er gekeken worden of er een “ideale hoek” is, waarbij het systeem de hoogste stabiliteit heeft.



*Grafiek 8.1 Vergelijking van verschil in stabiliteit bij verschillende hoeken bij verschillende waterstanden.*

Bij een kleinere hoek is de veiligheid hoger. De twee oorzaken zijn, de lagere constructiehoogte en dus kerend vermogen en de verhouding tussen breedte voet en kerende hoogte veranderd, de voet wordt in verhouding steeds breder.

Een systeem met een kleinere hoek is dus stabiel, maar kan dus minder water tegenhouden. Of het hele systeem (doorsnede) moet worden vergroot, maar dat brengt weer hogere kosten met zich mee bij productie, vervoer en opslag. Ook zal bij een kleinere hoek de opzetsnelheid negatief worden beïnvloed.

De weerstand tegen omvallen is hoger dan die tegen wegglijden, dus wegglijden wordt in dit geval maatgevend. De weerstand kan worden verhoogd door het vulmateriaal zwaarder te maken, dus door bijvoorbeeld zand toe te passen in plaats van water, maar dat brengt ook weer de nodige problemen met zich mee. Een andere oplossing is door het wrijvingsvlak te vergroten, dus door de constructie breder te maken.

**Ideale TWK:**

<b>dwarsdoorsnede</b>	<b>→</b>	<b>vierkant</b>
<b>vulmiddel</b>	<b>→</b>	<b>water</b>
<b>onderkant</b>	<b>→</b>	<b>flexibel</b>
<b>opzetsnelheid</b>	<b>→</b>	<b>hoog</b>
<b>opbergruimte</b>	<b>→</b>	<b>minimaal</b>
<b>kosten</b>	<b>→</b>	<b>laag</b>

## 9. Interactie tijdelijke waterkering met bestaande waterkering

### 9.1. Grondprofiel bestaande waterkering

Als case is de Lek-dijk bij Krimpen aan de Lek genomen (bij hectometerpaal 20,1). Het Hoogheemraadschap van de Krimpenerwaard is hier een dijkverzwaring aan het realiseren om zo de pieken in de waterstand op te kunnen vangen.. Hierbij zal de kruin circa 0,35 meter worden opgehoogd over een lengte van 1760 meter; een gevolg hiervan is dat de dijk ook aan de voet breder zal worden. Hiervoor heeft men grond moeten aankopen van omwonenden en bedrijven in de directe omgeving; los van de omgeving die bij de aanleg van de dijkverzwaring overlast zal ondervinden tijdens de bouw. Tel hier de kosten van de aan te voeren grond, het materieel, arbeidsloon en de engineering bij op, dan komt men tot een bedrag van: € 18.000.000,- (zo'n fl. 40.000.000,- ) Onderzocht wordt of het goedkoper is een tijdelijk systeem aan te schaffen wat minder overlast geeft en niet ten koste gaat van de veiligheid.

Voor een doorsnede zal er dus naar de invloed op de stabiliteit van het dijklichaam worden gekeken wanneer er een tijdelijke waterkering aangebracht zou worden en er zal een kostenvergelijking gemaakt worden. Ook zal de stabiliteit van de twee berekeningen worden vergeleken.

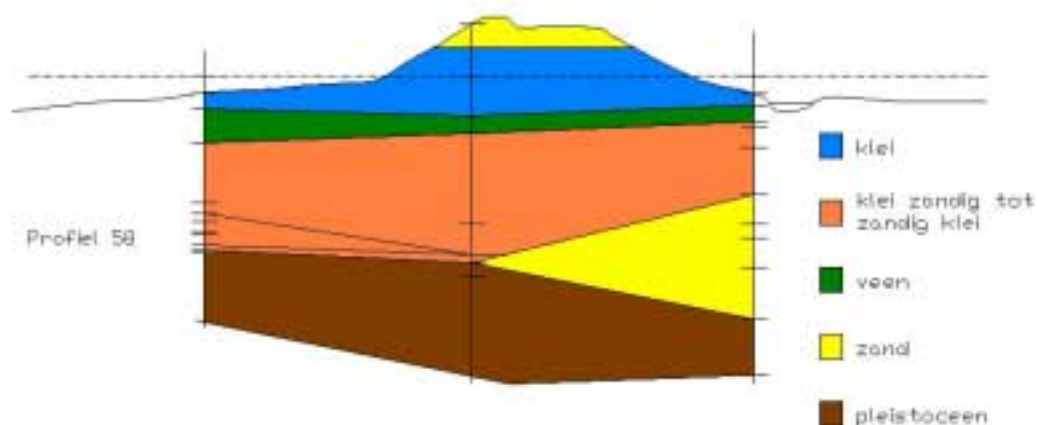
De dwarsdoorsnede van het geotechnisch-profiel van het dijklichaam is bepaald door de drie stramienen van geotechnische metingen in lengterichting van het dijklichaam ter plaatse van binnen- en buitendijkse punten en ter plaatse van de kruin van de dijk. Er is gekozen voor raai 58, omdat er bij deze raai grondonderzoek is uitgevoerd, zoals is te zien op tekening CO-289410 (zie bijlage XIII). Op deze tekening is ook te zien dat er in de voet van de dijk aan de natte kant een boring is uitgevoerd, boring nr. 79. Aan de hand van deze boring zijn celproeven genomen (zie bijlage XIV). De uitkomsten van deze celproeven zijn te zien in CO-289410 (zie bijlage XIV) Uit deze cellen komen zeer lage cohesiewaarden, we kunnen aannemen dat de klei waarvan het dijklichaam is gemaakt andere eigenschappen heeft dan de klei op de bodem van de rivier. De klei waarvan de kruin gemaakt is zal een hoger soortelijk gewicht hebben en de cohesie zal groter zijn.

Aan de hand van de gegevens van de boringen zullen de grondparameters worden bepaald. Aan de hand van tekening CO-289410 (zie bijlage XII), is er een dwarsdoorsnede van de dijk bepaald.

Uit een eerste berekening van de stabiliteit van het dijklichaam zonder de tijdelijke waterkering, maar met de grondparameters die volgen uit de celproef volgt dat het dijklichaam instabiel is, terwijl dat er al decennia lang ligt. Dus de doorsnede en/of de grondparameters komen niet overeen met de werkelijkheid.

De doorsnede is bepaald aan de hand van de evenwijdig aan de dijk lopende dwarsdoorsneden. Deze dwarsdoorsneden zijn al een interpretatie aan de hand van enkele meetpunten. Het is dus heel goed mogelijk dat de doorsnede niet overeenkomt met de werkelijkheid. Daar er geen mogelijkheid is om ter plaatse een uitgebreid grondonderzoek uit te voeren, zijn de waarden van de grondparameters overgenomen van een gemiddelde van de grondparameters van in de buurt verkregen grondonderzoeken en daarna aangepast. De gebruikte boring is genomen ter plaatse van de teen van het buitentalud, onder de waterspiegel. De bovenste lagen van de boring bestaan uit een klei met een zeer laag soortelijk gewicht en een minimale cohesie. Het is aan te nemen dat klei in het dijklichaam, welk in de loop van de jaren laagje voor laagje is opgebouwd, andere parameters bezit (hogere dichtheid, soortelijk gewicht en een hogere cohesie) dan de net afgezette klei op de bodem van de rivier.

Andere factoren zijn het verwaarlozen van de cohesie van het zand (puur zand heeft geen cohesie, maar door capillaire krachten en/of al bij de aanwezigheid van een klein beetje klei door het zand kunnen de sterkte eigenschappen van het dijklichaam beïnvloeden).



*Figuur 9.1. Geschematiseerd grondprofiel opgemaakt uit 3 doorsneden in lengterichting van de dijk.*



De volgende grondeigenschappen zijn gebruikt:

<b>Gebruikte grond eigenschappen</b>				
Grondsoort	$\rho_{\text{droog}}$	$\rho_{\text{nat}}$	cohesie	$\phi$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[graden]
Los zand	17,00	19,00	0,00	30,00
Zachte klei	14,00	14,00	10,00	17,50
Veen	11,00	11,00	2,00	15,00
Matige klei	17,00	17,50	12,00	17,50
Stijve klei	19,00	19,00	27,50	25,00
Zand	17,00	19,00	0,00	30,00
Dicht zand	19,00	21,00	0,00	35,00

*Tabel 9.1 Gebruikte grondeigenschappen bij de macro-stabiliteitsberekeningen van doorsnede raai 58.*

Bij de geotechnische berekeningen is de tijdelijke waterkering aangenomen worden als een vierkant ondoorlatend blok. Er is gekeken of het gewicht van de tijdelijke waterkering en de plaats op de dijk invloed uitoefent op de stabiliteit van het dijklichaam. Ook is gekeken wat voor invloed het verloop van de freatische lijn door de dijk heeft op de macro-stabiliteit.

## 9.2. Plaats van tijdelijke waterkering op de dijk

De plaats van de tijdelijke waterkering op het dijklichaam wordt bepaald door verschillende factoren.

- Er moet voldoende ruimte zijn om de TWK te plaatsen, op een zo hoog mogelijk punt van de kering.
- Het liefst zo ver mogelijk aan de kant van het water om de freatische lijn in de dijk zo laag mogelijk te houden. Bij sommige systemen is het noodzakelijk om met zwaar materieel langs de kering te kunnen rijden, om deze aan te kunnen leggen. Bij een glijcirkel van het buitentalud is op deze manier de arm van het aandrijvende moment het kortst.
- Het liefst midden op het dijklichaam, om de belasting door het gewicht van het tijdelijke waterkeringsysteem zo goed mogelijk op te vangen.
- Het liefst zo ver mogelijk naar achteren om de kwelweg voor de kering door middel van een geotextiel te verlengen. Hoe verder de kering naar achteren staat, hoe langer de kwelweg verlengd kan worden. Bij een glijcirkel van het binnentalud is op deze manier de arm van het aandrijvende moment het kortst.

De plaats op de dijk is dus afhankelijk van het gekozen systeem en de stabiliteit van het dijklichaam.

Is de dijk stabiel genoeg, dan is het beste de TWK zo neer te zetten, dat onderlooptheid het makkelijkst wordt tegen gegaan. Er kunnen echter andere eisen meespelen waardoor een andere plaats is te verkiezen. Als er een weg over de dijk loopt en deze weg moet berijdbaar blijven, dan dient de TWK vanzelfsprekend aan de “natte kant” van de weg geplaatst te worden.

Ook de aanwezigheid van obstakels zoals lantarenpalen, hectometerpaaltjes of een afrastering langs de weg heeft invloed op de plaatsbepaling van de TWK op de dijk.

Het is raadzaam als men overweegt ergens een TWK toe te passen, dat men alvorens de plaats op de dijk heeft bepaald, daar er in noodgevallen weinig tijd is.

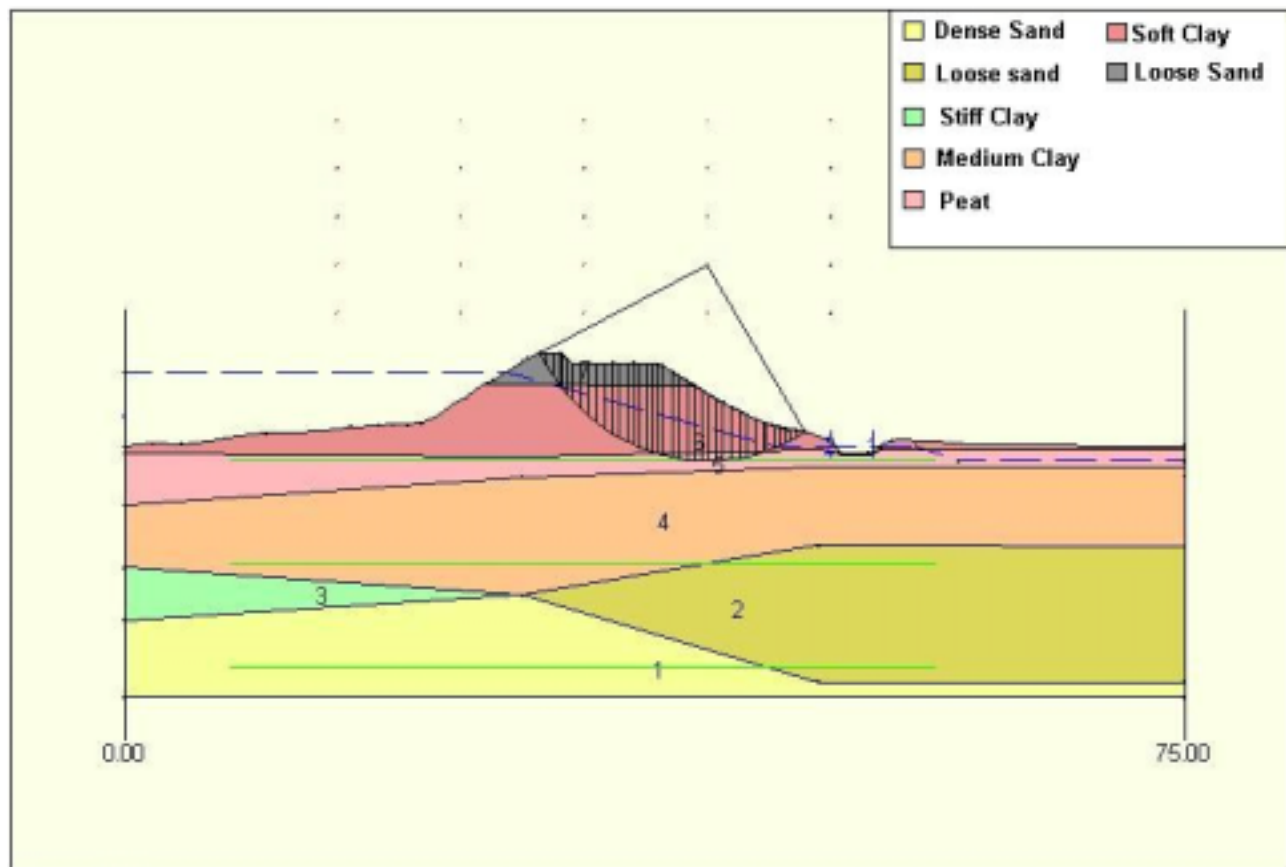
### 9.3. Berekeningen

Bij het berekenen van de veiligheid met betrekking tot afglijden van een deel van het dijklichaam, is gebruik gemaakt van het programma Mstab for Windows© versie 8.0

De stabiliteit is berekend met de methode van Bishop, waarbij de hoek van afschuiving en de cohesie van de grondsoorten als parameters zijn gebruikt. De tijdelijke waterkering is gesimuleerd als een laag met een zeer hoge cohesie ( $c = 1000,00 \text{ kN/m}^2$ ) en een zeer grote hoek van afschuiving ( $\varphi = 89^\circ$ ).

De ingevoerde grondparameters van de verschillende grondlagen komen overeen met de waarden zoals vermeld in tabel 9.1 .

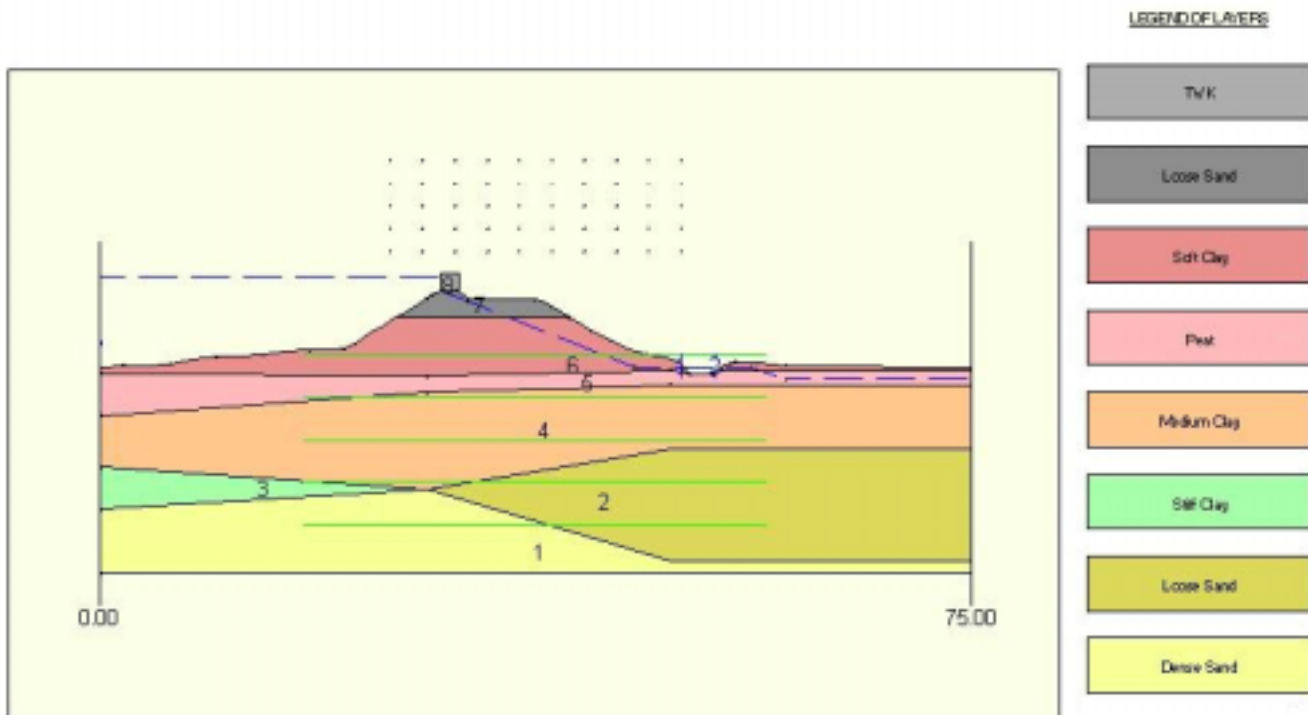
#### 9.3.1. Dijklichaam zonder TWK



*Figuur 9.2 De kritische glijcirkel bij het dijklichaam zonder TWK.*

Dit is het bestaande dijkprofiel, uit de berekening volgt dat  $F_{\min} = 1,31 [-]$

### 9.3.2. Dijkprofiel met TWK aan de natte zijde



*Figuur 9.3 Dijkprofiel met TWK aan natte zijde met een hoog aangenomen freatische lijn.*

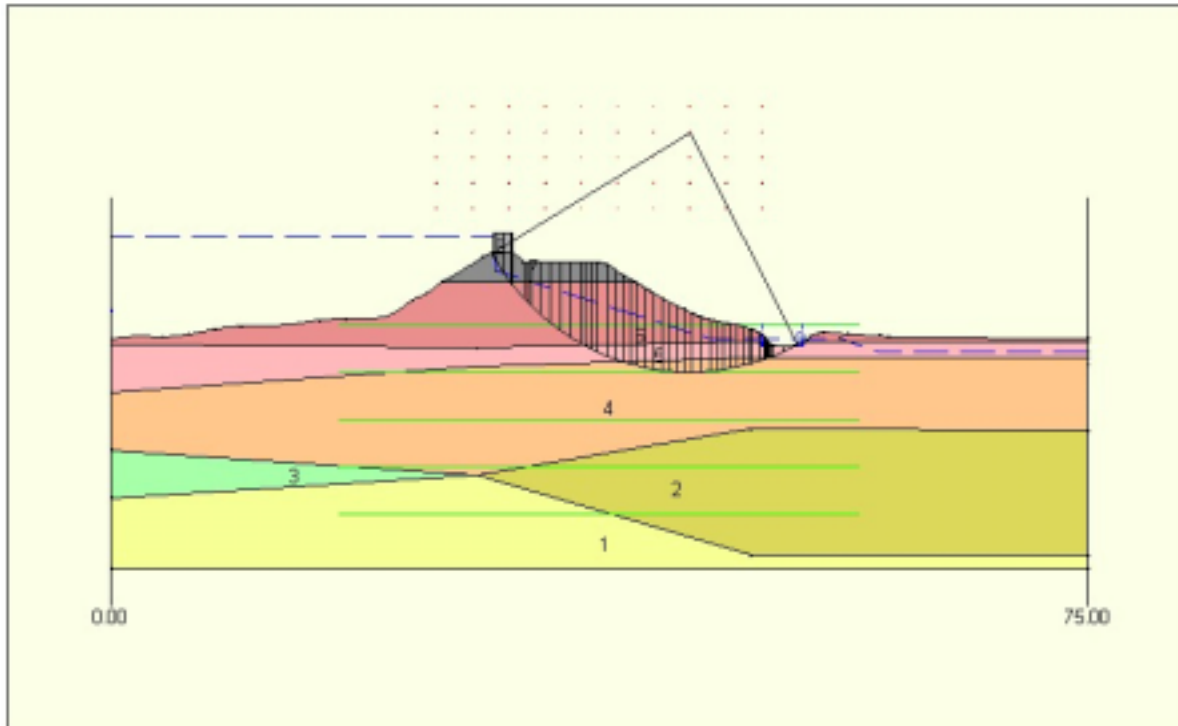
Als we de uitkomst van de stabiliteitsberekening vergelijken met de situatie zonder TWK, dan is de stabiliteit iets afgenomen.  $F_{\min} = 1,052$

Dit komt door het extra gewicht wat op de dijk wordt geplaatst en de stijging van de freatische lijn.

De freatische lijn ondervindt minimale invloed door het geotextiel, maar doordat de Lek hier een getijdenrivier is, kan men aannemen dat de geschetste situatie van korte duur is, alleen bij vloed.

Het verloop van de freatische lijn is zo onzeker, omdat onbekend is wat de snelheid is waarmee de freatische lijn zich aanpast aan de waterstand bij dit dijkprofiel. Door de relatief snelle stijging (en daling) van het water en mede door de korte duur van de maatgevende situatie en de aanwezigheid van een geomembraan aan de natte zijde van de TWK, is het aannemelijk dat de freatische lijn niet de tijd heeft om zich aan te passen.

Er is dus ook gekeken naar een lager verloop van de freatische lijn en de invloed wat dit heeft op de macro-stabiliteit van het geheel.



*Figuur 9.4 Dijkprofiel met TWK aan natte zijde met een laag aangenomen freatische lijn.*

Als we nu aannemen dat de freatische lijn maar tot een zekere hoogte stijgt, dit onder invloed van een geomembraan en de beperkte duur van de hoge waterstand, dan heeft dit positieve gevolgen voor de stabiliteit van het dijklichaam.  $F_{\min} = 1.261$

Bij deze configuratie is ook gekeken naar de invloed van het gewicht van de TWK. Het volumiek gewicht van de TWK is verhoogd van  $10 \text{ kN/m}^3$  (watergevuld) naar  $18 \text{ kN/m}^3$  (zandgevuld). We zien dat de stabiliteit terugloopt naar  $F_{\min} = 1,131$

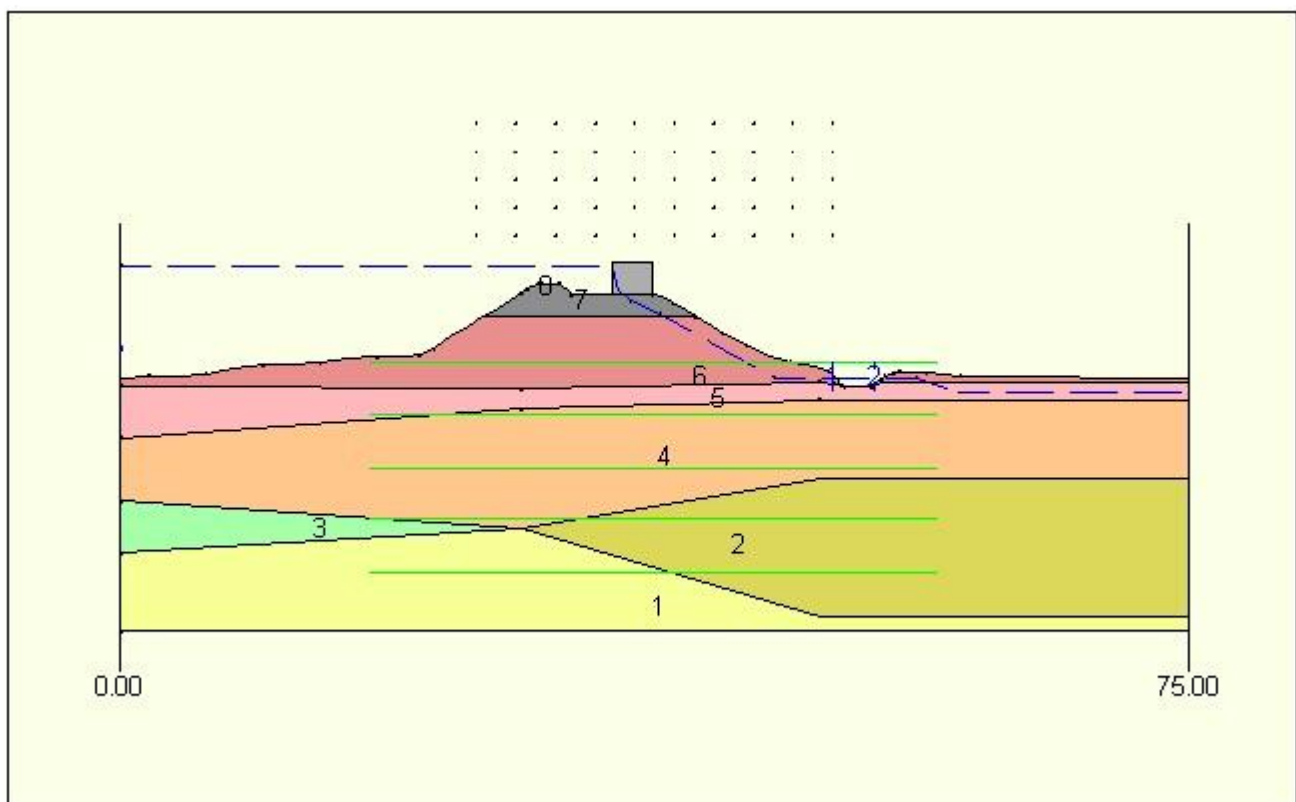
### 9.3.3. Dijkprofiel met TWK aan de droge zijde

Het is niet altijd mogelijk de TWK aan de natte zijde van het dijklichaam te plaatsen, zoals beschreven in hoofdstuk 9.2.

Door de TWK aan de droge zijde te plaatsen, is er in de meeste gevallen meer ruimte om een geomembraan aan de natte zijde van de TWK te plaatsen, waardoor onderloopsheid van de TWK tegen kan worden gegaan.

Ook heeft de plaatsing aan droge kant positieve gevolgen ten opzichte van het aandrijvend moment van een glijcirkel van het binnentalud; de arm tussen draaipunt en TWK wordt korter.

Daar tegenover staat de stijging van de freatische lijn in het dijklichaam.



*Figuur 9.5 TWK achter op dijk, zonder invloed geotextiel.*

Uit de berekening volgt dat het dijklichaam zal bezwijken in een dergelijke situatie, de stabiliteit is afgenomen,  $F_{\min} = 0.865$ .

Een van de argumenten om de kering aan de natte zijde aan te brengen was om ruimte te hebben voor het aanbrengen een geomembraan. Als men er vanuit gaat dat de freatische lijn beïnvloed wordt door dit geomembraan, kan men aannemen dat de freatische lijn lager zal liggen, waardoor de stabiliteit toeneemt.  $F_{\min} = 0,973$

## 9.4 Conclusie

Uit de casestudie van de Lekdijk bij Krimpen aan den IJssel blijkt uit geotechnische berekeningen uitgevoerd met M-stab for Windows 8.0 (Grondmechanica Delft) dat de kans op een afschuiving toeneemt, waarbij de stabiliteit van het dijklichaam in sommige opstellingen niet meer gegarandeerd kan worden.

Door de huidige stabiliteit van het dijkstuk is het alternatief om de dijkverhoging te vervangen door een tijdelijk waterkeringsysteem niet aan te bevelen, omdat het huidige dijkprofiel bij een hoge waterstand al een lage stabiliteit heeft ( $F_{\min}=1,31$ ).

Wel zou het hoogheemraadschap aanmerkelijk goedkoper uit zijn.

Vergelijken we de kosten van de dijkverhoging met de kosten van de systemen (zie tabel hoofdstuk 6.9.3), dan zien we dat de duurste onderzochte TWK nog geen 1/10 deel bedraagt van de dijkophoging uit de case.

Het is in deze case, in verband met de macro-stabiliteit, niet aan te bevelen de tijdelijke waterkering in geval van extreem hoog water toe te passen. Dit wil natuurlijk niet zeggen dat in een andere situatie waar de stabiliteit van de vaste waterkering (ruim) voldoende is, de TWK niet als alternatief kan worden meegenomen. Er dient ook opgemerkt te worden dat ook een zandzakdijk in deze case ook geen uitkomst zou bieden.

Een hele ander situatie is daar waar in noodgevallen al besloten is dat er een zandzakdijk moet worden opgetrokken. Daarvoor zijn er uitstekende alternatieve systemen, welke in de toekomst steeds vaker toegepast zullen gaan worden.

## 10. Aanbevelingen

De sterke punten van een zandzakdijk zijn de aanpasbaarheid aan de bodem en de weerstand tegen beschadigingen.

In veel gevallen kan de inzet van TWK's gewenst zijn boven het gebruik van zandzakken. Niet alleen zijn de TWK's aanmerkelijk sneller te installeren en deïnstalleren, ze zijn vaak ook goedkoper en kunnen worden hergebruikt.

Welk systeem de voorkeur verdient hangt af van de te verwachte situatie. Alle systemen kunnen maar tot een beperkte hoogte water keren en kunnen niet worden verhoogd, mocht het water verder stijgen. Sommige systemen hebben een maximum hoogte van meer dan 3 meter, maar de aanleg van een zandzakdijk om 3 meter water of meer te keren is ook een hele onderneming. De meeste systemen kunnen echter maar een veel beperktere waterhoogte keren, in de orde van een meter.

Bij een situatie waarbij de installatietijd zeer beperkt is kunnen systemen worden toegepast met een korte installatietijd. Dit kan het verschil uitmaken tussen droge of natte voeten.

Ook de plek waarop het systeem wordt geïnstalleerd, met name de ondergrond, is van invloed op de keuze van het uiteindelijk te gebruiken systeem. Een pallet-barrier en de meeste andere staande systemen zijn alleen toe te passen op een verharde ondergrond. Dit omdat de pootjes van de systemen weg kunnen zakken in een zachte bodem waardoor de constructie instabiel kan worden. Bij de andere systemen wordt het gewicht van het systeem meer verdeeld over de bodem, vooral bij de met watergevulde buizen en bij de gabion-systemen, deze zijn dus geschikter voor het gebruik op een onverharde bodem.

Bij de Waterbarrier en de highway-barriers dient de ondergrond vlak te zijn, omdat deze systemen zich niet aan de ondergrond kunnen aanpassen. Kleine oneffenheden in de bodem kunnen worden weggenomen door middel van het aanbrengen van een geomembraan, maar dit komt de stabiliteit niet ten goede.

Bij de staande systemen hangt het waterkerend vermogen compleet af van het geomembraan. Falen van dit geomembraan houdt in: falen van de TWK.

Bij alle systemen dient uiteraard rekening gehouden te worden met de beschikbare ruimte. Niet alleen voor het aan te brengen systeem dient ruimte aanwezig te zijn, maar ook voor eventueel materieel om het systeem te kunnen installeren of verplaatsen. Ook moet er ruimte aanwezig zijn voor een geomembraan met voldoende lengte om onderloopsheid tegen te gaan. De exacte bijdrage van het vlies tegen onderloopsheid is onzeker. Toch zijn



vrijwel alle systemen afhankelijk van een geomembraan voor de weerstand tegen onderloopsheid.

Een uitzondering hierop is het DPS2000-systeem. Voor dit systeem dient echter eerst een fundering aangebracht te worden. Niet alleen om onderloopsheid tegen te gaan, maar ook om de horizontale krachten van het water op te vangen. Dit systeem is uitermate geschikt om toe te passen op plekken waar slechts een beperkte ruimte beschikbaar is.

Als men bijvoorbeeld bij de brandweer (watergevulde buissystemen?) of bij de landmacht (gabions?) oefeningen houdt, hoe een tijdelijke waterkering aan te leggen, kan een hoop leed veroorzaakt door wateroverlast voorkomen worden. Wel moet er in situaties waar de tijdelijke waterkering gecombineerd wordt met een bestaande waterkering, vooraf gekeken worden naar de gevolgen voor de stabiliteit door de interactie van deze keringen.

Er zijn nog enkele aanbevelingen

- Het is wenselijk een leidraad op te stellen waarin men aangeeft hoe een tijdelijke waterkering te construeren. Niet alleen dienen er aanbevelingen te komen hoe men een zandzakdijk dient te bouwen, maar men moet ook andere tijdelijke waterkeringssystemen aan bod laten komen en voor allen eisen opstellen waar allen aan moeten voldoen. Dit schept duidelijkheid bij de producenten en hun afnemers.
- De systemen dienen verder onderzocht te worden met behulp van proefopstellingen, waarbij ook de interactie met een bestaande waterkering onderzocht dient te worden.
- Wat is de invloed van een geomembraan op de freatische lijn in een dijk over een bepaalde tijd? Dit heeft grote invloed op de stabiliteit van de totale constructie.

Het blijven **tijdelijke waterkeringen**, het beste is om structurele oplossingen te vinden en het water weer de ruimte te geven. Echter, in geval van nood kan, met behulp van goede voorbereiding vooraf, snel, goedkoop en ook veilig een tijdelijke waterkering worden aangebracht i.p.v. een nooddijk.



## Literatuurlijst

- [01] *Water tegen de dijken* – 1993, 1994, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
- [02] *Druk op de dijken* - 1995, 1996, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
- [03] Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies, 1997, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
- [04] Kevin Biggar, / Srboljub Masala, *Study of Alternatives to Sandbags for Temporary Flood Protection*, oktober 1988, Emergency preparedness Canada
- [05] site: [www.cwcb.state.co.us/flood\\_watch/sandbags](http://www.cwcb.state.co.us/flood_watch/sandbags) Sandbags for temporary flood control, Colorado Flood Information
- [06] site: [www.sandbagsystems.com](http://www.sandbagsystems.com) The Quiksander
- [07] site: [www.usace.army.mil](http://www.usace.army.mil) , United States Army Corps of Engineers
- [08] site: [www.ini.cz/geocell/](http://www.ini.cz/geocell/) *Rapid Deployment Fortification Wall*, Geocell Systems Inc.
- [09] <http://www.lrb.usace.army.mil/emb/sandbag.html> US Armycorps of Engineers, Buffalo District
- [10] site: <http://www.co.yellowstone.mt.us/des/sandbags.asp> Disaster & Emergency Services, Yellowstone County MT
- [11] [CENWW-EOC@NWW01.USACE.ARMY.MIL](mailto:CENWW-EOC@NWW01.USACE.ARMY.MIL)  
US Army Corps of Engineers (*Flood Fighting: How to Use Sandbags* , Walla Walla District, Washington){2001}
- [12] K. d'Angremond/K. Bezuijen e.a., *Dictaat Waterbouwkunde f3*, Delft, augustus 1998
- [13] [http://www.abchance.com/soilscrew\\_designman/chapter3.htm](http://www.abchance.com/soilscrew_designman/chapter3.htm) Meyerhofdistributie  
[http://www.mdti.net/tiebacks/soil\\_screws/soilscrew\\_designman/chapter3.htm](http://www.mdti.net/tiebacks/soil_screws/soilscrew_designman/chapter3.htm)

- [14] A. Verruijt, *Grondmechanica*, 3<sup>de</sup> druk, Delft 1990
- [15] *Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken beneden rivieren gebied, deel 2*, 1989  
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
- [16] site: <http://www.TAWinfo.nl> Technische Adviescommissie Waterkeringen, 2001
- [17] G.J. Schiereck, *Introduction to bed, bank and shore protection*, collegedictaat f4, juli 1996, Delft
- [18] site: [www.geocheminc.com/wstructures](http://www.geocheminc.com/wstructures) , Waterstructure® user's guide, GeoCHEM Incorporated
- [19] site: [www.waterstructures.com](http://www.waterstructures.com) Waterstructures Inc.
- [20] site: [www.clemwater.com](http://www.clemwater.com) Clement Water Diversion System
- [21] site: [www.waterwall.com](http://www.waterwall.com) Scott Russell, Water Wall
- [22] site: [www.noaq.se](http://www.noaq.se) , Noaq, Flood Fighting System
- [23] site: [www.hesco-group.com](http://www.hesco-group.com) Hesco Bastion Limited (Concertainer®)
- [24] *Flexmac 2000 General installation guidelines*, Maccaferri Gaboins Inc.
- [25] *Dike Protection System 2000 Systematic protection*, folder: Jirlumar b.v.
- [26] site: [www.hydroscience.co.uk](http://www.hydroscience.co.uk) , HydroScience RED system Specification, Hydroscience Ltd
- [27] site: [www.portadam.com](http://www.portadam.com) Portadam Inc.
- [28] site: [www.debruijngroep.nl/aquabarrier](http://www.debruijngroep.nl/aquabarrier) Aqua barrier waterkeringen
- [29] site: [www.aquabarrier.com](http://www.aquabarrier.com) Aqua barrier waterkeringen

[30] site: [www.handwerkonline.de/GOH](http://www.handwerkonline.de/GOH) GOH Deich Profil System 2000

[31] site: [www.floodcontrol.com](http://www.floodcontrol.com) GOH Deich Profil System 2000

[32] *Nieuw systeem tegen hoog water*, Waterblock bv

33]

[http://www.nww.usace.army.mil/html/offices/op/em/Library/NWD\\_Sandbag\\_Pamphlet.pdf](http://www.nww.usace.army.mil/html/offices/op/em/Library/NWD_Sandbag_Pamphlet.pdf),

US Armycorps of Engineers, Northwestern Division

[34] Flood Fighting Methods – volume II, Division of Flood Management, Flood Operations Branch, State of California -The Resources Agency - Department of Water Resources, Revised 1987