

Bijlage 1: Oriëntatie & Analyse

Dit oriëntatie en analyse rapport is de verslaglegging van de beantwoording van de deelvragen en is een bijlage van het onderzoeksrapport “Afstudeerrapport nieuwe methode tegen piping”. In dit verslag worden de deelvragen van het onderzoek verder gespecificeerd beantwoord, deze komen dus niet overeen met de in het afstudeerrapport gestelde vragen. Dit document dient als naslag voor het afstudeerrapport.

De hoofd en deelvragen zijn als volgt benoemd en uitgewerkt:

Wat is piping

- a. Definitie piping
- b. Hoe ontstaat piping
- c. Wat zijn de gevolgen van piping

Welke preventiemethoden zijn er tegen piping?

1. Hoe wordt piping tegen gegaan? (traditionele methoden)
 - a. Op welke manier zorgt de methode dat piping niet meer optreed
 - b. Beschrijving van de manier van werken
 - c. Impact op de omgeving
2. Hoe wordt piping tegen gegaan (alternatieven)
 - a. Op welke manier zorgt de methode dat piping niet meer optreed
 - b. Beschrijving van de methode
 - c. Beschrijving van de manier van werken
 - d. Impact op de omgeving
 - e. Preventie type
 - f. Voor en nadelen
3. Hoe wordt piping tegen gegaan (innovatie oplossingen)
 - a. Op welke manier zorgt de methode dat piping niet meer optreedt
 - b. Beschrijving van de methode
 - c. Beschrijving van de manier van werken
 - d. Impact op de omgeving
 - e. Preventie type
 - f. Voor en nadelen

Waar moet een methode aan voldoen om piping tegen te gaan?

Spelen er zaken bij het tegengaan van piping die niet gewenst zijn maar met de huidige methoden niet te voorkomen zijn? (denk aan overlast, nadelige effecten e.d.)

Is er omtrent piping een bepaalde vraag uit de markt waar op dit moment niet aan voldaan kan worden? (minder overlast, sneller werken o.i.d.)

In EMVI contracten kan men scoren op andere punten naast de aanbestedingsprijs. Op welke punten kan een nieuw systeem scoren bij een EMVI (economisch meest voordelige inschrijving).

Inhoudsopgave

1. Wat is piping?	4
1.1 Gevonden piping definities	4
1.1.1 Definitie volgens Beek & Knoef, Deltares;.....	4
1.1.2 Definitie volgens Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving;.....	4
1.1.3 Definitie volgens Van Den Herik Sliedrecht;.....	4
1.1.4 Definitie volgens Waterschap Rivierenland	5
1.2 Definitie Piping	5
1.3 Hoe ontstaat piping	5
1.4 Gevolgen van piping	7
1.5 Wie is er verantwoordelijk voor dat waterkeringen sterk genoeg zijn, en dus piping niet optreed?	8
1.5.1 Hoe gaan beheerders om met piping?	8
2. Factoren die meespelen bij het wel of niet ontstaan bij piping.....	8
2.1 Verval tussen binnen en buitendijkse waterstand.....	8
2.2 Doorlatendheid van de watervoerende laag	9
2.3 Grondspanning onderaan de afsluitende laag of heave	9
2.4 Laagopbouw van de ondergrond	9
2.5 Te onderscheiden fasen als piping ontstaat.....	10
3. Welke preventiemethoden zijn er tegen piping.....	11
3.1 Traditionele maatregelen.....	12
3.1.1 Binnendijkse pipingberm.....	12
3.1.2 Klei ingraving voorland	13
3.1.3 Kwelscherm	14
3.1.4 Kwelkade	15
3.1.5 Filterconstructie	17
3.2 Hoe wordt piping tegen gegaan (innovatie oplossingen)	17
3.2.1 Drainagetechnieken tegen piping	18
3.2.2 Verticaal zanddicht geotextiel	19
4. Spelen er zaken bij het tegengaan van piping die niet gewenst zijn maar met de huidige methoden niet te voorkomen zijn?.....	22
4.1 Overlast en hoge kosten.....	22
4.3 Beperkte toetsinginstrumenten	22
5. Is er omtrent piping een bepaalde vraag uit de markt waar op dit moment niet aan voldaan kan worden? (minder overlast, sneller werken o.i.d.).....	22



In EMVI contracten kan men scoren op andere punten naast de aanbestedingsprijs. Op welke punten kan een nieuw systeem scoren bij een Economisch Meest Voordelige Inschrijving.	23
Bibliography.....	24

1. Wat is piping?

Door verschillende partijen in de waterbouw sector is een definitie gegeven voor piping. De verschillende definities zijn vergeleken om de meest gangbare definitie vast te stellen voor het onderzoek.

1.1 Gevonden piping definities

Er is een opsomming gemaakt van de definitie van piping die verschillende partijen er aan geven. Er is breed gekeken naar de definitie die waterschappen, ingenieurbureaus en aannemers uit de grond-, weg en waterbouw eraan geven.

1.1.1 Definitie volgens Beek & Knoef, Deltares;

Piping is een verzamelbegrip voor verschillende verschijningsvormen van interne erosie. In Nederland komt vanwege de hier aanwezige grondgesteldheid met name terugschrijdende erosie (Engels 'backwards erosion') voor.

Het optreden van deze interne terugschrijdende erosie is aan de binnenzijde van de dijk in sloten of op het maaiveld zichtbaar in vorm van zandmeevoerende wellen. Zandmeevoerende wellen zijn te beschrijven als een geconcentreerde uitstroming van grondwater, waarbij de snelheid van het opwellende kwelwater zo groot is dat er gronddeeltjes kunnen worden meegevoerd. Het fenomeen wordt als 'piping' aangeduid, omdat iedere zandmeevoerende wel het benedenstroomse einde is van een 'pipe'.

Door piping kunnen in de loop der tijd doorgaande erosie kanaaltjes onder de kering ontstaan, waardoor de kering langzaam wordt ondermijnd en uiteindelijk bezwijkt. Dit mechanisme is in experimenteel onderzoek op de IJkdijk gereproduceerd. (Beek & Knoeff, 2010)

1.1.2 Definitie volgens Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving;

Piping (ook onderloopsheid genoemd) is gedefinieerd als het ontstaan van holle ruimte onder een waterkering (dijk, dam of kunstwerk), ten gevolge van een geconcentreerde kwelstroom waarbij gronddeeltjes worden meegevoerd.

Onder de noemer piping vallen internationaal verschillende vormen van interne erosie. Deze hebben alle gemeen dat erosie door grondwaterstroming wordt veroorzaakt waardoor een of meer kanalen in het grondlichaam kunnen ontstaan. De kanalen kunnen uitgroeien en uiteindelijk een kortsluiting vormen tussen de waterstandkerende buitenzijde van de waterkering en het maaiveld of waterbodembodem aan de binnenzijde. Zodra er kortsluiting ontstaat, zal erosie van grond versneld plaatsvinden. In het geval van onderloopsheid (erosie van de ondergrond) leidt dit tot het verzakken van de waterkering en kan uiteindelijk tot een doorbraak leiden. (Deltares, 2012)

1.1.3 Definitie volgens Van Den Herik Sliedrecht;

Piping is een belangrijk faalmechanisme bij dijken, waarbij water met zanddeeltjes onder de dijk doorstroomt. Achter de dijk komt het water met de zanddeeltjes omhoog. Hierdoor ontstaat een kanaaltje (een 'pipe') onder de dijk en een wel aan de binnenzijde van de dijk. De dijk kan hierdoor verzwakken en uiteindelijk zelfs bezwijken. (Van Den Herik, N.B.)

1.1.4 Definitie volgens Waterschap Rivierenland

Bij piping stroomt water door de bodem onder de dijken door waarbij het zand wordt meegevoerd. Dit leidt er toe dat er holle gangen (in het Engels: pipes) ontstaan onder de dijk. (Waterschap Rivierenland, 2016)

1.2 Definitie Piping

Uit de verschillende definities voor piping is de volgende definitie geformuleert die overeenkomt met alle definities die in beschouwing genomen zijn:

“Piping, ookwel onderloopsheid, is een verzamelbegrip voor erosie onder een waterkering door kwelstroming, waardoor materiaal uitspoelt en een holte onder de waterkering kan ontstaan.”

1.3 Hoe ontstaat piping

In Nederland zijn veel dijken op een zandpakket gebouwd (DINO loket, 2016) en vormt de bovenste laag een vaak een waterdicht pakket. Dit maakt een dijk vatbaar voor piping (zie ook 2.4 Laagopbouw van de ondergrond). Door Zwang en Bos is in 2009 een inventarisatie gedaan van pipinggevoelige gebieden in Nederland. Piping treedt op wanneer kwelwater door een goed doorlatende laag heen stroomt en daardoor materiaal wegspoelt. Hoe goed deze laag water doorvoert is afhankelijk van een aantal factoren;

- De bereikbaarheid van de watervoerende laag in het voorland. Een watervoerende laag kan afgedekt zijn door een andere laag. De eigenschappen van die laag/lagen bepalen mede de hoeveelheid kwel (Deltares, 2012).
- De homogeniteit van de grondlaag speelt een rol in de doorlatendheid van het watervoerend pakket. Bij sterke plaatselijke verschillen in de ondergrond kan de doorlatendheid beïnvloed worden (Deltares, 2012).
- De korreldiameter heeft invloed op de doorlatendheid van de grondlaag zoals aangetoond door Darcy (Darcy, 1856)
- Verval tussen de binnen en buitendijkse waterstand bepaalt mede de doorlaatsnelheid (Darcy, 1856)

In het onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen (Deltares, 2012) zijn verschillende fasen van het piping proces onderscheiden. Wanneer deze fasen doorlopen zijn heeft piping opgetreden en is de dijk bezweken t.g.v. piping.

De eerste fase is dat er een uittredepunt gecreëerd wordt. Dit is een opening in het slecht waterdoorlatend pakket naar het oppervlaktewater of het maaiveld (oppervlak) waardoor er tussen het watervoerend pakket en de oppervlakte geen vast materiaal zit.

Door de verhoogde waterdruk in het watervoerend pakket kan een afsluitende laag gaan opdrijven, en daardoor opbarsten/scheuren. Als het gewicht van de afsluitende laag + bovenbelasting kleiner is dan de waterdruk in het watervoerend pakket zal dit ontstaan (Figuur 1).

- Er geldt voor opbarsten: $\sigma_w \geq \sigma_{belasting}$

Waarin σ_w de waterdruk in het watervoerend pakket is en $\sigma_{belasting}$ de gronddruk van de afsluitende laag + bovenbelasting is.

Wanneer een afsluitende laag geperforeerd is, is er sprake van een wel. Een wel maakt het mogelijk voor gronddeeltjes (meestal zand) om weg te spoelen, er treedt dan erosie op (ing. H.T.J. de Bruijn, 2013).



Figuur 1: Beeldmateriaal van maaiveld dat golft door de waterdruk onder het maaiveld. Het maaiveld drijft op het grondwater en er is een kleine wel die uitstroming naar het maaiveld mogelijk maakt. Bron: (WSRL)

Om het spoelen van gronddeeltjes tot stand te brengen moet de kritische stroom parameter overtroffen worden (M. van der Wal, 2011)

Afhankelijk van het materiaal en de stroomsnelheid van de kwel zal het zand gaan bewegen en weg kunnen vloeien. Dit gebeurt als eerste op het uittredepunt, waarna het tegen de stroming van de kwel in verder zal wegspoelen (ing. H.T.J. de Bruijn, 2013) (M. van der Wal, 2011) (Beek & Bezuijnen, 2009).

Zand dat weggespoelt is creëert een open ruimte, dit wordt een pipe genoemd. Vaak is een nieuwe pipe enkele milimeters groot. Als zand wegspoelt kan de plek waar het wegspoelt weer aangevuld worden door ander zand. Als er geen zand in de holle ruimte spoelt ontstaat er een holte, een pipe. Dit is het geval bij een klevende laag boven het watervoerend pakket, klei is bijvoorbeeld zeer plakkerig en zal als pakket niet snel verzakken naar een lege ruimte (ing. H.T.J. de Bruijn, 2013).



Figuur 2: Een pipe is aan het ontstaan, zand stroomt via het uittredepunt naar het oppervlak. Bron: (WSRL)

Onder deze voorwaarden zal de pipe zich niet vullen met materiaal maar zal een open ruimte blijven. Dit maakt het voor het water makkelijker om te stromen, waardoor de stroomsnelheid zal toenemen. Dit versnelt het eroderen (ing. H.T.J. de Bruijn, 2013).



Figuur 3: Erosiemateriaal komt in grotere hoeveelheden via het uittredepunt naar buiten. Bron: (WSRL)

Als er sprake is van een pipe onder de dijk zal deze zich verder gaan uitbreiden in de richting waar het kwelwater vandaan komt, zo groeit de pipe langzaam door onder de dijk. Uiteindelijk zal de pipe tot aan de andere kant van de dijk groeien. Als de pipe de andere kant bereikt ontstaat hier een intredepunt. Nu is er sprake van een vrije doorgang onder de dijk, een 'open pipe'. Hoe snel dit gebeurt is afhankelijk van de afstand tussen het in en uittredepunt, het materiaal en de waterdruk (ing. H.T.J. de Bruijn, 2013) (Deltares, 2012).

1.4 Gevolgen van piping

Als er een open pipe ontstaan is en de waterstand blijft hoog of neemt toe, zal de erosie versnellen (Deltares, 2012).

Deze versnelde erosie begint vanaf het intredepunt en slijt zich onder de dijk door. Er kan nu een pipe ontstaan die groot genoeg is dat een dijklichaam inzakt door onvoldoende sterkte van het watervoerend pakket. Dit verzakken maakt de dijk instabiel en verlaagt de kruinhoogte. Een dijk kan gaan afschuiven of de kruin kan onvoldoende hoog zijn om het water te keren. Er kan nu golfoverslag, overspoeling of een dijkbreuk ontstaan. (ing. H.T.J. de Bruijn, 2013)



Figuur 4: Een proef bij de ijkdijk waar een dijk bezwijkt door piping. De dijk is verzakt door het wegspoelen van materiaal onder de dijk, de taludhoogte neemt af en water stroomt over de kruin naar het binnenland. Bron: (WSRL)

1.5 Wie is er verantwoordelijk voor dat waterkeringen sterk genoeg zijn, en dus piping niet optreedt?

Bij de wet (Wet op waterkering, 1995) is vastgelegd dat waterschappen verplicht zijn waterkeringen die Nederland beschermen veilig te houden.

Tijdens toetsrondes van de waterschappen in Nederland worden alle waterkeringen getoetst op veiligheid. Deze toetscriteria zijn dynamisch en kunnen door nieuwe inzichten veranderen. Deze hydraulische randvoorwaarden worden elke 12 jaar herzien (Helpdesk Water, 2014).

1.5.1 Hoe gaan beheerders om met piping?

In Nederland is de projectoverstijgende verkenning Piping (POV Piping) opgericht binnen het Hoogwater Beschermings Programma (HWBP). Het doel is in contact te komen met partijen die een nieuwe, innovatieve oplossing hebben tegen piping.

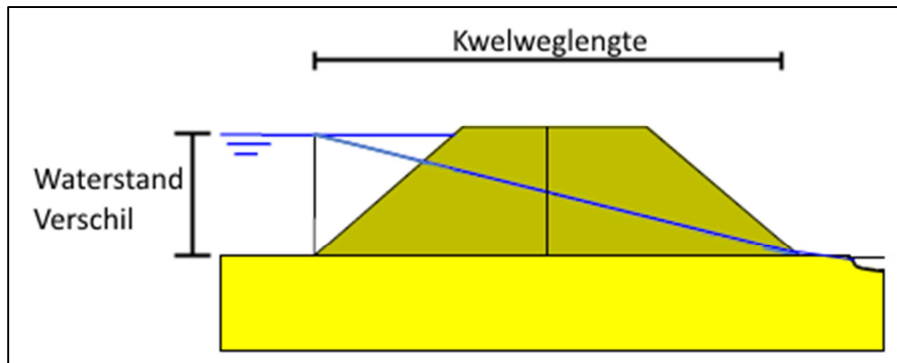
Vanaf 2017 worden de eisen aan waterkeringen aangescherpt. De kosten voor het versterken van waterkeringen neemt daardoor enorm toe. Eén van de doelen van de POV Piping is een innovatieve oplossing te vinden voor piping die het goedkoper maakt dijken te beschermen tegen piping. Huidige oplossingen tegen piping zijn erg duur en hebben vaak veel gevolgen voor milieu en infrastructuur. Vanuit de POV Piping wordt er gestreefd naar een low-cost oplossing of een verbetering van bestaande technieken. (Chris Griffioen, 2015)

2. Factoren die meespelen bij het wel of niet ontstaan bij piping.

Er moet sprake zijn van een aantal aanwezige parameters voordat er piping kan ontstaan. In dit hoofdstuk worden die parameters genoemd en toegelicht. Deze parameters worden gebruikt om ideeën te toetsen op effectiviteit en uitvoerbaarheid.

2.1 Verval tussen binnen en buitendijkse waterstand.

Het verval is het verschil in stijghoogte tussen de binnen en buitenzijde van de dijk. Wanneer er sprake is van verval, gaat water stromen. Hoe groter het verval, des te harder gaat het stromen. Waterstroming is nodig voor het ontstaan van erosie en waterdruk is nodig voor het ontstaan van een uittredepunt (Beek & Bezuijnen, 2009).



Figuur 5: Verval. Bron: (Rijkswaterstaat, 2012)

Als uitgangspunt voor het bepalen van de kwelweglengte wordt vaak gesteld dat het uittredepunt zich altijd in de teen van de dijk bevindt. De plek van het intredepunt wordt bepaald op basis de grondeigenschappen van het voorland. (Arcadis, 2012)

In de figuur hierboven is het verval over de dijk geschetst. Naarmate een pipe richting de buiten (rivier) zijde groeit, neemt het verhang toe. De stijghoogte in het uiteinde van de pipe is altijd gelijk aan de stijghoogte in de gehele pipe en het uittredepunt (Deltares, 2015). Sellmeijer (Sellmeijer, 1988) gaf in 1988 al aan dat er een kritisch verval nodig is om erosie te laten optreden (en een pipe te laten groeien). Dit houdt in dat het verval over de waterkering, tussen intredepunt en uiteinde pipe, groter moet zijn dan het kritisch verval. Naarmate de pipe stroomopwaarts groeit neemt het verval toe, tot er een verval bereikt wordt waarbij het groeien van de pipe niet meer stopt (Deltares, 2015).

2.2 Doorlatendheid van de watervoerende laag

Gronddeeltjes gaan meestromen als het water een bepaalde spanning op de deeltjes veroorzaakt. Er moet dus een stroomsnelheid zijn die groot genoeg is om gronddeeltjes mee te voeren (Sellmeijer, 1988). De eigenschappen van de grond bepalen hoe snel water er doorheen kan stromen, dit wordt de k-factor genoemd. De stroomsnelheid door de watervoerende laag is afhankelijk van het verhang en de k-factor. De kritische stroomsnelheid van het water is bepalend of er piping optreedt (Deltares, 2012).

2.3 Grondspanning onderaan de afsluitende laag of heave

Voor het ontstaan van een uittredepunt moet de afsluitende laag opbarsten. Dit gebeurt bij een negatieve grondspanning. De grondspanning onder de afsluitende laag is dus onderdeel van het wel of niet ontstaan van een uittredepunt (zie ook 1.3 Hoe ontstaat piping), als veiligheidsfactor wordt $2/3$ van de dikte van het pakket gebruikt in de rekenregels (Arcadis, 2012). Wanneer er geen afsluitend pakket aanwezig is kan een pipe ontstaan als gevolg van heave. Heave ontstaat bij de scheiding tussen een cohesief pakket (maar kan ook een kunstwerk zijn) en zand, waarbij zand gaat drijven door de opwaartse kwelstroom (Calle & Sellmeijer, 1998). Heave verstoort de aansluiting tussen het pakket en de zandlaag waardoor er door herschikking van het zand (de korrelspanning kan nl. geheel wegvallen) een pipe kan ontstaan.

2.4 Laagopbouw van de ondergrond

De laagopbouw is mede bepalend voor het wel of niet ontstaan van piping. In bepaalde situaties kan er geen piping optreden. De laagopbouw dient zo opgebouwd te zijn dat het beschreven proces kan

plaatsvinden, in het Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen (Deltares, 2012) worden situaties geschetst waar piping wel en niet optreedt. Daaruit valt af te leiden dat er aan de volgende voorwaarden voldaan moet worden:

- Een watervoerende laag van de stroomgeul tot aan de binnenzijde van de dijk
- Deze watervoerende laag moet uit materiaal bestaan dat bij een voorkomend verval getransporteerd kan worden. Het kritisch verval moet dus kunnen optreden.
- Er moet binnendijs een afsluitend pakket aanwezig zijn waar een uittredepunt kan ontstaan t.g.v. kwelstroom, of er moet een watervoerend pakket aanwezig zijn die tot aan het maaiveld rijkt, waarbij een kanaal tussen de scheiding watervoerend pakket en dijklichaam kan ontstaan (opbarsten en heave).
- Het dijklichaam moet een afsluitend pakket vormen waar zich een kanaal onder kan ontwikkelen zonder dat er materiaal loskomt dat de pipe vult.
- In het voorland moet een intredepunt kunnen ontstaan, d.w.z. dat er waterdoorlatend materiaal op de bodem moet liggen.

2.5 Te onderscheiden fasen als piping ontstaat

Wanneer er sprake is van piping zijn er verschillende fasen te onderscheiden tot aan het bezwijken van de waterkering. In voorgaande hoogstukken en subhoofdstukken worden deze fasen toegelicht, dit hoofdstuk vat samen wat er gebeurt in de fasen en daaropvolgend de mogelijkheden per fase om piping te voorkomen. Alle fasen spelen een rol in het onderscheiden van een oplossingsmethode.

De volgende fasen zijn te onderscheiden:

Fase	Omschrijving	Mogelijkheden piping voorkomen
Toename verval	Wanneer het verval toeneemt als gevolg van ofwel een verlaging van het binnendijs (polder)peil, danwel de waterstand in de watergang, kan er piping optreden door het veranderen van de grondspanning onder het slecht waterdoorlatend pakket.	• Afvoer van de rivier vergroten waardoor de max. optredende waterstand afneemt. • Polderpeil verhogen • Kwelweglengte laten toenemen
Opbarsten/heave	Bij een verandering van de grondspanning onder het slechtwaterdoorlatend pakket kan er opbarsten plaatsvinden. Het slecht waterdoorlatend pakket wordt geperforeerd en er kan verticale grondwaterstroming plaatsvinden (kwel). Wanneer er geen sprake is van een slecht waterdoorlatend pakket kan er een toename in verticale grondwaterstroming ontstaan waardoor de korrelspanning wordt gereduceerd, mogelijk tot het punt dat er geen sprake meer is van korrelspanning. Dit fenomeen heet heave en kan er voor zorgen dat door herschikking van de korrels in het watervoerend pakket een pipe ontstaat.	Opbarsten: • Grondspanning verhogen • Waterdruk onder afsluitend pakket verlagen Heave: • Reduceren verticale stroom van water • Korrelspanning verhogen
Ontstaan van een	Wanneer er een verbinding is tussen het	• Korreldicht materiaal

zandmeevoerende wel	watermeevoerend pakket en het maaiveld kan er met de kwelstroom materiaal meestromen. Dit materiaal wordt niet meer aangevuld en er ontstaat een holte (pipe).	• toepassen • Verval terugbrengen tot minder dan het kritisch verval
Groeien van de pipe stroomopwaarts	Bij aanhoudend kritisch verval zal materiaal blijven uitstromen en groeit de pipe. Dit gebeurt niet persé in een rechte lijn maar wel altijd tegen de stroomrichting in, dus richting de watergang.	• Materiaal stroom stoppen • Verval terugbrengen tot minder dan het kritisch verval
Ontstaan van intredepunt watergangzijde	Wanneer de pipe onder de waterkering doorgroeit, zal het doorgroeien tot in de watergang, waardoor er een directe verbinding ontstaat, een open pipe. Het punt in de watergang waar de pipe uitmond is het intredepunt.	• Materiaal stroom stoppen • Intredepunt afdichten
Ruimen van de pipe stroomafwaarts	Wanneer er een open pipe is ontstaan zal het debiet door de pipe toenemen. Hierdoor zal ook de erosie toenemen. Afhankelijk van de omstandigheden zal de pipe ruimen tot aan het intredepunt tot een formaat dat het bovenliggend pakket zal inzakken. Er kan ook een proces plaatsvinden dat de pipe ruimt en dat er vervolgens zand in de pipe stort door instabiliteit. Dit proces gaat een stuk trager doordat de pipe telkens opnieuw door het ingestorte zand moet 'vreten'.	• Materiaal stroom stoppen door (nood) maatregel • Herstel werkzaamheden
Inzakken van de dijk/verlaging van de kruin	Als de dijk of het afsluitend pakket de open ruimte als gevolg van piping niet meer kan overbruggen zal het inzakken. Dit inzakken kan resulteren in het uitspoelen van (delen van) de dijk, het verlagen van de kruin waardoor wateroverslag kan plaatsvinden of de dijk kan afschuiven.	• Noodmaatregelen treffen • Herstel werkzaamheden
Bezwijken van de dijk	Wanneer de dijk onvoldoende reststerkte heeft en vervormt door afschuiven, instorten en uitspoelen verliest het zijn eigenschap water te kunnen keren. De dijk is nu bezwaken.	• Noodmaatregelen treffen • evacueren

3. Welke preventiemethoden zijn er tegen piping

Voor deze analyse is er onderscheid gemaakt tussen traditionele, bestaande alternatieve en innovatieve maatregelen. Piping is anno 2016 een 'hot-item' en er wordt veel geïnvesteerd in nieuwe methoden om het tegen te gaan.

Alle preventiemethoden zijn gebaseerd op de technische opties die er zijn tegen piping, zoals genoemd in het onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen (Rijkswaterstaat, 2012) en opgesomd in ("2.5 Te onderscheiden fasen als piping ontstaat"), te weten:

- Horizontale en verticale kwelweg verlengen
- Voorkomen van het opbarsten van de kleilaag binnen het invloedsgebied

- Verkleinen van het verval door reguleren van waterstanden
- Uitspoelen van zand voorkomen

Bovenstaande geldt dus als voorwaarde aan een oplossing maatregel om piping tegen te gaan. Echter kan de oplossing, volgens de aangepaste formule van Sellmeijer, ook gezocht worden in;

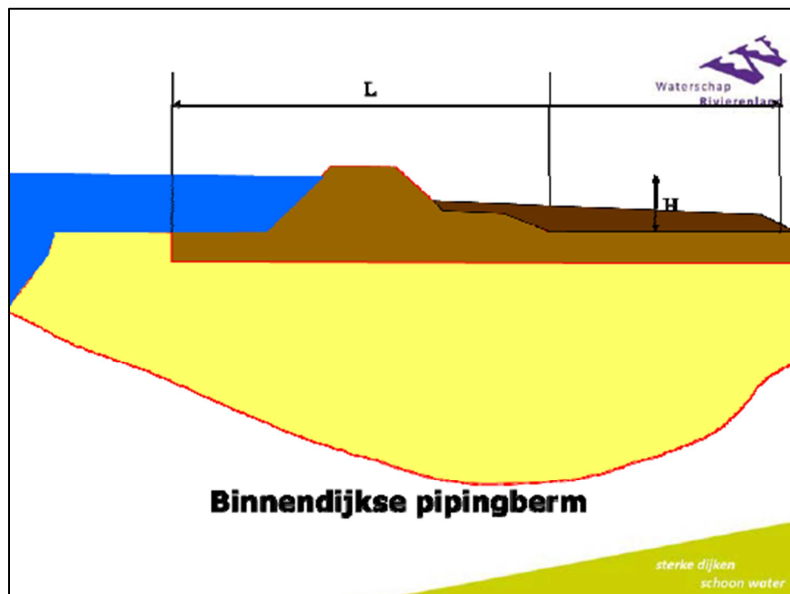
- Waterdoorlatendheid verminderen
- d_{70} (korrelgrootte van het watervoerende pakket) veranderen
- als er, zoals bij een zandfilter, de mogelijkheid is pipinggevoeligheid weg te laten vallen is de oplossing gebaseerd op de betrouwbaarheid van het middel, en niet meer op de toetsregels op piping.

3.1 Traditionele maatregelen

Dit zijn maatregelen die al in de praktijk zijn toegepast en hun werking hebben bewezen, het onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen is gebruikt voor een opsomming van deze maatregelen (Rijkswaterstaat, 2012).

3.1.1 Binnendijkse pipingberm

Een binnendijkse pipingberm is een laag grond die binnendijs aangebracht wordt vanaf de teen richting het binnenland. Dit heeft als neveneffect dat de macrostabiliteit van de dijk ook toeneemt en de dijk enkel uit grond blijft bestaan.



Figuur 6: schematisatie van een binnendijkse pipingberm. (Berg, 2013)

3.1.1.1 Op welke manier zorgt de methode dat piping niet meer optreedt

Piping ontstaat doordat materiaal uit de watervoerende grondlaag kan uitspoelen naar het oppervlak. Vaak gebeurt dit door het opbarsten van een afsluitende laag als gevolg van de waterdruk (zie: 1.3 Hoe ontstaat piping). Door een pipingberm wordt het gewicht op de afsluitende laag groter, waardoor de grondspanning groter wordt dan de maximale waterspanning in het watervoerend pakket. Daarnaast neemt de lengte van de kwelweg toe waardoor het verhang afneemt en het

ontstaan van een 'open pipe' langer duurt en er meer tijd is om in te grijpen na het ontstaan van een wel.

3.1.1.2 Beschrijving van de manier van werken

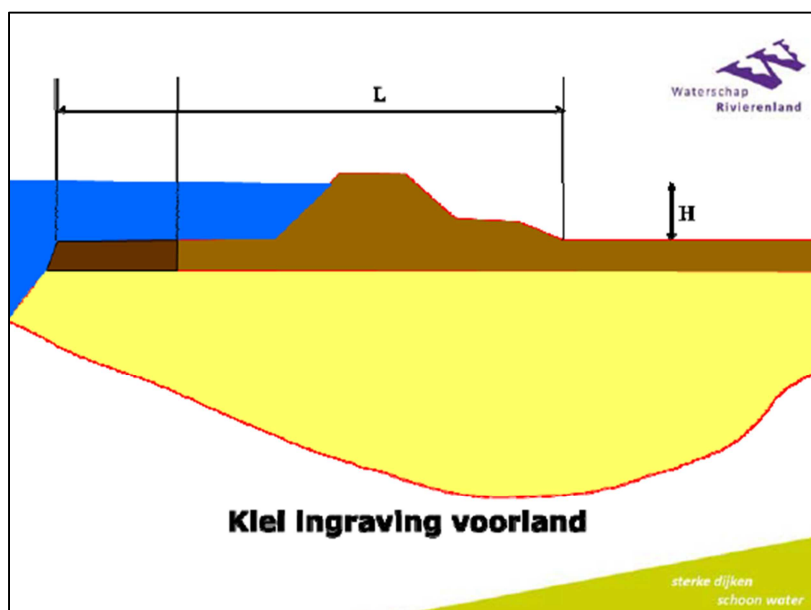
Om piping tegen te gaan met een pipingberm moet er een grondlichaam aangebracht worden. Dit is alleen mogelijk als er ruimte is voor een grondlichaam. Dit houdt in dat obstakels weg moeten of verplaatst moeten worden. Deze methode is gebaseerd op het voorkomen van opbarsten binnen het invloedsgebied.

3.1.1.3 Impact op de omgeving

Deze manier van werken is erg ingrijpend; het landschap verandert, obstakels (bebouwing, beplanting, watergangen, kabels en leidingen) moeten verwijderd worden en afhankelijk van de situatie kunnen er ecologische redenen zijn om het werk niet uit te mogen voeren. Daarnaast zijn de kosten hoog en kan het aanbrengen lange tijd duren doordat er in delen opgehoogd wordt vanwege zettingen.

3.1.2 Klei ingraving voorland

Kleiïngraving berust ten delen op hetzelfde principe als een pipingberm. Toch is deze methode minder vaak toegepast. Ten eerste door optredende erosie, of dure erosiebescherming omdat het klei (een bepaalde tijd van het jaar) in een watergang ligt, of delen van de tijd door het water bereikt kan worden. Ten tweede is een klei ingraving in het voorland vaak uitvoeringstechnisch niet mogelijk door water. Het wordt bijvoorbeeld toegepast in het winterbed van een rivier, die grote delen van de tijd toegankelijk is. Een klei ingraving in het voorland biedt wel uitkomst bij binnendijkse bebouwing omdat het geen consequenties heeft voor deze bebouwing. In de leidraad rivieren (Ministerie van Verkeer en Waterstaat; Expertise Netwerk Waterkeren, 2007) wordt ook als eis gesteld dat een dijkversterking niet de rivierwaterstand mag verhogen, dit is wel een gevolg van rivierwaartse versterking. Alleen als er gecompenseerd wordt is dit mogelijk.



Figuur 7: Schematisatie van een klei ingraving in het voorland. (Berg, 2013)

3.1.2.1 Op welke manier zorgt de methode dat piping niet meer optreed

De plek waar een intredepunt kan ontstaan wordt verlegd, verder weg van een mogelijk uittredepunt. Hierdoor neemt de kwelling toe en is het verhang kleiner, waardoor binnendijs minder waterspanning tegen het slechtdoorlatende pakket drukt.

3.1.2.2 Beschrijving van de manier van werken

Er wordt klei buitendijs aangebracht. Deze klei vormt een afsluitende laag op het bestaande maaiveld/bodem waardoor een intredepunt niet mogelijk is. Een mogelijk intredepunt zal zich rivierwaarts verplaatsen.

De kleiengraving kan toegepast worden op het maaiveld of ingegraven worden als kleikist. Een kleikist die ingegraven wordt in het watervoerende pakket zorgt ervoor dat de effectieve kwelling nog meer toeneemt doordat een pipe zich niet in een rechte lijn kan ontwikkelen maar onder de kleikist door zal moeten gaan.

3.1.2.3 Impact op de omgeving

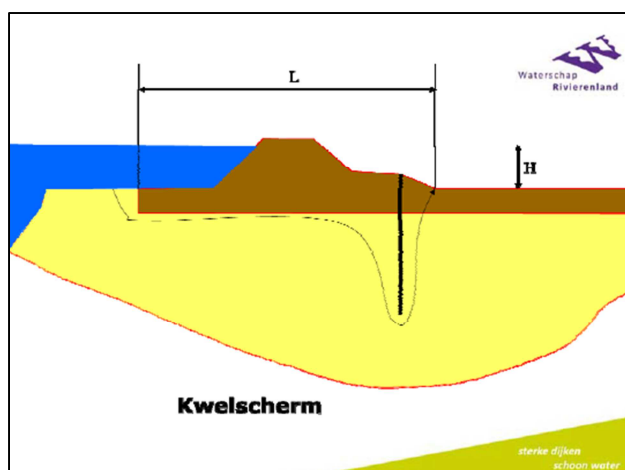
Deze methode is een goed alternatief voor plaatsen waar bebouwing is. Er zijn echter veel voorwaarden waaraan de situatie moet voldoen voor de methode toegepast kan worden, waardoor het een methode is die niet vaak voorkomt.

Eventuele bebouwing of begroeiing buitendijs moet wijken voor deze methode, waardoor het kan voorkomen dat er meer werkzaamheden, vooraf aan het toepassen van een klei ingraving, moeten plaatsvinden.

3.1.3 Kwelscherm

Een kwelscherm is een constructie die niet waterdoorlatend is. Een voorbeeld is een stalen, kunststof of betonnen damwand, maar er zijn meer varianten op.

Een kwelscherm wordt in een dijk gemaakt en rijkt tot in een watervoerende laag. Er zijn veel varianten op, zoals een korte damwand die tegen de bovenkant van het watervoerend pakket geïnstalleerd wordt.



Figuur 8: Schematisatie van een kwelscherm. De kwelling neemt toe. (Berg, 2013)

3.1.3.1 Op welke manier zorgt de methode dat piping niet meer optreed

Een kwelscherm kan op 2 manieren werken. Als een watervoerende laag niet te dik is kan er een kwelscherm toegepast worden dat rijkt tot een slecht waterdoorlatende laag. Hierdoor is er een gehele afsluiting van het watervoerend pakket. Het is nu niet meer mogelijk voor zand om uit te spoelen, en het verval neemt toe tot aan het kwelscherm.

Als er een watervoerende laag aanwezig is die erg dik is kan een kwelscherm toegepast worden om de kwelengte te vergroten. De kwelweg loopt dan onder het kwelscherm door.

3.1.3.2 Beschrijving van de manier van werken

Er wordt machinaal een kwelscherm in de bodem geplaatst. Dit kwelscherm loopt parallel aan de dijk en komt in de teen van de dijk, zodat de damwandplanken zo kort mogelijk is. Traditioneel gebeurt dit met damwanden van beton, kunststof of staal.

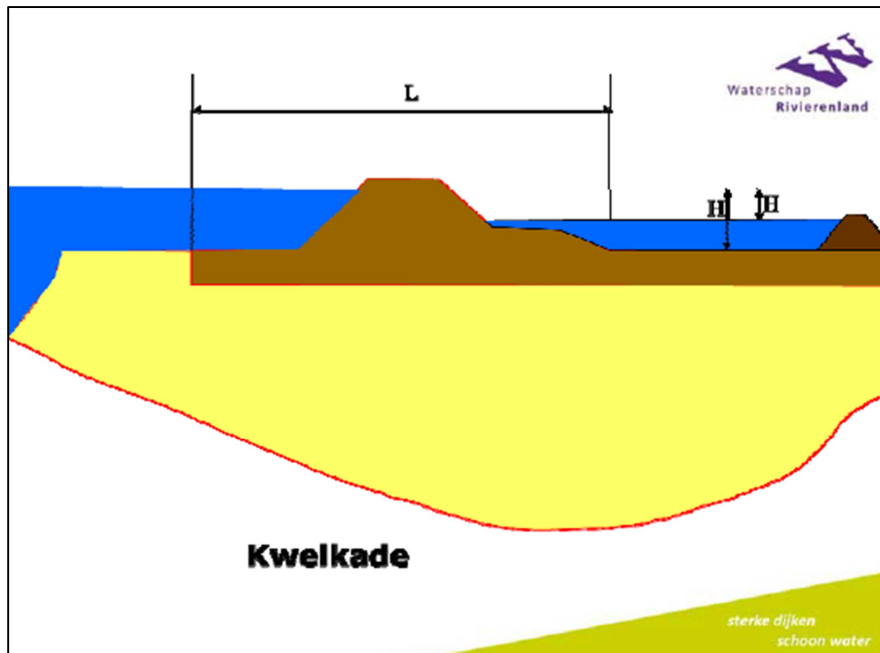
Bijkomend voordeel is dat er in combinatie met het voorkomen van andere faalmechanismen een constructie toegepast kan worden waardoor de kwelengte toeneemt. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een combiwand of een diepwand tegen macroinstabiliteit, waarmee gelijk piping is verholpen.

3.1.3.3 Impact op de omgeving

Het plaatsen van een kwelscherm gebeurt met zware machines. Tijdens de werkzaamheden zal er een bouwplaats moeten worden ingericht langs of op de dijk. Het is niet nodig om bebouwing te verwijderen als men een kwelscherm wilt installeren omdat de positie in de dijk vaak niet maatgevend is en er bij het ontwerp op bebouwing ingespeeld kan worden. Het is een dure methode en veroorzaakt tijdens het installeren veel overlast voor omwonenden door trillen, geluid, onbereikbaarheid van bewoners en algemene hinder van een bouwplaats.

3.1.4 Kwelkade

Een kwelkade is een nevengeul binnendijs. Hierin kan inundatie(overstromen, volraken met water) plaatsvinden om kwelwater kwijt te kunnen en het verschil in waterstand tussen binnen en buitendijs af te laten nemen.



Figuur 9: schematisatie van een kwelkade. (Berg, 2013)

3.1.4.1 Op welke manier zorgt de methode dat piping niet meer optreedt

Als de waterstand binnendijks kan toenemen, neemt de stroomsnelheid in de ondergrond af door een verlaagd verval. De stroomsnelheid bepaald of gronddeeltjes in beweging komen.

3.1.4.2 Beschrijving van de manier van werken

Een kwelkade kan toegepast worden op plekken waar naast de dijk niet gebouwd is, of het land gebruikt wordt. Zulke dijkdelen zijn echter schaars. Een permanente kwelkade kan bijvoorbeeld toegepast worden in een natuurgebied.

Een kwelkade wordt meestentijds toegepast als er sprake is van welvorming binnendijks. Er wordt een kade aangelegd zodat er tussen de aangelegde kade en de dijk inundatie kan plaatsvinden, om zo het verval over de waterkering af te laten nemen.



Figuur 10: Voorbeeld van een kwelakde van zandzakken. Inmiddels is de uiterwaard ook al volgestroomd. (Deltares, 2014)

3.1.4.3 Impact op de omgeving

Een kwelkade zal enkel toegepast worden als de situatie het toelaat. Er wordt een kade aangelegd van een homogene niet waterdoorlatende grond. De impact is groot, maar er moet wel in acht

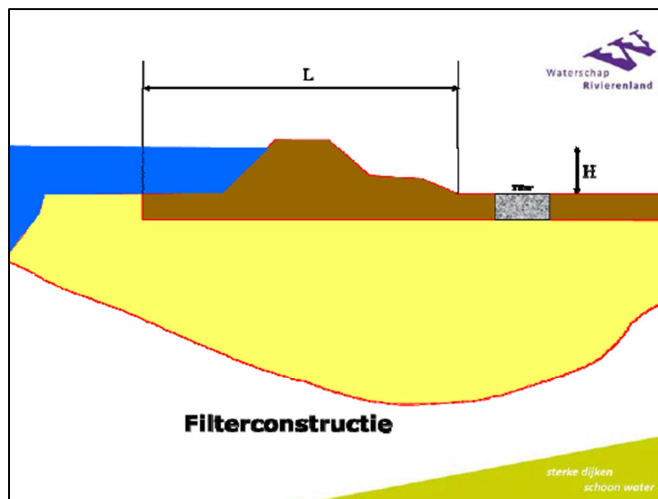
genomen worden dat dit een permanent nieuw profiel wordt dat met voorbedachte rade toegepast wordt. De impact is ook relatief omdat de situatie geschikt moet zijn voor het toepassen van een kwelkade

3.1.5 Filterconstructie

Een filterconstructie wordt toegepast om de kwel te laten stromen maar geen uittredepunt te creëren. Dit gebeurt doordat de stijghoogte in het watervoerend pakket afneemt.

3.1.5.1 Op welke manier zorgt de methode dat piping niet meer optreed

Bij een filterconstructie worden waterdoorlatende grondfracties toegepast die steeds zwaarder worden, de onderkant van de filterconstructie rijkt tot in de watervoerende laag. Een filterconstructie laat water door maar de bovenste korrels komen niet in beweging waardoor zand niet kan uitspoelen. De druk onder de waterafsluitende lagen neemt af en er zal geen opbarsting plaatsvinden.



Figuur 11: Schematisatie van een filterconstructie tegen piping. (Berg, 2013)

3.1.4.2 Beschrijving van de manier van werken

Er wordt een filterconstructie van een aantal lagen grind toegepast met verschillende mediane diameter. Een filterconstructie wordt toegepast in combinatie met een bakwetering, zodat kwelwater afgevoerd kan worden. In het geval van bebouwing, zoals bruggen, huizen of een kade, moet dit verwijderd worden of de bakwetering moet verlegd worden. Bebouwing moet eventueel opnieuw aangelegd worden.

3.1.4.1 Impact op de omgeving

Per situatie verschilt de impact. Een bakwetering moet altijd verbouwd worden, wat vaak een lastige klus is en waar veel materieel bij komt kijken. Als er gewerkt wordt in de buurt van bebouwing zal er overlast van het werk zijn omdat er vaak op een erf gewerkt wordt. Geluid, privacy en (ver)vuil(ing) vormen de grootste hinder.

3.2 Hoe wordt piping tegen gegaan (innovatie oplossingen)

In dit subhoofdstuk wordt ingegaan op oplossingen die al als pilot uitgevoerd zijn, in testfase zijn of nieuwe innovatieve ideeën. Aandacht wordt besteed aan de volgende punten:

1. Op welke manier zorgt de methode dat piping niet meer optreed

2. Toepassing van de methode
3. Voorbeelden uit de praktijk
4. Voor en nadelen

Het doel is een duidelijk beeld te scheppen met welke nieuwe technieken en methoden al gewerkt wordt, of waarmee in de toekomst gewerkt wordt.

3.2.1 Drainagetechnieken tegen piping

Een methode om de waterdruk onder het waterafsluitende grondpakket te verminderen is drainage toepassen. Door drainage toe te passen wordt voorkomen dat een waterafsluitende laag kan opbarsten. (zie ook "3.1.5 Filterconstructie")

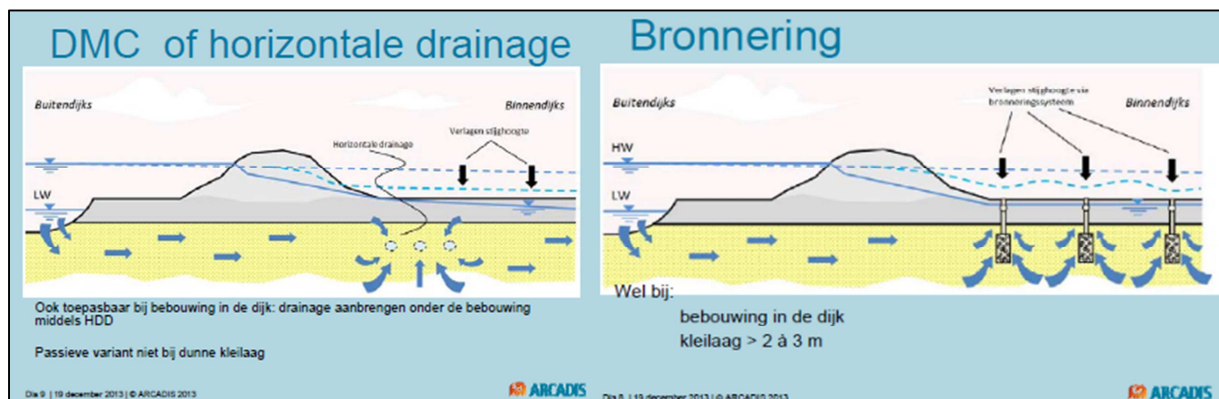
3.2.1.1 Op welke manier zorgt deze techniek dat piping niet meer optreedt

Drainage wordt in de watervoerende laag geprikt. Dit berust op hetzelfde principe als een filterconstructie toepassen (zie ook "3.1.5 Filterconstructie"). Er wordt voorkomen dat er een uittredepunt ontstaat door water naar het oppervlak te voeren zonder dat er materiaal mee kan spoelen. Zo word de druk op het afsluitende grondpakket minder en zal deze niet opbarsten. Als er geen uittredepunt is kan er geen materiaal wegspoelen en kan zich geen pipe vormen.

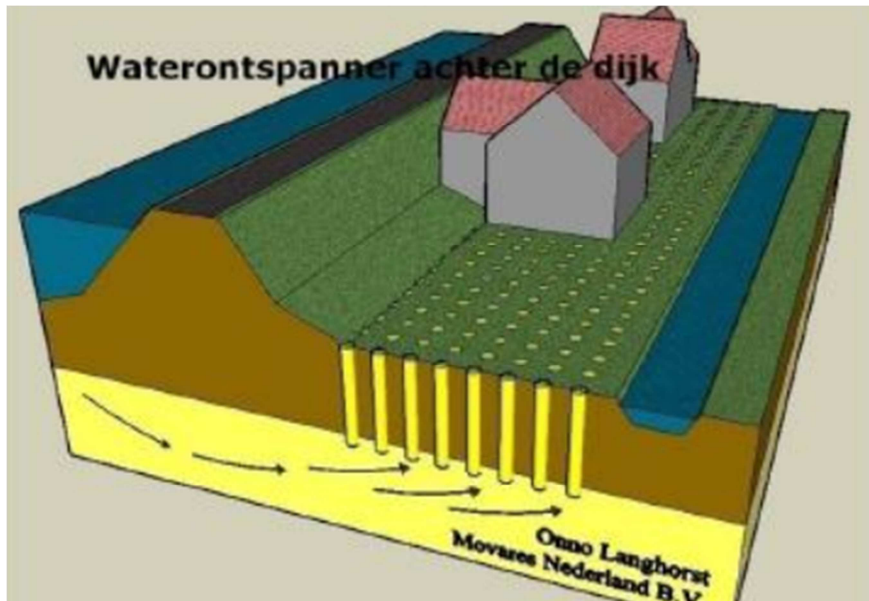
3.2.1.2 Toepassing van de methode

Er zijn verschillende innovatieve ideeën om drainage toe te passen. Zo zijn er systemen die alleen activeren bij een hoge waterdruk in het watervoerend pakket, en zo de hoeveelheid extra kwel reduceren. Daarnaast bestaan er ook open systemen die zorgen dat ten alle tijde het kwelwater door de waterafsluitende laag heen kan.

De extra kwel wordt op verschillende manieren afgevoerd. Het kan naar het maaiveld worden afgevoerd, er kan riolering aangelegd worden of het stroomt naar een nevengeul of bakwetering.



Figuur 12: drainage technieken (horizontaal en verticaal) tegen piping. (Niemeijer, Drainagetechnieken tegen piping, 2013)



Figuur 13: Drainage doormiddel van 'grindpalen'. Bron: (M.S.Luijendijk, Deltares, 2011)

3.2.1.3 Voorbeelden uit de praktijk

Drainage om piping tegen te gaan is al vaak getest en toegepast in Nederland. Toch wordt het maar mondjesmaat of in combinatie met andere systemen toegepast. Een aantal voorbeelden uit de praktijk zijn in deze analyse opgenomen. Grindkolommen zijn in het verleden toegepast als putterscherm ten behoeve van verziltingbestrijding op Schouwen Duiveland. In de praktijk is hier nog niet toegepast op basis van een kostenbaten analyse. (M.S.Luijendijk, Deltares, 2011)

Een ander voorbeeld zijn grindkoffers die tot in de watervoerende laag zijn aangebracht zoals in de Spijkse Dijk, zie Figuur 14.



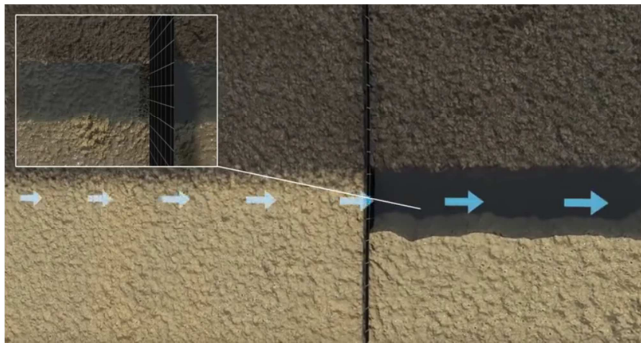
Figuur 14: grindkoffer toegepast in de teen van de Spijkse Dijk. Bron: (H. Senhorst, RWS-GPO, N.B.)

3.2.2 Verticaal zanddicht geotextiel

Er is tegenwoordig een ontwikkeling gaande om piping onder dijken teniet te doen een zandfilter toe te passen. Verschillende partijen zijn bezig met verticaal zanddicht geotextiel. Van den Herik heeft een freesmachine omgebouwd om lange stukken doek in de teen van de dijk toe te passen en Cofra/Boskalis is bezig om stroken geotextiel van kunststof (damwand) sloten te voorzien om strook voor strook in te brengen.

3.2.1.1 Op welke manier zorgt deze techniek dat piping niet meer optreed

Door zandtransport stil te leggen wordt met verticaal zanddicht geotextiel gezorgd dat piping stopt. Het wordt onmogelijk voor het zand de pipe in te spoelen door een zandfilter dat wel water doorlaat.



Figuur 15: (Waterschap rivierenland, 2014)

De methode heeft het voordeel dat het de dijk niet meer piping gevoelig maakt. Hierdoor is de dijk veel beter op de toekomst ingericht, omdat die niet meer afhankelijk is van de dynamische rekenregels, maar van de betrouwbaarheid van het verticaal zanddicht geotextiel (vzg).

Op dit moment is er nog veel onbekend over de levensduur en het gedrag over tijd van vzg. Als hier meer inzicht in komt zal het vzg veel betrouwbaarder ingezet kunnen worden.

3.2.1.2 Toepassing van de methode

Er zijn 2 hoofdontwikkelaars die vzg. Kunnen installeren. Zoals eerder kort omschreven zijn Van Den Herik en Cofra/Boskalis bezig met inbrengtechnieken.

Van Den Herik gebruikt hiervoor een aangepaste freesmachine. Hiermee kunnen grote stukken doek aaneensluitend worden ingebracht. Een groot voordeel is dat er enkel naden zijn aan het einde van een rol geotextiel. Een nadeel van deze methode is de grote sleuf die gefreesd wordt. Het afsluitende pakket wordt doorgesneden en dit is nadelig voor de sterkte van de dijk.



Figure 2: de omgebouwde diepfrees van Van Den Herik. (POV Piping)

Bokalis Cofra gebruikt een techniek die veel lijkt op damwanden inbrengen. Zij brengen stroken geotextiel op diepte met een moederplank. Het textiel is verbonden met kunststof damwandsloten.



Figure 3: VZG installatie van Boskalis Cofra. (RTL Nieuws, 2015)

3.2.1.3 Voorbeelden uit de praktijk

Er zijn nog maar weinig voorbeelden uit de praktijk. Er zijn op dit moment pilots gaande.

4. Spelen er zaken bij het tegengaan van piping die niet gewenst zijn maar met de huidige methoden niet te voorkomen zijn?

De meest actuele problemen waar men nu tegenaanloopt bij het toepassen van maatregelen tegen piping worden in dit hoofdstuk toegelicht. Deze problemen bieden kansen voor innovatieve nieuwe ideeën.

4.1 Overlast en hoge kosten

Doordat bij eerdere toetsing in het verleden het faalmechanisme piping is onderschat (Havekes & Deelstra, 2014) vallen de kosten voor het versterken van waterkeringen in Nederland duurder uit dan voorzien. Bovendien is er behoefte aan minder maatschappelijke en ruimtelijke impact.

Uit de huidige oplossingen tegen piping valt op te maken dat de huidige oplossingen groot, danwel duur zijn. Groot en duur zijn relatieve begrippen. Desondanks omschrijven die nog het best de oplossingen, daar het verschil tussen het probleem, een pipe van enkele centimeters breed en milimeters hoog, en de oplossing, damwanden of aanpassing van het dijkprofiel.

Hulpwerken voor constructies of het aanpassen van het dijkprofiel zijn ingrijpende werkzaamheden. Vaak is er sprake van bebouwing langs de dijk. Bewoners/bedrijven hebben overlast van werkzaamheden aan de dijk. In de ergste gevallen moet bebouwing gesloopt worden om de dijk op juiste wijze te versterken.

Om deze redenen is het alleszins gewenst om nieuwe, innovatieve oplossingen te ontwikkelen die beter kunnen omgaan met de vele functies die dijken hebben.

In hoofdstuk 5 wordt verder ingegaan op de concrete vraag van marktpartijen naar een betere methode vanwege bovengenoemde.

4.3 Beperkte toetsinginstrumenten

Tussen de theorie en de praktijk zijn een aantal zaken niet vertegenwoordigd, die allicht voordelig kunnen werken.

In de aangepaste methode van Sellmeijer wordt gerekend met een kwelweglengte die 2 dimensionaal bepaald wordt. De kwelweg is echter de afstand vanaf het intredepunt, tot de pipe, plus de lengte van de pipe. Een pipe ontwikkeld zich niet kaarsrecht maar eerder meanderend. Dit houdt in dat de lengte van het kanaal onderschat wordt. In de formule van Sellmeijer zou een langere kwelweg betekenen dat er een hoger kritisch verval nodig is.

In de formule van Sellmeijer wordt er gerekend met grondeigenschappen die gelden voor het complete watervoerend pakket, logischerwijs worden de laagste waarden van de grond gebruikt. Hierdoor wordt er een beeld geschetst dat er sprake is van een homogeen zandpakket, terwijl hier in de praktijk zelden tot nooit sprake van is. De heterogeniteit van het zand is niet vertegenwoordigd in de aangepaste Sellmeijer methode.

5. Is er omtrent piping een bepaalde vraag uit de markt waar op dit moment niet aan voldaan kan worden? (minder overlast, sneller werken o.i.d.)

Piping voorkomen is een actueel onderwerp. Er spelen verschillende zaken bij het voorkomen van piping die niet gewenst zijn, in de Projectoverstijgende Verkenning Piping wordt een uitvraag gedaan naar slimme innovatieve oplossingen tegen piping. Bij deze verkenning wordt de nadruk gelegd op het vinden van een oplossing die goedkoop is en minder schadelijk effect op de omgeving heeft dan huidige oplossingen (Chris Griffioen, 2015).

Er valt dus uit op te maken dat de huidige methoden te duur zijn om alle afgekeurde dijk mee te versterken, of anders gezegd; er is te veel dijk afgekeurd op piping om het met conservatieve methoden op te lossen.

In EMVI contracten kan men scoren op andere punten naast de aanbestedingsprijs. Op welke punten kan een nieuw systeem scoren bij een Economisch Meest Voordelige Inschrijving.

In de aanbestedingswet 2012 is opgenomen dat 'De aanbestedende dienst gunt een overheidsopdracht op grond van de naar het oordeel van de aanbestedende dienst economisch meest voordelige inschrijving' (artikel 2.11; lid 1 van de aanbestedingswet 2012). In de wet zijn enkele criteria opgenomen waarop een economisch meest voordelige inschrijving op beoordeelt wordt (artikel 2.115lid 2 sub a t/m j). De aanbestedende dienst specificeert zelf welke criteria bepalend zijn voor de economisch meest voordelige inschrijving en is hierbij niet gebonden aan de criteria die in het wetboek vermeld worden. De aanbestedende partij beslist ook wat voor waarde zij per criterium toekennen.

Er is de laatste jaren al veel gewerkt met EMVI aanbestedingen. Enkele voorbeelden daarvan zijn:

Dijk versterking BAS (Bergambacht, Ammerstol, Schoonhoven). Hierbij was de aanbesteding opgebouwd uit 60% prijs en 40% andere criteria (N.B., 2010). En lag de nadruk op omgevingshinder, communicatie met de omgeving en de verhouding people, planet profit.

Bij de aanbesteding voor de dijkversterking Schoonhoven – langerak heeft aannemer De Vries & Van de Wiel gewonnen door het toepassen van een innovatieve methode tegen dijkverzadiging bij hoog water, waardoor bewoners minder overlast krijgen (Waterschap Rivierenland, N.B.).

Bij de aanbesteding op dijkversterking KIS lag de nadruk op het beperken van bouwkundige schade, verkeershinder, stof, modder en geluid en de veiligheid van fietsers. Bouwcombinatie CDVM heeft het sterkst gescoord in dit EMVI contract (Waterschap Rivierendland, 2013).

Het gemeengoed van deze aanbestedingen was dat er moest worden omgegaan met bewoning vlak bij of op waterkering, en dat de aannemer de bewoners zo veel mogelijk moest ontzien, ontlasten en tegemoetkomt.

Bij toekomstige dijkversterkingen zal de nadruk liggen op omgevingshinder tijdens de uitvoering, bereikbaarheid van panden, en toegankelijkheid van doorgaande (ontsluitings) wegen.

In mindere mate zal de nadruk liggen op het reduceren van emissies en energieverbruik en lifecyclecost(LCC).

Bibliography

- Arcadis. (2012). *Consequentie analyse aangepaste pipingregel*. N.B.: Arcadis.
- Beek & Knoeff. (2010). *SBW Piping - Hervalidatie piping, HP5.5a Analyse envalidatie full-scaleproeven*. Deltares.
- Beek, V. v., & Bezuijnen, A. (2009). *SBW Hervalidatie piping*. N.b.: Deltares.
- Berg, S. v. (2013). *POV Piping*. Waterschap Rivierenland.
- Calle, & Sellmeijer. (1998). *Probabilistische gevoeligheidsanalyse heave Fase 5*. GeoDelft.
- Chris Griffioen. (2015). *Uitvraag aan de markt 'Nieuwe oplossingen voor piping bij dijken'*. POV Piping.
- Deltares. (2012). *Zandmeevoerende wellen*. N.b.: Deltares.
- Deltares. (2014, 11 4). *Aanleg kwelkade in pyramidevorm of in kamvorm met zandzakken*.
Opgeroepen op 2 10, 2016, van <http://v-web002.deltares.nl: http://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/index.php?title=Bestand:Kwelkade2.png&filetimestamp=20141104151223&>
- Deltares. (2015). *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen*. Deltares.
- DINO loket. (2016). *Ondergrondgegevens*. Opgeroepen op 2 29, 2016, van www.dinoloket.nl: https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens
- H. Senhorst, RWS-GPO. (N.B.). *Drainagetechnieken tegen piping*. N.B.: Rijkswaterstaat.
- Havekes, H., & Deelstra, Y. (2014). *Quickscan innovatiemogelijkheden waterkeringen in de waterwet*. Amersfoort: STOWA.
- Helpdesk Water. (2014, 01 01). *Toetsing primaire waterkeringen*. Opgeroepen op 02 25, 2016, van www.helpdeskwater.nl: http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/handboek-water-0/thema'/waterveiligheid-0/toetsing-primaire/
- Helpdesk Water. (sd). *Piping*. Opgeroepen op 02 09, 2016, van Helpdesk Water:
<http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/programma'-projecten/piping/>
- ing. H.T.J. de Bruijn. (2013). *Het pipingproces in stripvorm*. Lelystad: Deltares.
- M. van der Wal. (2011). *Bepalingstabieleparameters voor piping modellering*. N.b.: Deltares.
- M.S.Luijendijk, Deltares. (2011). *Innovatieve oplossingen kweloverlast en piping*. Deltares.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat; Expertise Netwerk Waterkeren. (2007). *Leidraag Rivieren*. Den Haag: Drukkerij Ando bv, Den Haag.
- N.B. (2010). *Dijkversterking Bergambacht Ammerstol Schoonhoven*. Opgeroepen op 3 9, 2016, van www.pianoo.nl: https://www.pianoo.nl/dijkversterking-bergambacht-ammerstol-schoonhoven

- N.b. (Regisseur). (2014). *Piping, lesvideo voor de dijkwacht* [Film].
- Niemeijer, H. (2013). *Drainagetechnieken tegen piping*. Arcadis.
- Niemeijer, H. (2013). *Drainagetechnieken tegen piping*. *Drainagetechnieken tegen piping* (p. 11). Arcadis.
- POV Piping. (sd). *uploads*. Opgeroepen op 06 08, 2016, van www.pov-piping.nl: <http://www.pov-piping.nl/couch/uploads/image/gallery/geohorizontaal.jpg>
- Rijkswaterstaat. (2012). *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen*. Tiel: Rijkswaterstaat.
- RTL Nieuws. (2015, 7 8). 'Deze dijk lijkt sterk, maar schijn bedriegt'. Opgeroepen op 6 8, 2016, van <http://www.rtlnieuws.nl/>: <http://www.rtlnieuws.nl/nieuws/binnenland/deze-dijk-lijkt-sterk-maar-schijn-bedriegt>
- Sellmeijer, J. (1988). *On the mechanism of piping under impervious structures*. Delft: Bibliotheek technische universiteit.
- Van Den Herik. (N.B.). *Piping control*. Opgeroepen op Februari 9, 2016, van www.herik.nl: <http://www.herik.nl/nl/activiteiten/2/40/waterbouw/piping-control>
- Vermaas, R. (2016). *Oriëntatiefase deelvragen*. Papendrecht: Gebr. De Koning.
- Waterschap Rivierendland. (2013). Presentatie dijkversterking 8 okt'13. *Dijkversterking Kinderdijk - Schoonhovenseveer* (p. 20). WSRL.
- Waterschap Rivierenland. (2016, 01 21). *Veelgestelde vragen*. Opgeroepen op 02 09, 2016, van www.waterschaprivierenland.nl: <http://www.waterschaprivierenland.nl/search?query=piping&sort=>
- Waterschap Rivierenland. (N.B.). *Ruimte voor de Rivier [PERSBERICHT]*. Opgeroepen op 3 10, 2016, van www.ruimtevoorderivier.nl: <https://www.ruimtevoorderivier.nl/wp-content/uploads/2015/04/PERSBERICHT-Minister-geeft-groen-licht-voor-dijkverbeteringen-schoonhoven-langerak.pdf>
- Wet op waterkering. (1995, 12 21). *Wet- en regelgeving*. Opgeroepen op 2 25, 25, van www.wetten.overheid.nl: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0007801/2008-07-01>
- WSRL (Regisseur). (2014). *Piping, lesvideo voor de dijkwacht* [Film].
- WSRL. (sd). *Piping*. Opgeroepen op 2 25, 2016, van <http://v-web002.deltares.nl/>: <http://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/index.php/Piping>

Bijlage 2: Opgave per watersysteem

Verwachtte opgave per water systeem. Dient als aanvullende informatie op de grafiek uit hoofdstuk "2.5.2. Kansen per watersysteem."

Waal	Opgave: 70 - 90% afkeur verwacht Mate van afkeur: Zeer groot Oorzaak: De voornaamste rede dat dit systeem grotendeels afgekeurd wordt komt door de aangepaste Sellmeijer formule die vanaf 2017 gehanteerd gaat worden.
Neder-Rijn - lek	Opgave: 70 - 90% afkeur verwacht Mate van afkeur: Zeer groot Oorzaak: De voornaamste rede dat dit systeem grotendeels afgekeurd wordt komt door de aangepaste Sellmeijer formule die vanaf 2017 gehanteerd gaat worden.
IJssel	Opgave: 70 – 90% afkeur verwacht. Mate van afkeur: Zeer groot Oorzaak: De aangepaste regel van Sellmeijer leidt tot extra afkeur. Hoewel de hydraulische randvoorwaarden de afkeur beperken, weegt dit niet op tegen afkeur op basis van de nieuwe Sellmeijer.
Brabantse Maas	Opgave: 65- 85% afkeur verwacht Mate van afkeur: Groot Oorzaak: De voornaamste rede dat dit systeem grotendeels afgekeurd wordt komt door de aangepaste Sellmeijer formule die vanaf 2017 gehanteerd gaat worden. De hydraulische randvoorwaarden veranderen minimaal.
Limburgse maas	Opgave: 5 – 25% Mate van afkeur: Gemiddeld Oorzaak: Op dit moment is een inschatting zeer lastig. Door de bodemopbouw in Limburg is de verwachting dat de afkeur op piping beperkt is.
IJssel Vecht delta	Opgave: 50 – 70% Mate van afkeur: Gemiddeld Oorzaak: De heterogeniteit in de ondergrond heeft als gevolg dat er op kleine schaal getoetst moet worden. De verwachting is dat vooral in de Vecht veel afkeur op piping is en in de IJssel beperkt.
Rijn- maasmonding	Opgave: 20 – 50% afkeur verwacht Mate van afkeur: Grote spreiding, waarschijnlijk gemiddeld. Oorzaak: Grote heterogeniteit en de aangepaste regel van Sellmeijer leiden tot extra afkeur. Hoewel de hydraulische randvoorwaarden de afkeur beperken, weegt dit niet op tegen afkeur op basis van de nieuwe Sellmeijer.
IJsselmeer	Opgave: 0 – 10% Mate van afkeur: Gemiddeld Oorzaak: Een holocene kleibodem voorkomt vaak dat er een verval over de kering ontstaat. Lokaal kan er zand tot aan de bodem zitten waardoor er een risico op piping ontstaat de nieuwe WBI2017 leidt niet tot extra opgave.
Markermeer	Opgave: 0 – 10% Mate van afkeur: Gemiddeld – groot Oorzaak: Een kleibodem voorkomt dat er piping kan optreden. Lokaal kan er een zandlaag tot aan de bodem rijken.
Westerschelde	Opgave: 0 – 10%

	Mate van afkeur: beperkt. Oorzaak: Aan de Westerschelde is sprake van getijden en kan een hoogwaterstand nooit lang genoeg aanhouden om dijkdoorbraak te veroorzaken.
Oosterschelde	Opgave: 0 – 20% Mate van afkeur: beperkt Oorzaak: Aan de Oosterschelde is sprake van getijden en kan een hoogwaterstand nooit lang genoeg aanhouden om dijkdoorbraak te veroorzaken.
Waddenzee	Opgave: ~10% Mate van afkeur: beperkt Oorzaak: Aan de Waddenzee is sprake van getijden en kan een hoogwaterstand nooit lang genoeg aanhouden om dijkdoorbraak te veroorzaken.

Bijlage 3: Keuzematrix criteria en ingevulde keuzematrix

Begeleidend document voor het hoofdstuk keuzematrix.

Belangenpartij	Criteria	
Bedrijf	Areaal	Het areaal omvat de dijk lengte die met deze methode versterkt zou kunnen worden. Omdat er geen actuele gegevens bekend zijn/tijd is om dit te achterhalen, wordt dit beoordeeld door de flexibiliteit van een methode. Dit geeft een indirecte uitkomst. Als een methode erg dynamisch en flexibel is, en de aanbrengmethode is ook flexibel, dan is er een groot areaal beschikbaar. De criteria zijn: • Is de oplossing erg specifiek, zoals bij bebouwing, of is er weinig voor nodig deze methode te gebruiken? • In wat voor type voorkomende dijk heeft de methode grote potentie? • In welke deel (over het dwarsprofiel gezien) van de dijk is deze methode toepasbaar?
	Ontwikkelingstijd	Voor een bedrijf is het belangrijk in beeld te hebben hoe snel een investering zichzelf gaat terugverdienen. De ontwikkelingstijd is vooral gebonden aan het risico dat de werking van een product niet goed bewezen kan worden. Ontwikkelingstijd speelt mee omdat het geld kost om een idee 'op de planken te hebben'.
	Kosten van het product	Voor een bedrijf zijn de kosten van een product belangrijk. Daarbij wordt gelet op: • Aanschafprijs van het product • Fluctuatie van de prijs • Concurrentiebaarheid • Opslag en verwerking van het product
	Affiniteit met het product en methode	Voor een bedrijf is een nieuwe methode pas interessant als zij al affiniteit met de methode en het product hebben. Voor een bedrijf is het te kostbaar als zij haar disciplines te veel moet verleggen, en daarbij komt dat een nieuwe methode tal van risico's met zich meedraagt dat het best te ondervangen is met parate kennis.
	Investeringskosten	Als bedrijf wil je profiteren van een investering. Als de risico's en onzekerheden de investeringskosten niet overtreffen is het niet verstandig een nieuwe methode te ontwikkelen.
	Complexiteit van het product ontwikkelen	Een nieuw product, in de breedste zin van het woord, kan allerlei maatregelen met zich meenemen. Moeten er speciale opslag voorzieningen voor gecreëerd worden, kan het binnen of buiten opgeslagen worden, moeten mensen gecertificeerd zijn om er mee te werken?
	Verwerking van het product	Een nieuw product kan allerlei eigenschappen hebben die vragen om een bepaalde verwerkingsmethode, denk aan temperatuur, gaat het om een vloeistof of vaste stof of constructie. Dit speelt mee voor een bedrijf omdat het geld kost als daar nieuw materieel voor nodig is.
	Onderhoud van het product	In de huidige contractvorming speelt niet alleen aanschaf, maar ook onderhoud een rol. Dit criterium heeft als bedoeling de complexiteit van het onderhoud in te schatten.
	Beschikbaarheid van het product	Een nieuw product kan op dit moment beschikbaar zijn, maar er kunnen tal van redenen zijn dat een product in de toekomst niet meer beschikbaar is. Dit criterium probeert in te schatten of er rekening gehouden moet worden met de beschikbaarheid.
Milieu	Gebiedseigen	In de huidige tijdsgeest wordt er waarde aan gehecht dat een materiaal dat

		in de bodem komt gebiedseigen is en het liefst op natuurlijke wijze afbreekt, wordt opgenomen in de natuur, dan wel natuureigen is.
	Verwijderbaarheid	Mocht het in de toekomst wenselijk zijn een aangebracht product te verwijderen dan speelt de verwijderbaarheid mee. Dit kan doordat een product niet gebiedseigen is, vervangen moet worden, opnieuw aangebracht moet worden of de locatie moet beschikbaar komen.
	Flexibiliteit	Door de dynamische rekenregels kan het zijn dat een product in de toekomst niet meer voldoet. Dit criterium probeert duidelijkheid te geven of er met een toegepaste methode nog ruimte in de toekomst is tot het aanpassen/versterken/aanvullen van de maatregel.
	Levensduur	De levensduur, hoewel bijzonder moeilijk in te schatten, speelt een rol omdat het wenselijk is een goed in beeld te krijgen wat de levensduur is. In een nadere beschouwing kan zo de life-cycle cost nader onderzocht worden.
	Transport van het product	Als een product een hoge dichtheid heeft, verwarmd vervoerd moet worden of van ver komt, is dit ten nadele van de uitstoot als gevolg van transport. In de huidige contractvorming speelt o.a. CO ₂ uitstoot door transport een rol in de afprijzing.
Betrokken en	Overlast door geluid	Een aanbrengmethode kan geluidsoverlast veroorzaken. Voor het comfort van omwonenden en betrokkenen wordt er een waardering gegeven voor de verwachte geluidsoverlast.
	Overlast door stank	Idem.
	Overlast door aanbrengmethode	Idem, denk ook aan vuil, afval en trillen door zware machines.
	Overlast door hulpwerk	Idem, denk aan vuil, afval, tuinen die gebruikt moeten worden, onbereikbaarheid en uitzicht.
	Aanpassing van het dijkprofiel	Een nieuw dijkprofiel kan van invloed hebben op tal van zaken, denk aan waarde van een huis/pand, uitzicht, slinken van het kavel.
	Risico voor panden	Bij werkzaamheden is er altijd risico voor woningen/panden (belendingen). Denk aan schade door trillen, ontruiming tijdens hijsen, kosten door opspattend vuil.
Opdrachtgever	Is het goed te bewijzen dat het werkt	Voor een opdrachtgever is het belangrijk dat een methode werkt. Een methode gebaseerd op een bestaande techniek is makkelijker te bewijzen dan een compleet nieuwe methode die niet goed in de rekenregels is in te passen. Het vormt een risico van slagen als een methode lastig te bewijzen is.
	Welk areaal aan dijken wordt afgedekt	Omdat er veel geïnvesteerd wordt in nieuwe methodes is het budget afhankelijk van het areaal dat zou kunnen worden afgedekt.
	Bruikbaarheid methode over dwarsdoorsnede	Als een methode alleen in de teen van de dijk of buitendijks te gebruiken is, is er een kleiner areaal aan dijk beschikbaar dan wanneer het in de teen en buitendijks te gebruiken is. Dit criterium heeft dus overlap met het areaal, maar is belangrijk genoeg om gespecificeerd te worden.
	Totale kosten	Uit de POV Piping is op te maken dat er gezocht wordt naar goedkope oplossingen die duurdere varianten vervangen. De totale kosten van een middel tegen piping spelen dus erg mee voor het slagen van een nieuwe methode/product.
	Risico's	Dit criterium geeft inzicht in de risico's van een nieuwe methode/product. Een techniek die berust op een veelgebruikt materiaal brengt minder risico's met zich mee dan een product dat niet eerder in de waterbouw gebruikt is.
	Flexibiliteit over levensduur	Door de dynamische rekenregels kan het zijn dat een product in de toekomst niet meer voldoet. Voor beheerders is het van waarde als in de toekomst gemakkelijk een versterking uitgevoerd kan worden waarbij de bestaande methode niet in de weg zit, gemakkelijk te verwerken is of integreerbaar is.
Student	Mogelijkheid tot	Als onderdeel van het afstuderen is een testopstelling gemaakt. Dit biedt

	testen	een veel betere onderbouwing van de werking van een maatregel. Dit is van waarde voor de kwaliteit van het onderzoek.
	Materiaal eigenschappen	Om een goed oordeel te geven over een product is het belangrijk de eigenschappen te kennen van een product. Dit weegt mee in de afweging om een methode te kiezen omdat het de kwaliteit van het onderzoek beïnvloed
	Bekendheid/affiniteit met het product	Om te werken met een product is het gunstig als de student kennis van zaken heeft, en vervolgens met dit product kan werken. Dit heeft met de achtergrond van de studie te maken en weegt mee voor de kwaliteit van het onderzoek.
	Veiligheid	Het is niet gewenst met gevaarlijke stoffen, gereedschap/voorwerpen te werken waar de student en/of het bedrijf geen affiniteit mee heeft.
	Beschikbaar krijgen van het product	De beschikbaarheid van een product is van belang als er onderzoek naar of mee gedaan wordt. Dit criterium omvat zowel beschikbaarheid van bekende materialen, maar ook of het inzichtelijk is welk materiaal gewenst wordt. Sommige materialen worden in een oplossing omschreven maar zijn niet gespecificeerd. Het is dan niet bekend of het bestaat/verkrijgbaar is.
	Kosten tijdens onderzoek	Als een product dat getest moet worden te duur is, vertaalt dat zich terug in de kosten voor beheerders en dit criterium. Er is geen vastgesteld budget beschikbaar, maar er wordt naar alle redelijkheid gekeken of een product te duur is om aan te schaffen.
	Beschikbare tijd om het product uit te werken	Als een product complex is om mee te werken heeft dat ook invloed op de tijd die nodig is om het te testen.
	Potentie	Naar beste inschatting en door mondeling overleg binnen het bedrijf wordt al snel duidelijk of een product/methode potentie heeft. Hoewel het een breed begrip is, en lastig in te schatten in dit stadium, wordt dat in dit criterium onderverdeeld.
	Theoretische onderbouwing	Niet alle methoden zijn volgens de rekenregels te onderbouwen. De kwaliteit van het onderzoek neemt toe wanneer dit mogelijk is, maar neemt niet weg dat een moeilijk onderbouwbaar methode/product niet zou werken.

Belangenpartij	Criteria	Max score	Score	Draineren met damwand	Score	Zwaardere grondfractie in het watervoerend pakket	Score	Kwelscherm door middel van hoog viscos, niet waterdoorlatend materiaal	Score	Kwelreductie door middel van een slecht waterdoorlatend scherm	Score	Fulguriet	Score	Damwand met filter	Score	Horizontale drainage om verval te onderbreken	Score	Mini palenwand	Score	Zanddicht mineraal wol
Bedrijf	Areaal	10	2	Deze methode is gebaseerd op bescoeiing en dus alleen toepasbaar bij een wetering. Daardoor is het areaal beperkt	9	Over het gehele dwarsprofiel van een dijk toepasbaar. Bij een extreem verval over de kering kan een grondfractie nodig zijn die te groot is om te injecteren	8	Veel areaal beschikbaar, maar hoogviscose vloeistof is mogelijk niet gewenst bij bebouwing.	7	met de beoogde inbrengmethode is er een groot areaal beschikbaar. Door de complexiteit gaat dit niet op voor stukken waar veel ruimte is, waar simpelere methoden terecht kunnen	10	Groot areaal beschikbaar. Geen product kosten dus erg concurrerend.	6	Niet geschikt voor lange, ongehinderde dijklinten vanwege kosten.	10	Groot	6	Beperkt. Is hoogst waarschijnlijk niet kostenefficient op vrij beschikbare stukken dijk	10	Groot areaal beschikbaar, lage productkosten dus erg concurrerend.
	Ontwikkelingstijd	5	5	Gebr. De Koning is bekend met het product en heeft de middelen in huis een damwand aan te passen naar dit idee	2	Het bewijzen van de werking is te doen, maar de risico's afdekken is bijzonder moeilijk.	2	Bewijzen van de werking is al gedaan. Geschikt materiaal vinden en risico's afdekken is moeilijk.	2	Vanwege weinig affiniteit en onzekerheid over het middel wordt de ontwikkelingstijd erg lang geschat	2	Mede door de lage affiniteit van het bedrijf met de techniek zal het lang duren een goed product te ontwikkelen.	5	Damwand is de specialiteit van het bedrijf. Er is omtrent piping ook veel kennis van damwand.	1	Zal lang duren	3	Soortgelijke methoden bestaan al, werking tegen piping en nieuwe discipline vereist tijd.	4	Wanneer de techniek aangetoond is hoeft het niet lang te duren.
	Kosten van het product	5	5	Het zal Gebr. De Koning weinig geld kosten dit product te ontwikkelen	5	Injectiemateriaal kosten voor grof zand, granulaat o.i.d. zijn minimaal vergeleken met andere middelen.	3	Het product is nog niet zeker, en volumes zijn afhankelijk van kwelscherm lengte	3	Het product is nog niet zeker, maar de volumes zullen niet groot zijn.	5	Er is geen product dat achtergelaten wordt.	5	Voor het bedrijf laag	4	Verwachte kosten niet enorm. Horizontale boring is bestaande techniek.	3	Injectie mortel is redelijk duur.	4	Product kost niet veel, is een veelgebruikt bouw materiaal.
	Affiniteit met het product	5	5	Hoog	4	Redelijk hoog	1	Amper. Echter is er wel ervaring met kwelschermen.	0	Het product is nog niet bepaald.	0	Geen affiniteit met product/methode	5	Hoog	0	Geen	2	Weinig	4	Laag, maar eigenschappen zijn goed te onderzoeken.
	Investeringskosten	8	8	Laag	6	Een langdurig proces dat niet veel kost meedraagt in de ontwikkeling.	4	Weinig over te zeggen. Een product zal gevonden moeten worden, maar inbrengmethode zal niet veel verschillen met andere ideeën	4	De verwachting is dat er verschillende producten getest moeten worden.	0	Hoog, omdat deze techniek weinig overlap heeft met bestaande technieken.	8	Laag	2	Veel, externe expertise nodig.	2	Zal veel kosten om te ontwikkelen.	7	Laag
	Complexiteit van het product ontwikkelen	8	8	Laag	7	Erg veel kennis voorhanden binnen het bedrijf.	2	Zal veel moeite kosten met een nieuw materiaal te leren werken.	2	gemiddeld, wellicht moet er externe expertise ingehuurd worden	2	Lastig in te schatten. Werken met hoge temperatuur is lastig, zeker in het natte.	8	Laag	6	Er zijn al veel bedrijven die deze expertise hebben.	2	Weinig kennis binnen het bedrijf om de methode te ontwikkelen.	8	Laag
	Verwerking van het product	10	9	Kost niet veel moeite	10	Kan buiten en nat opgeslagen worden, enkel ruimte voor nodig.	2	Zal speciale opslag voor nodig zijn.	2	Weinig over te zeggen, naar hoogste waarschijnlijkheid een vloeistof dat opgeslagen moet worden	10	Komt geen materiaal aan te pas	9	Kost niet veel moeite	10	Kan buiten en nat opgeslagen worden, enkel ruimte voor nodig.	5	Geene grote hoeveelheden, moet droog opgeslagen worden. Kan ook extern geleverd worden.	8	Moet droog opgeslagen worden.
	Onderhoud van het product	8	8	Veel ervaring mee	8	Minimaal	8	minimaal	2	Weinig over te zeggen.	4	Lastig	8	Veel ervaring mee	8	minimaal	8	Weinig onderhoud	8	minimaal
Milieu	Beschikbaarheid van het product	5	5	Veelgebruikt bouw materiaal	5	Ruimschoots beschikbaar in Nederland, veelgebruikt materiaal voor tal van toepassingen	1	Weinig over te zeggen.	1	Weinig over te zeggen.	5	Geen sprake van	5	Veelgebruikt bouw materiaal	5	Ruimschoots beschikbaar in Nederland, veelgebruikt materiaal.	5	Veel gebruikt bouw materiaal	5	Veelgebruikt bouw materiaal
	Gebiedseigen	8	2	Niet gebiedseigen, maar wel vaak als beschoeiing, danwel kademuur gebruikt.	8	Het product komt voor in de ondergrond	0	Nee	0	Hoogstwaarschijnlijk niet	6	Discussabel, maar wordt in ieder geval gemaakt met gebiedseigen materialen.	0	Niet gebiedseigen.	2	Nee, maar deels verteerbaar en dus negeerbaar.	2*	Nee	6	Rockwool is steen, dus gebiedseigenheid is discutabel, maar zeker raakvlakken.

	Verwijderbaarheid	5	5	Is mogelijk met een damwand machine.	4	Lastig te verwijderen, aanleiding is echter zeer onwaarschijnlijk omdat het zal 'wegvallen' in de bestaande ondergrond	2	Een vloeistof is lastig uit een dijklichaam te verwijderen, maar dit zal minder snel meoten dan bij een constructie.	2	Een vloeistof is lastig uit een dijklichaam te verwijderen, maar dit zal minder snel meoten dan bij een constructie.	4	Lastig te verwijderen, aanleiding is echter zeer onwaarschijnlijk omdat het zal 'wegvallen' in de bestaande ondergrond	5	Is mogelijk met een damwand machine.	3	Redelijk, is wel op diepte geïnstalleerd, en zal toegepast worden op locaties die slecht toegankelijk zijn vanaf het maaiveld.	3	Moelijk, maar rijk niet diep dus is goed te verwijderen voor een constructie.	4	Lastig, maar erg licht dus met klein equipment te doen
	Flexibiliteit	5	1	Verwachting is dat dit niet nodig is	5	Product kan genegeerd worden indien er op dezelfde locatie een ander medium, danwel constructie moet komen.	4	Een vloeistof zit zelden in de weg	4	Een vloeistof zit zelden in de weg	5	Product kan genegeerd worden indien er op dezelfde locatie een ander medium, danwel constructie moet komen.	1	Niet erg geschikt voor dynamische regelgeving. Wel erg robuust.	3	Erg flexibel uit te breiden, niet makkelijk aan te passen.	2	Niet erg flexibel	4	Product kan genegeerd worden indien er op dezelfde locatie een ander medium, danwel constructie moet komen. Is uitbreidbaar.
	Levensduur	8	8	Materiaal eigenschappen zijn ruimschoots bekend	4	Levensduur van de opbouw is lastig in te schatten. Product slijt niet.	2	Weinig over te zeggen	2	Weinig over te zeggen	2	Weinig over te zeggen	8	Materiaal eigenschappen zijn ruimschoots bekend	8	Materiaal eigenschappen zijn ruimschoots bekend	6	Niet bewezen, maar injectie is een bekende methode en levensduur valt goed te onderbouwen.	2	Niet bekend, verwachting is lang.
	Transport van het product	3	0	Hoge dichtheid betekend veel transport/volume	3	Na vloeistof is een fijnkorrelig materiaal met een gemiddelde dichtheid een van de efficienste middelen om te vervoeren.	2	Vloeistof is de makkelijkst en efficiëntst vervoerbare medium, maar moet wel verpompt worden	2	Vloeistof is de makkelijkst en efficiëntst vervoerbare medium, maar moet wel verpompt worden	3	Geen sprake van	0	Hoge dichtheid betekend veel transport/volume	2	Veel 'lucht' in het transport, geen pompen o.i.d.	1	Bovengemiddelde dichtheid, moet verpompt worden.	2	Veel 'lucht' in het transport, geen pompen o.i.d.
	Invloed op waterhuishouding	10	4	Veel kwel bij hoog water	10	Geen invloed	4	Kweldebiet neemt af	6	Waterdoorlatendheid neemt af.	10	Geen invloed	9	Minimaal door het innovatieve filter	7	Kweltoename bij hoogwater	7	Gering, daar het een zandlaag niet volledig afdicht.	6	Moet nader onderzocht worden, verwachting is minimaal.
Betrokkenen	Overlast door geluid	5	2	Aanbrengmethode	2	Aanbrengmethode	2	Aanbrengmethode	2	Aanbrengmethode	4	Verwachting is zeer weinig geluidshinder	2	Aanbrengmethode	5	Plaatselijk, alleen daar waar geboord wordt.	4	Verwachting is zeer weinig geluidshinder	2	Aanbrengmethode
	Overlast door stank	5	3	Dieselmotoren van pompen en machines	4	Dieselmotoren van machines	3	Dieselmotoren van pompen en machines	3	Dieselmotoren van pompen en machines	2	Werken met enorme hitte zal ongetwijfeld stank creëren	3	Dieselmotoren van pompen en machines	4	Plaatselijk, alleen daar waar geboord word draait een dieselmotor.	3	Dieselmotoren van pompen en machines	4	Dieselmotor van aanbrengmachine
	Overlast door aanbrengmethode	5	1	Er kan niet vanaf de dijk gewerkt worden	3	Geluidshinder, maar bijzonder weinig hinder verwacht van aanbrengmethode doordat er een grote rijkweidte is.	3	Geluidshinder, maar bijzonder weinig hinder verwacht van aanbrengmethode doordat er een grote rijkweidte is.	3	Geluidshinder, maar bijzonder weinig hinder verwacht van aanbrengmethode doordat er een grote rijkweidte is.	4	Mogelijk stank, weinig geluid en geen toevoer transport.	3	Geluidshinder, maar bijzonder weinig hinder verwacht van aanbrengmethode doordat er een grote rijkweidte is.	4	Plaatselijk, alleen daar waar geboord wordt.	4	Redelijk kleinschalig werken. Hierdoor is de overlast minder dan bij grote machines.	3	Geluidshinder, maar bijzonder weinig hinder verwacht van aanbrengmethode doordat er een grote rijkweidte is.
	Overlast door hulpwerk	8	1	Veel hulpwerk nodig om naast een wetering te werken	6	Door de rijkweidte is het hulpwerk erg flexibel.	6	Door de rijkweidte is het hulpwerk erg flexibel.	6	Door de rijkweidte is het hulpwerk erg flexibel.	4	Lastig in te schatten. Waarschijnlijk moet er dicht op de locatie hulpwerk komen, maar de mogelijkheid over het gehele dwarsprofiel van de dijk te werken verminderd de overlast.	6	Door de rijkweidte is het hulpwerk erg flexibel.	6	Plaatselijk, alleen daar waar geboord wordt.	5	Er moet om de aanbrenglocatie gewerkt worden.	6	Door de rijkweidte is het hulpwerk erg flexibel.
	Aanpassing van het dijkprofiel	5	5	Geen sprake van	5	Geen sprake van	5	Geen sprake van	5	Geen sprake van	5	Niet	5	Geen sprake van	5	Geen sprake van	5	Geen sprake van	5	Geen sprake van
	Risico voor panden	10	8	Resoneren geen risico, trillen veel risico	8	Indien resoneren enkel risico door opspannen grond	8	Indien resoneren enkel risico door opspannen grond	8	Indien resoneren enkel risico door opspannen grond	8	Indien resoneren enkel risico door opspannen grond	8	Resoneren geen risico, trillen veel risico	8	Niet grondverdringend, wel een opstelplek nodig waarbij maaiveld ontgraven wordt.	5	Injectie is grondverdringend.	8	Resoneren geen risico, trillen veel risico

RWS/Watersc happen	Is het goed te bewijzen dat het werkt	8	4	De maatregel is goed te bewijzen, alleen worden de risico's niet afgedekt door de locatie van de maatregel	5	Zal veel moeite kosten. Variaties van dit idee staan al tijden in de kinderschoenen.	6	Ja, er is al veel ervaring met kwelchermen.	6	Ja, maar complete afsluiting om waterdoorlatendheid reductie te garanderen is lastig.	2	Zal bijzonder lastig zijn, zelfs een inschatting óf het werkt is bijzonder moeilijk.	8	Ja		Ja, verval neemt plaatselijk af waardoor zandtransport stiltvalt.	6	Moet wel getest worden, maar heeft veel potentie.	8	Ja
	Welk areaal aan dijken wordt afgedekt	5	1	Slechts waar nieuwe beschoeiing wenselijk is en waar wellen in de sloot ontstaan. Locatie specifiek een goede uitkomst, maar areaal is miniem.	4	Groot deel van het areaal wordt afgedekt doordat er precies gewerkt kan worden, zelfs op 'makkelijke' stukken waar VZG waarschijnlijk wordt toegepast is dit concurrerend.	5	Alles	5	Alles	5	Alles	3	Bebouwing, weinig ruimte, scherpe bochten, K&L	5	Groot areaal.	1	Daar waar ruimte beperkt is, maar wel beschikbaar voor klein materieel.	5	Alles
	Bruikbaarheid methode over dwarsdoorsnede	3	0	Bijzonder onpraktische locatie,	3	Overall toepasbaar.	3	Overall toepasbaar	3	Overall toepasbaar.	3	Overall toepasbaar	3	Overall toepasbaar	3	Overall toepasbaar	2	Binnen en buitenteen	3	Overall toepasbaar
	Installatiekosten	5	3	Damwand is prijzig maar het vervult meerdere functies waardoor het kostenefficient kan worden	5	Goedkoop product.	3	Kosten lastig in te schatten, zal een product moeten zijn dat kostenefficient is tegenover andere kwelchermen	4	Waarschijnlijk een goedkoop product	5	hoogstwaarschijnlijk het goedkoopste product.	3	Damwand is prijzig maar het vervult meerdere functies waardoor het kostenefficient kan worden		Gemiddeld vergeleken met andere voorstellen, maar kostenefficiënter dan bestaande technieken.	3	Verwachting is dat de kosten vergelijkbaar zijn met huidige methoden.	4	Goedkoop product
	Risico's na installatie	8	1	Er moet goed in beeld zijn dat er geen wellen optreden tussen de wetering en het dijklichaam. Daar is intensieve inspectie voor nodig.	4	Levensduur en goede werking is lastig te bewijzen.	6	Mits toename kwelweglengte gegarandeerd kan worden is er weinig risico.	6	Mits waterdoorlatendheid gegarandeerd kan worden is er weinig risico.	4	Mits werking is bewezen gemiddeld.	7	Minimaal, mogelijk dat waterdoorlatendheid fluctueert of afneemt.	6	Verstopping, extra kwel.	7	Als de werking bewezen is vrij weinig.	6	Gering, maar is wel een nieuw concept.
	Flexibiliteit over levensduur	8	6	Hoewel deze methode niet erg flexibel is, is de locatie waar die wordt toegepast niet erg vatbaar voor verandering.	7	Indien andere maatregel op een later moment gewenst is, zit dit product niet in de weg.		Kwelweglengte kan goed verlengd worden.	8	Zeer flexibel doordat het de ondergrondeigenschap pen minimaal beïnvloed.	8	Zeer flexibel doordat het de ondergrondeigenschap pen minimaal beïnvloed.	2	Niet er flexibel.	6	Erg flexibel uit te breiden, niet makkelijk aan te passen.	3	Het wordt een constructie dus er moet omheen gewerkt worden.	7	Zal zelden in de weg zitten, is mogelijk uitbreidbaar
Student	Mogelijkheid tot testen	10	0	Er zal een andere testopstelling nodig zijn.	10	Testopstelling en product beschikbaar	8	Testopstelling beschikbaar, product niet.	7	Er zal een andere testopstelling nodig zijn om waterdoorlatendheid te kunnen testen.	0	Het gaat niet zozeer om een product maar een methode. Deze methode is niet binnen de tijd te ontwikkelen om het te testen.	10	Is te regelen binnen het bedrijf.	8	Is met enkele aanpassingen goed te testen in testopstelling.	4	Erg lastig, geen testopstelling voor beschikbaar.	10	Is goed te testen in de testopstelling
	Materiaal eigenschappen	5	5	Vrij beschikbaar binnen het bedrijf, alleen drainage is iets nieuws	5	Beschikbaar vanuit opleiding en achtergrond.	1	Er is niet duidelijk in beeld welk materiaal deze eigenschappen heeft.	1	Er is niet duidelijk in beeld welk materiaal deze eigenschappen heeft.	5	Geen sprake van	5	Vrij beschikbaar binnen het bedrijf.	4	Goed te achterhalen omdat het een veelgebruikte techniek is.	5	Beschikbaar vanuit opleiding en achtergrond.	2	In deze toepassingsvorm weinig, maar er is veel te testen.
	Bekendheid/affiniteit met het product	8	6	Hoewel de student niet erg bekend is met damwand, is deze informatie niet lastig te vinden door het bedrijf waarvoor wordt gewerkt	6	Goede affiniteit.	0	Geen sprake van	0	Geen sprake van	8	Geen sprake van	4	Hoewel de student niet erg bekend is met damwand, is deze informatie niet lastig te vinden door het bedrijf waarvoor wordt gewerkt	6	Hoewel de student niet erg bekend is met drainage, is deze informatie niet lastig te vinden door het bedrijf waarvoor wordt gewerkt	5	Redelijke affiniteit.	4	Het doel van het materiaal is bekend, affiniteit is minder.
	Veiligheid	8	8	Weinig risico	8	Geen risico's gebonden aan het product	2	Mogelijk een product dat schadelijk kan zijn voor de gezondheid, of warm/heet vervaardigd moet worden.	4	Lastig in te schatten, waarschijnlijk niet.	4	Werken met hitte	8	Weinig risico	8	Weinig risico	5	Betonmortel is bijtend en kan de huid uitdrogen.	7	Kan jeuken bij aanraking met de huid.
	Beschikbaar krijgen van het product	8	6	Damwand moet aangepast worden. Tijdens het onderzoek is dit erg arbeidsintensief	8	Veel zand en grindhandels in Nederland.	2	Lastig in te schatten, waarschijnlijk niet.	2	Lastig in te schatten, waarschijnlijk niet.	8	Geen sprake van	6	Damwand moet aangepast worden. Tijdens het onderzoek is dit erg arbeidsintensief	4	Moet verschaald worden, is niet onmogelijk.	8	Vrij beschikbaar, veel gebruikt bouw materiaal.	8	Overall te koop

	Kosten tijdens onderzoek	5	2	Damwand aanpassen is voor een afstudeeronderzoek erg duur omdat het niet meer bruikbaar is na aanpassing.	4	Laagst mogelijk denkbare kosten.	1	Redelijk hoog, waarschijnlijk voorzieningen nodig om met het product te werken.	4	Geen hoge kosten verwacht van het product. Er zal wel een andere variant van de testopstelling moeten komen.	5	Geen kosten	2	Damwand aanpassen is voor een afstudeeronderzoek erg duur omdat het niet meer bruikbaar is na aanpassing.	4	Kosten zijn niet hoog, er moet wel een kleine pomp aangeschaft worden.	1	Afhankelijk welke facetten getest worden meet er veel aangeschaft worden.	4	Moet aangeschaft worden maar kost niet veel.
	Beschikbare tijd om het product uit te werken	10	2	Bij veel potentie uit MCA is er mogelijkheid voor, in samenwerking met mensen van de werkplaats	8	Varianten onderzoek nodig.	6	Wanneer een product gevonden is, is het haalbaar binnen de beschikbare tijd.	8	Deze punten zijn toegekend in de veronderstelling dat een product beschikbaar is.	0	Onmogelijk binnen de beschikbare tijd.	2	Bij veel potentie uit MCA is er mogelijkheid voor, in samenwerking met mensen van de werkplaats	6	Valt goed te doen in de beschikbare tijd.	2	Zal waarschijnlijk niet naar tevredenheid getest kunnen worden.	10	Er hoeft geen aanpassing aan de testopstelling gedaan te worden.
	Potentie	5	0	Areaal is enorm beperkt	4	Goed te bewijzen maar lastig om overtuigende resultaten te krijgen.		Hoog, er is al veel gewerkt met het verlengen van de kwelweg.		Redelijk groot	1	Laag, ruwe inschatting is dat het moeilijk is de korreldiameter aan te passen d.m.v. hitte.	5	Hoog, ingestuurd naar POV en positieve respons gehad	4	Veel potentie, goed aan te tonen. Alleen geen zekerheid over installatie accuraatheid.	4	Redelijk, echter alleen bij kleine kwelweglengte toename.	5	Uit gesprek met Deltares kwamen enthousiaste reacties.
	Theoretische onderbouwing	3	2	Het verval neemt af doordat een hoge stijghoogte binnendijs gebruikt mag worden.	3	Valt binnen de rekenmogelijkheden van toetsmethode.	3	Valt binnen de rekenmogelijkheden van toetsmethode.	3	Valt binnen de rekenmogelijkheden van toetsmethode.	2	d70 van nieuw gecreëerd materiaal valt te meten, heeft veel extra werk nodig.	3	Moeilijker dan de standaard Sellmeijer, maar goed te doen	3	Valt goed te onderbouwen door het plaatselijk verval aan te tonen.	1	Lastig		Zal hangen op het aantonen van waterdoorlatendheid.
		141		202		118		127		155		180		170		138		193		
		MAX		6		1		9		8		5		3		4		7		2
Bedrijf		64	55		56		31		23		38		59		46		36		58	
Milieu		39	20		34		14		16		30		23		25		19		24	
Betrokkenen		38	20		28		27		27		27		27		32		26		28	
RWS/Waterscappen		37	15		28		23		32		27		26		20		22		33	
Student		62	31		56		23		29		33		45		47		35		50	

Bijlage 4: Plan testopstelling + uitvoering

Wat wordt er getest

Voor mijn afstudeeropdracht wil ik piping op laten treden in een testopstelling, waarbij het mogelijk is een oplossing tegen piping te testen.

Om piping op te laten treden moet een testopstelling gemaakt worden waarin de omstandigheden zoals die onder een dijk voorkomen, na te bootsen. In deze testopstelling wordt getest of de maatregelen werken zoals verwacht.

Het proces piping omvat een aantal fasen. Voor nadere toelichting zie "Bijlage 1: Oriëntatie & Analyse onderzoek". In de testopstelling moet de ontwikkeling van de pipe stilgelegd worden. Dit houdt in dat in de testopstelling een pipe door het kritisch verval groeit, en de toegepaste oplossing dit groeien stopt. Voor mijn afstuderen heb ik een aantal oplossingen bedacht. Deze oplossingen staan in "bijlage 6: Ideeën omschrijving."

Hoe wordt dit getest

Er wordt een testopstelling gemaakt die is gebaseerd op bestaande testopstellingen. Er was ten tijde van de initiatie vrij weinig constructieve informatie beschikbaar over bestaande testopstellingen. Ten tijde van de start van het maken van de testopstelling was er nog geen beschikking over het document 'Backward Erosion Piping, Initiation and progression' door Vera van Beek (van Beek, 2015)). Een standaard ontwerp waarin het mechanisme piping zal optreden is beschikbaar, maar specifieke ontwerp moeilijkheden zijn niet bekend. Er is voor gekozen van te voren in te schatten welke problemen er kunnen ontstaan, en problemen die later voor komen worden tijdens het maken verholpen.

Een van de redenen om aan de slag te gaan zonder goed in beeld te hebben of er problemen konden optreden was een afspraak met Mevrouw Vera van Beek van Deltares. Zij heeft veel ervaring met laboratorium opstellingen voor piping. Wanneer ik tegen een probleem aan zou lopen dat niet voorzien was, had ik de mogelijkheid tijdens mijn afspraak met mevrouw van Beek te vragen hoe zij met dit probleem is omgegaan.

Het is niet gelukt een test te doen vóór mijn gesprek met mevrouw van Beek. Echter was de testopstelling wel zo goed als af. Dit gaf mij wel de mogelijkheid om te bespreken hoe ik mijn testopstelling heb ontworpen. Uit ons gesprek bleek dat mijn methode niet veel afweek van de testopstelling die Deltares heeft en dat zij geen problemen voorzag. Dit was de beste uitkomst die het gesprek had kunnen hebben.

Waarom wordt dit getest

Een onderdeel van mijn afstudeervraag is het bedenken van een innovatieve oplossing tegen piping. Om deze oplossingen te valideren zijn er 2 methoden.

Eén manier is volgens de toetsregels aantonen dat een dijk door de oplossing niet meer pipinggevoelig is. Dit is de analytische methode. Echter biedt de rekenregel niet altijd uitkomst bij het toetsen van een oplossing, omdat met de rekenregels de methode niet volledig gecontroleerd kan worden.

De andere methode, en dat heeft te maken met tekortkomingen in de huidige rekenregels, is het in beeld brengen van piping in een testopstelling, en een oplossing aanbrengen waarbij visueel is waar te nemen dat een oplossing werkt.

Om een methode te testen moest een testopstelling gemaakt worden. Dit document omschrijft hoe dit gedaan is.

Uitgangspunten

Hoe maak je de testopstelling betrouwbaar

Om een testopstelling betrouwbaar te maken, moet er piping optreden onder omstandigheden die bij bestaande dijken in Nederland ook voorkomen.

Dit houdt in dat er een spectrum aan variabelen is die naar Nederlandse maatstaven ingevuld moet worden, te weten:

- Een zandsoort die representatief is voor de Nederlandse bodem;
 - o Overeenkomstig volumegewicht
 - o Overeenkomstige rolweerstandhoek
 - o Overeenkomstige sleepkrachtfactor
 - o Overeenkomstige intrinsieke doorlatendheid
 - o Overeenkomstige d_{70} - percentielwaarde
- Een verval in de testopstelling die overeenkomt met een verval over een representatieve waterkering;
 - o Overeenkomstig drukverval over het zandpakket

Wanneer bovenstaande criteria aanwezig zijn, kan er met de methode van Sellmeijer bepaald worden bij welk verval er piping optreedt. Dit dient als validatietest dat de testopstelling zich gedraagt volgens de rekenregels. De rekenregels zijn naar beste kunnen gevalideerd met de werkelijkheid (Sellmeijer). Desondanks is er een ruime marge tussen het berekend verval en het benodigd verval tijdens een test.

Wanneer de testopstelling zich gedraagt zoals voorspelt, kan aangenomen worden dat zich een waarheidsgetrouwe situatie voor doet.

Wat moet er getest worden in de testopstelling

Het doel van de testopstelling is het testen van mogelijke oplossingen tegen piping. Om dit te doen moet er een testopstelling zijn waarin piping optreedt zoals dit volgens de rekenregels fenomeenomschrijving optreedt, en daarom dus betrouwbaar is.

Welke resultaten moeten meetbaar zijn

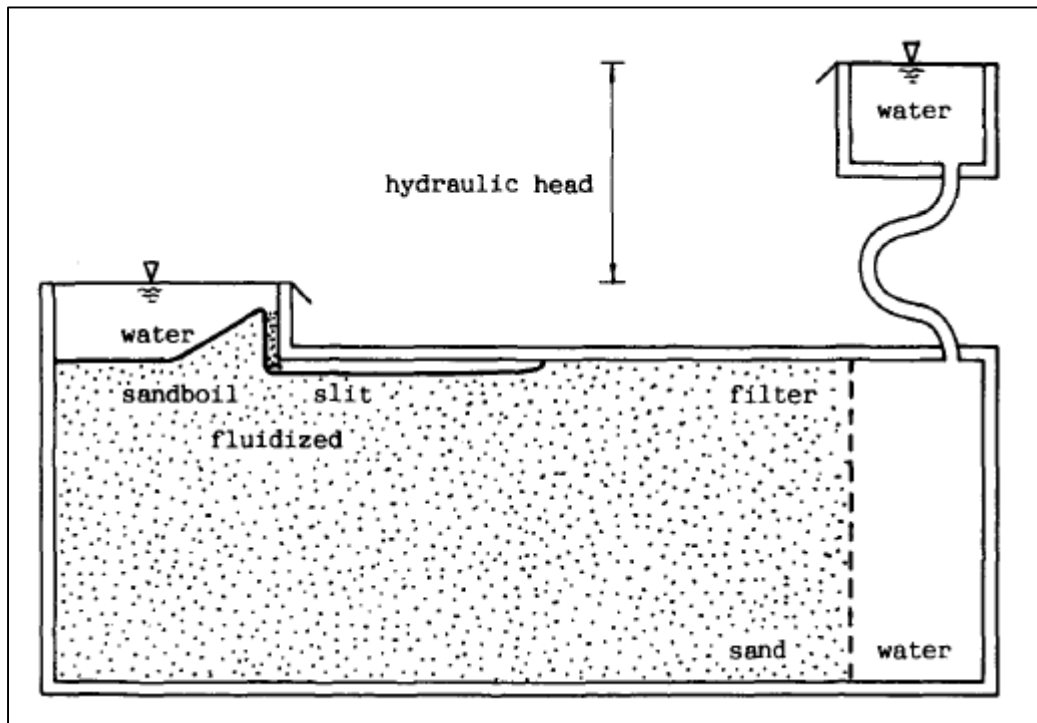
Om betrouwbare resultaten te verkrijgen is het essentieel vat te krijgen op bepaalde parameters.

- Allereerst moet er bekend zijn wat de d_{70} , de permeabiliteit en het soortelijk gewicht van het zand is.
- De stijghoogte vóór het filter, in het zandpakket ('begin' en 'einde') en bij de uitstroom.
- De kwelweglengte en dikte van het zandpakket.

Parameters die niet bekend zijn of niet bepaald kunnen worden, moeten naar beste weten ingeschat worden, benaderd of bepaald worden.

Startontwerp

Het ontwerp waarmee begonnen is, is gebaseerd op foto's van testopstellingen (ing. H.T.J. de Bruijn, 2013) en een schematisch voorstel omschreven door Sellmeijer (Sellmeijer, 1988)



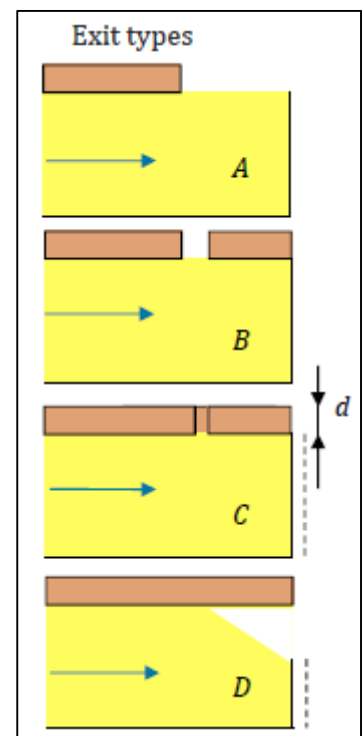
Figuur 1: Een mogelijke testopstelling, zoals voorgesteld door Sellmeijer. (Sellmeijer, 1988)

Er is gekozen voor een piping gevoelige laag dat onder talud naar een schot ligt. (zie Figuur 3: Eigen werk, ontwerp tekening van testopstelling).

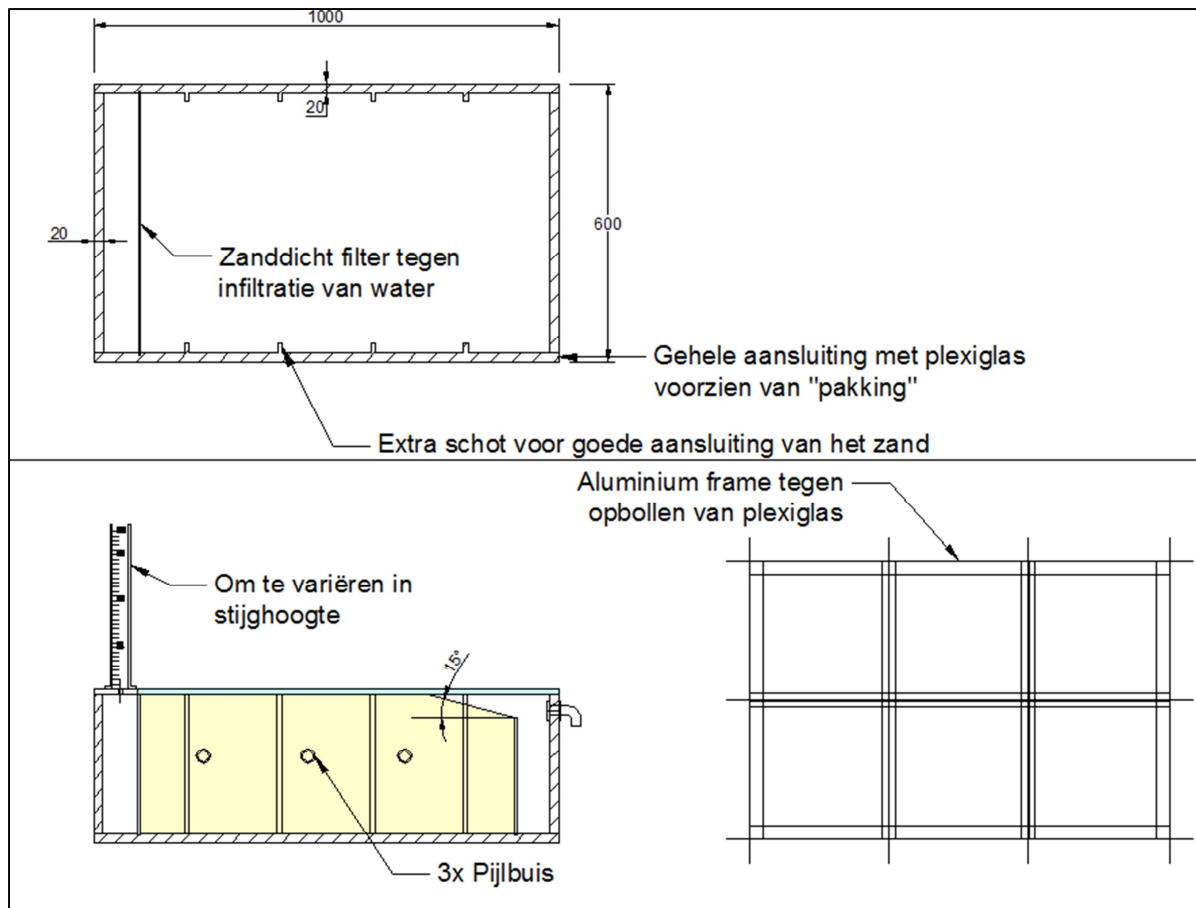
Volgens Vera van Beek (van Beek, 2015) zijn er verschillende mogelijkheden om een piping opstelling te maken. Ten tijde van het ontwerp van de testopstelling waren enkel type A en D bekend. Hoewel type C nog het meest lijkt op de werkelijkheid wanneer er opbarsten optreedt, was toen niet bekend of dit exit type als een 'gaatje' in het (plexi)glas toegepast kon worden.

Er is geen strenge afweging geweest tussen de exit types omdat dat buiten de scope van het onderzoek valt. De oplossingen die getest worden vallen in het stadium 'ontwikkeling van de pipe', dit is dat ook het meest belangrijke onderdeel van de testopstelling.

De keuze voor type D is dat het visualiseren het beste gaat als het water niet op de deksel (glasplaat) uitstroomt. Bij geval D kan een afvoer gebruikt worden die niet op de deksel (glasplaat) uitstroomt.



Figuur 2: Exit types. (van Beek, 2015)



Figuur 3: Eigen werk, ontwerp tekening van testopstelling

Proces

Om te beginnen is er een bak gemaakt. Deze bak moet dienen om de test in uit te voeren. Er is gekozen voor betonplex omdat dit ruimschoots beschikbaar is binnen het bedrijf (Gebr. De Koning maakt zelf ook betonnen constructies). Daarnaast neemt dit hout op de oppervlak geen water op, omdat daar een afwerklaag zit dat waterdicht is. Dit voorkomt uitzetten, krimpen, buigen en verslappen van het hout.

In de bak is een schot gemaakt waartegen het zandpakket komt te liggen en er is een constructie gemaakt voor de stevigheid van het filter. Het hout is geschroefd en de hoeken zijn gekit.



Figuur 4: De bak, met het schot waar het zandpakket onder natuurlijk talud tegenaan komt te liggen.



Figuur 5: De bak, maar dan aan de kant van het filter. Om uitzakken van het zandpakket vanwege een slap filter te voorkomen, is het filter in lagen opgebouwd. Eerst een sterk, grof filter en als laatste een filter met maaswijdte 0,1mm.

Nadat de bak is gemaakt, is er voor gekozen een raamwerk van balkjes omheen te maken. Deze balken zijn op gelijke hoogte met de bovenkant van de bak en dienen ervoor om een deksel op te leggen. Later worden er in deze balken gaten geboord om met bouten het raamwerk en de bak op elkaar te klemmen.



Figuur 6: Balken rondom de bovenrand van de bak. Hier komen later bouten om het deksel op te klemmen.



Figuur 7: Totaal beeld van voorgaande afbeeldingen.

Om een cohesief pakket te imiteren en te kunnen zien wat er aan de bovenkant van de zandlaag gebeurt moest er een transparant deksel op komen. In eerste instantie is er gekozen voor plexiglas, maar later is er voor gekozen glas te gebruiken omdat dit veel stijver is, er is toen ook vanaf gezien om een raamwerk te maken tegen opbollen. De reden dat stijfheid nodig is, is dat er aan de onderzijde van het glas druk op komt waardoor het (plexi) glas zal opbollen. Daardoor kan er ruimte ontstaan tussen het zand en het glas. De verwachting was dat bij glas een verwaarloosbare opbolling zou ontstaan.

Voor het raam, en als deksel, is er een raamwerk gemaakt waarin het raam past en waarin later ook een buis gemaakt kan worden waarmee water toegevoegd kan worden. Het raam is verzonken in het deksel, zodat de kant die op de bak/het zand komt helemaal glad is, dat wil zeggen dat het raamwerk of het glas niet uitsteekt. Dit is gedaan door de latten in te frezen tot de dikte van het raam + extra ruimte voor kit.



Figuur 8: Deksel met freessleuven waar het raam invalt.

Zoals eerder omschreven worden er balken/stevige latten gebruikt om het raamwerk van te maken, omdat het deksel op de bak wordt geklemd.



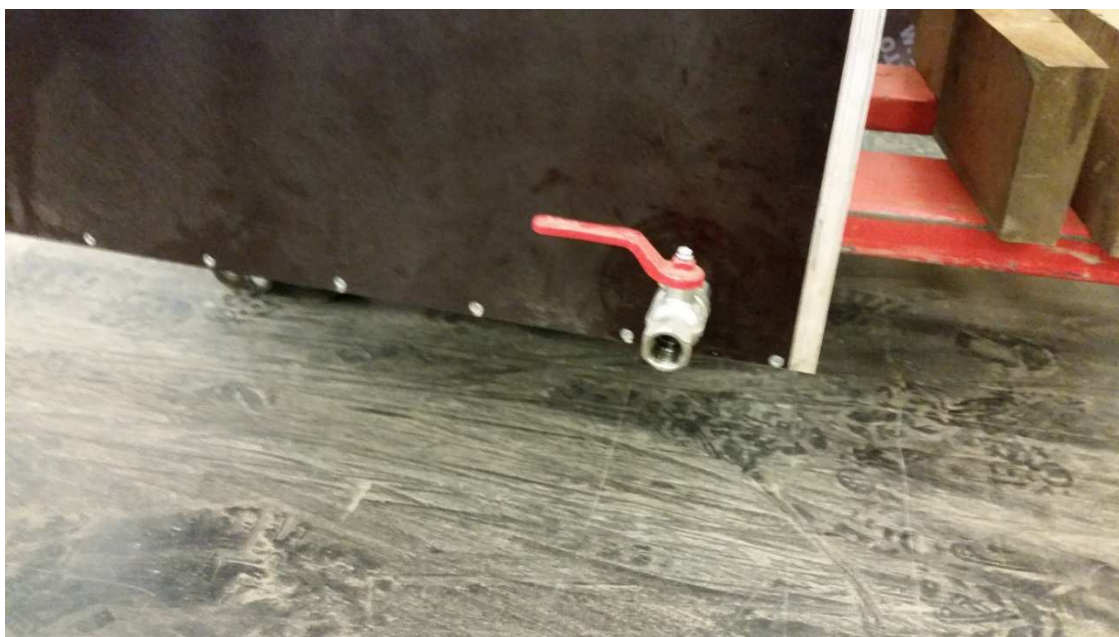
Figuur 9: Op deze foto is goed te zien hoe de balken van de bak en het deksel op elkaar komen. hier komen bouten doorheen om het geheel op elkaar te klemmen.

Om te garanderen dat de bak niet lekt is hij volledig gevuld, en heeft gedurende een weekend (74 uur) vol met water gestaan. Het resultaat was dat er bijna 15 liter had gelect, wat neerkomt op 0.2 liter per uur. Dit is geen hoeveelheid die de testresultaten erg zal beïnvloeden. Bovendien was het zichtbaar waar de bak 'zweette' en zijn er maatregelen getroffen (nieuwe kitlaag en schroeven iets strakker zetten). Later werd in een korte-duur test duidelijk dat er in 6 uur slechts 0,4 liter had gelect, wat neerkomt op ongeveer 0,065 liter per uur. Ter vergelijking: het zou dan 3 uur duren om een drinkglas te vullen.



Figuur 10: Waterdichtheid test.

Omdat met deze afmetingen het gewicht van de bak zo rond de 250 kg (enkel water) tot 380 kilo(gevuld met zand en water) is, is er gekozen om een aftapkraan te installeren waarmee het water eruit kan stromen.



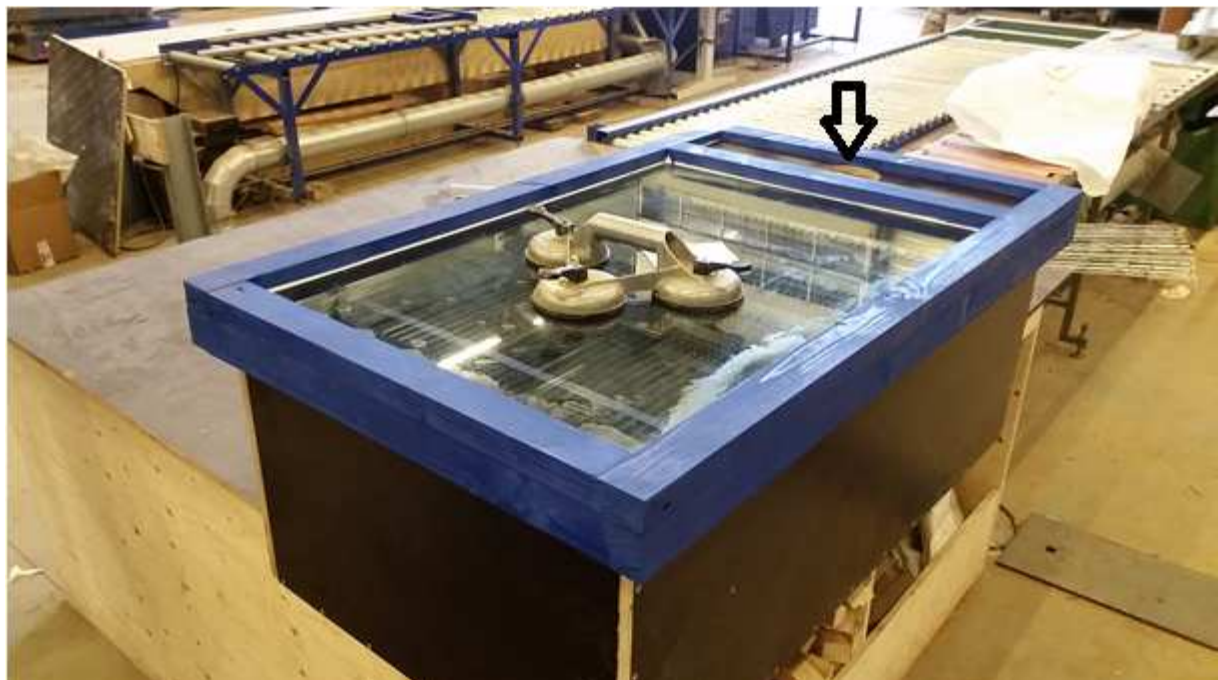
Figuur 11: Aftapkraan

Om het houtwerk iets meer te beschermen werd al het kale hout, dus de kopse kanten van het betonplex en de vuren balken, geverfd in de kleuren van Gebr. De Koning.



Figuur 12: Kaal hout is in de kleuren van het bedrijf geverfd.

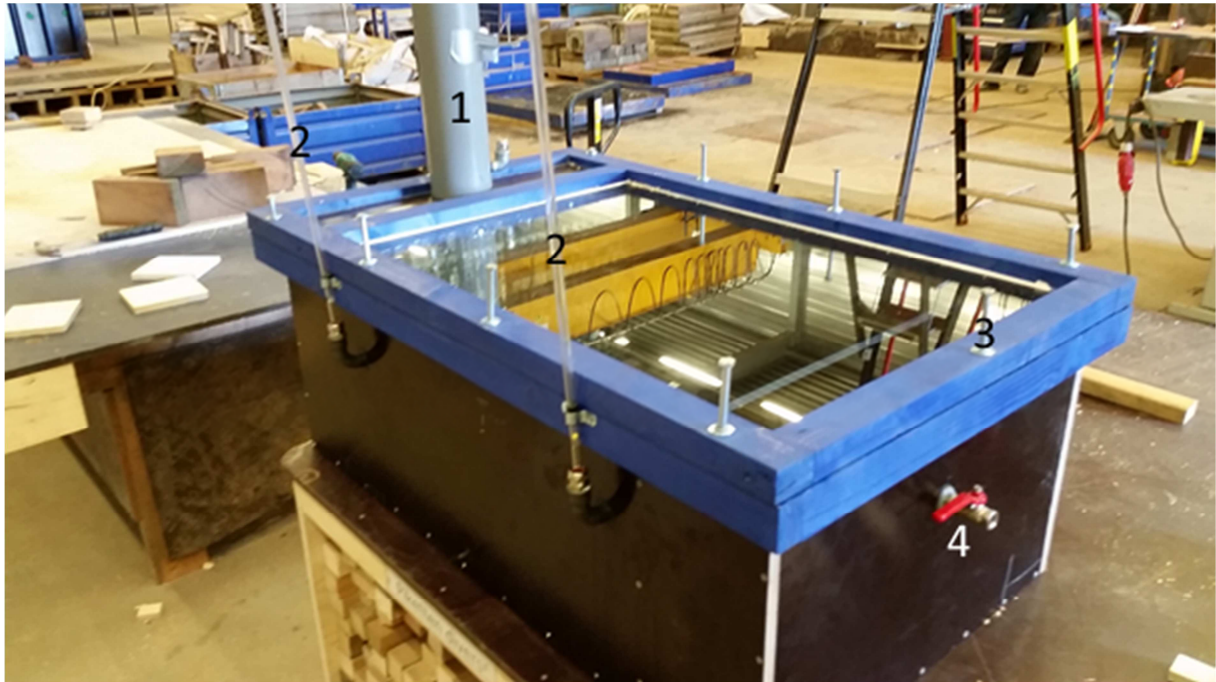
Om het deksel af te maken, is het glas in het deksel bevestigd en is er een ronde uitsparing gemaakt waarin een dikke pvc pijp komt om water toe te voegen en stijghoogte te creëren



Figuur 13: Glas is in het deksel gemonteerd. Er is een uitsparing voor een waterkolom gemaakt. (PVC pijp Ø110)

In de volgende foto zijn een aantal dingen op de bak gemaakt.

1. Ten eerste is de PVC pijp op het deksel gemaakt. Door middel van de PVC pijp kan er water toegevoegd worden, en omdat de pvc pijp uitsteekt is het mogelijk waterdruk te creëren. In de PVC buis is ook een overloop gemaakt, zodat het mogelijk is een constante waterdruk te houden. Al het water dat teveel in de buis komt zal overstromen via de overloop.
2. Er zijn 2 pijlbuisen gemaakt die de stijghoogte in het zandpakket te meten. Hiermee kan ook het verval bepaald worden
3. Er zijn rondom gaten geboord om de bouten in te doen die het deksel op de bak klemmen
4. Er is een kraan aan de 'andere kant' van PVC pijp gemaakt, zodat daar water uit kan stromen. Door middel van een slang kan de stijghoogte aan die zijde van de bak varieëren.



Figuur 14: Het deksel is verder afgemaakt.

Onderin de bak is een fietsband gemaakt die opblaasbaar is. Het ventiel bevindt zich aan de zijkant van de bak. Het idee is dat deze band opgeblazen kan worden om het zand tegen het glas te drukken, aangezien de verwachting was dat een strakke aansluiting bij het sluiten van de bak, dit moeilijk zal gaan.

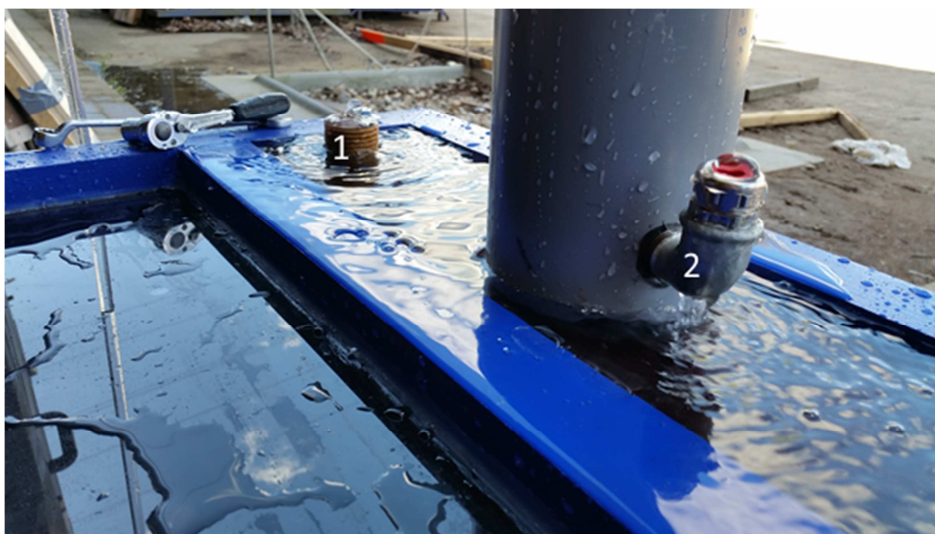


Figuur 15: Foto van de fietsband op de bodem van de bak. Wordt gebruikt om de hoogte in het zandpakket te variëren.

Helaas is er geen foto beschikbaar waarop te zien is wat voor afdichting tussen het raam en de bak zit. In eerste instantie kwam daar een zwelrubben, dat veel weg heeft van een vettige tochtstrip. Later bleek dat dit erg goed bleef plakken (wat niet wenselijk is) op het deksel. Dit leidde ertoe dat het deksel lastig te verwijderen was voor 1 persoon. Er is voor gekozen een 'droge' vorm van dit zwelrubber te gebruiken. Met deze afdichting is de eerste test geslaagd.

Dit was het moment waarop er getest werd hoe waterdicht de bak was, en of het mogelijk is om waterdruk te creëren. Dit is gelukt, maar de bak lekte ongeveer 5 liter per uur via de naden tussen bak en deksel. Dit wordt meegenomen in de testresultaten.

1. Ontluchting; is afsluitbaar. Goed te zien dat er water uitkomt als gevolg van toenemende stijghoogte.
2. De overloop, nu nog zonder pijlbuis, is varieërbaar door er verschillende lengtes pijlbuis in te steken.



Figuur 16: De bak is gevuld met water en er wordt waterkolom gecreëerd in de PVC buis.

In de pijlbuisen was goed te zien dat de waterdruk in de bak toenam.



Figuur 17: Stijghoogte waarneembaar in de peilbuizen.

Bij de eerste test moest blijken of het mogelijk was het zand zo strak mogelijk langs het glas te maken. Als er nog ruimte was kon dit gecompenseerd worden met de fietsband.

De uitkomst was dat het mogelijk is het zand tegen het glas te drukken, maar dat het lastig is alle lucht onder het glas weg te krijgen. In de foto is te zien dat er eerst door middel van strijken een zo vlak mogelijk pakket gemaakt is. Echter zat er lucht opgesloten in de dwarsgleuven. Later zou de bak afgestreken worden in de lengte richtingen, 90 graden gedraaid van hoe het op de foto te zien is. De bovenste laag (enkele centimeters) werd nog niet verzadigd, waardoor de lucht niet meer opgesloten zou zitten en er een egaler oppervlak ontstaat. Bij deze test lukte het niet om piping te laten optreden. De rede was dat het pakket toch niet goed genoeg tegen het glas aanzat. Door de stijghoogte te verhogen trad er alsnog geen piping op.



Figuur 18: Eerste poging het zandpakket zo glad mogelijk te maken. Het afstrijken gebeurt later al veel netter.

Bij de tweede test was ik voldoende overtuigd dat ik alles onder controle had. Er is toen een bovenlaag van zeer fijn zand aangebracht. Hierop zouden als eerste tekenen van piping te zien moeten zijn. Tevens is op deze foto te zien dat er een zwelrubber tussen het filter en het deksel is aangebracht omdat uit de eerste test bleek dat het water ‘bovenlangs’ schoot.

Na lang en secuur strijken is het gelukt om in droog (Lees: niet verzadigd met water) zand een zeer gladde bovenlaag te maken. Door het zand eerst te verzadigen en dan weer het water af te tappen was er geen sprake meer van zetting tijdens het verzadigen (bij droog zand kan het zijn dat er holle ruimtes achterblijven die bij het verzadigen instorten, hierdoor zou het hele pakket inklinken en niet meer op het glas aansluiten).

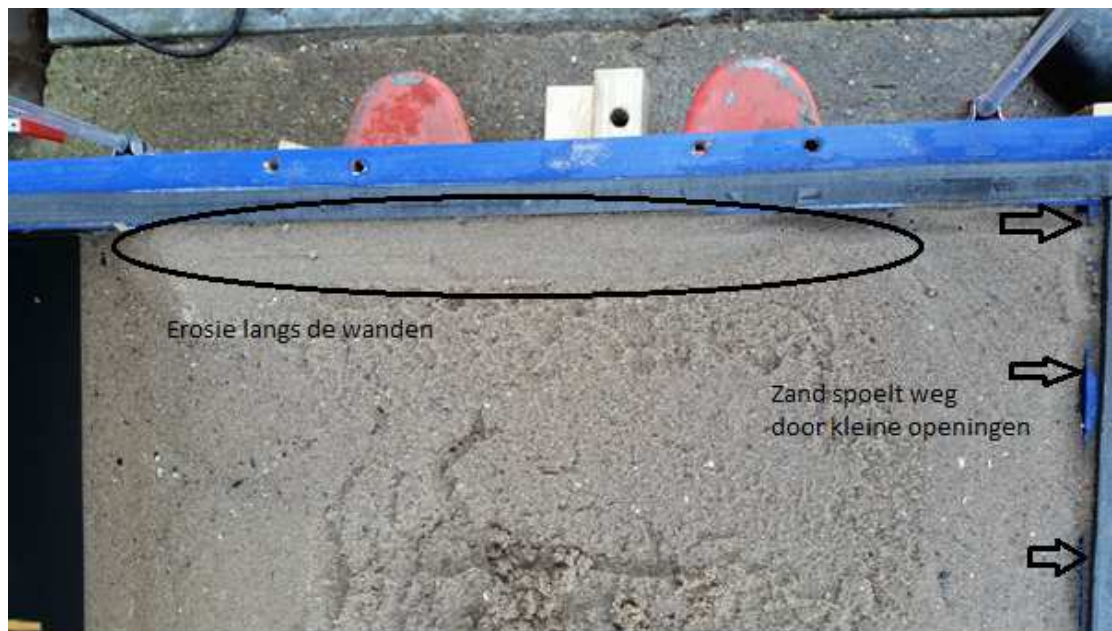


Figuur 19: fijn zand is toegevoegd om een pipe in het midden van de bak te initiëren. Een lager verval zal nodig zijn om in dit zand piping te laten optreden.

Ondanks heel secuur werken was er toch nog sprake van lucht tussen het zand en het glas. Om dit te verwijderen werd de bak schuingezet, waarna de lucht naar het hoogste punt stroomde. Hier werd de bout die het deksel op de bak klemt losgedraaid en kon de lucht ontsnappen.

Vervolgens werd de fietsband opgepompt en kwam het pakket naar boven. Tijdens deze test bleek dat de minimale ruimte tussen het filter en de verstevigingsbalk (dit was gespijkt) zand wegstroomde. Er ontstond voorwaartsschrijdende erosie. Ondanks dat dit niet gewenst was, bleek een oplossing niet moeilijk. Het filter werd met kit én spijkers aan de balk bevestigd, waardoor er geen opening meer was tussen de balk en het filter.

Deze test bracht ook aan het licht dat de zijanten van de bak wel eens te glad konden zijn. Om te voorkomen dat er piping optrad langs de zijkant, is deze toen lichtjes ingesmeerd met lijm en vervolgens met zand bestrooid. Hierdoor klemmen en haken de korrels van het zand, net zoals dit midden in het zand gebeurt, in de zijkant.



Figuur 20: De eerste tests was vooral zeer leerzaam.

De derde test was een succes. Er was duidelijk te zien dat zich een klein kanaaltje ontwikkelde. Dit kanaal vrat zich gedurende 15-20 minuten naar de andere kant van de bak. Er is geen foto gemaakt omdat mijn camera werd gebruikt voor een timelapse. Nadat er sprake was van een volkomen pipe, ging de pipe zich ruimen. Er trad ook een bijkomend effect op, namelijk dat bij het filter kokend zand te zien was, doordat water onder de balk door omhoog schoot de open pipe in. Dit resulteerde in zowel erosie in het kanaal, als erosie langs de rand bij het filter.



Figuur 21: De eerste keer dat het gelukt is piping op te laten treden. Rechts, direct na het filter is de pipe langs het einde gegroeid en is heave waargenomen.

Bij een vierde test bleek het toch meer geluk dan wijsheid dat het zand bij de derde test goed tegen het glas geklemd zat. Er is voor gekozen het afdichtingsrubber te verwijderen en zeer dunne glasband te gebruiken.

Glasband kan ingedrukt worden tot het bijna helemaal plat is. Dit is niet het geval bij de eerder gebruikte afdichtingsstrip. Glasband bleek dé oplossing, het was mogelijk het zand strak met de bovenkant van de bak af te strijken. Als nu het deksel erop gelegd werd was de tussenruimte net zo 'dun' als het gecomprimeerde glasband.

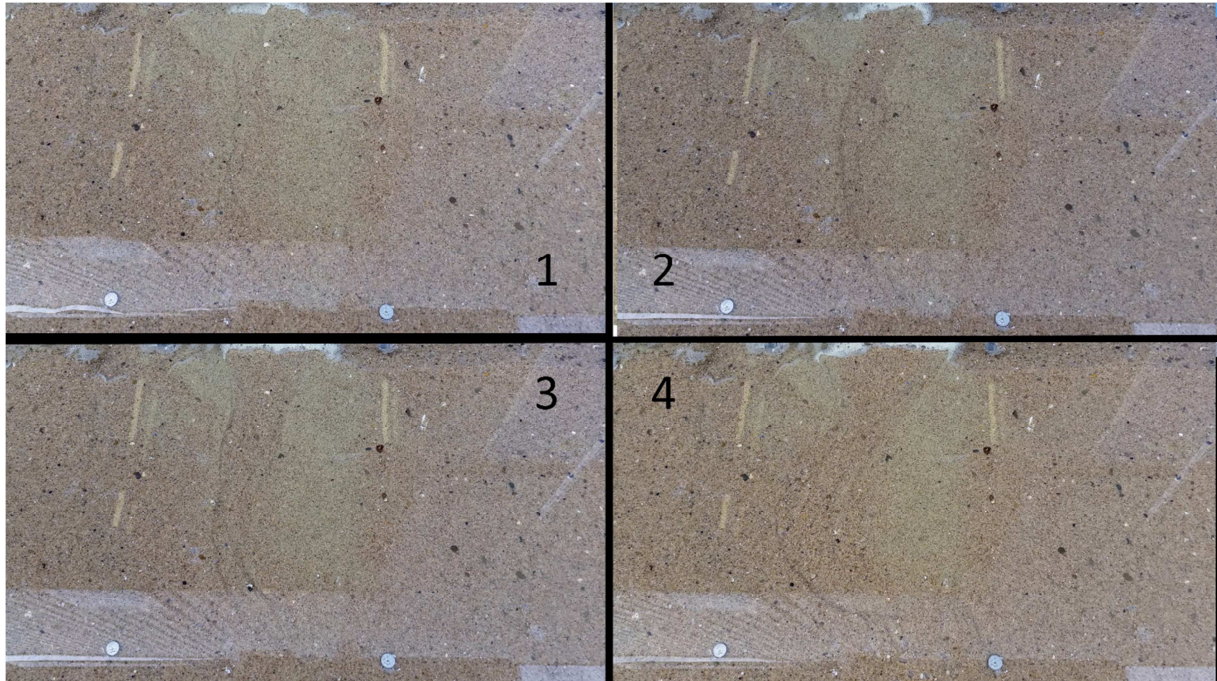
Door de fietsband op te pompen werd het zand tegen het deksel geklemd. Tijdens deze poging werd ook een werkende manier gevonden om erachter te komen of het zand geklemd zit.

Als het zand niet geklemd zit en de bak vol water is, kan rollend zand waargenomen worden als er op het glas gedrukt wordt. Als de fietsband opgepompt wordt, is er geen korreltransport meer te zien als er op het glas gedrukt wordt. Op deze manier kan ook getest worden of het zandpakket overal aansluit alvorens de test wordt uitgevoerd.

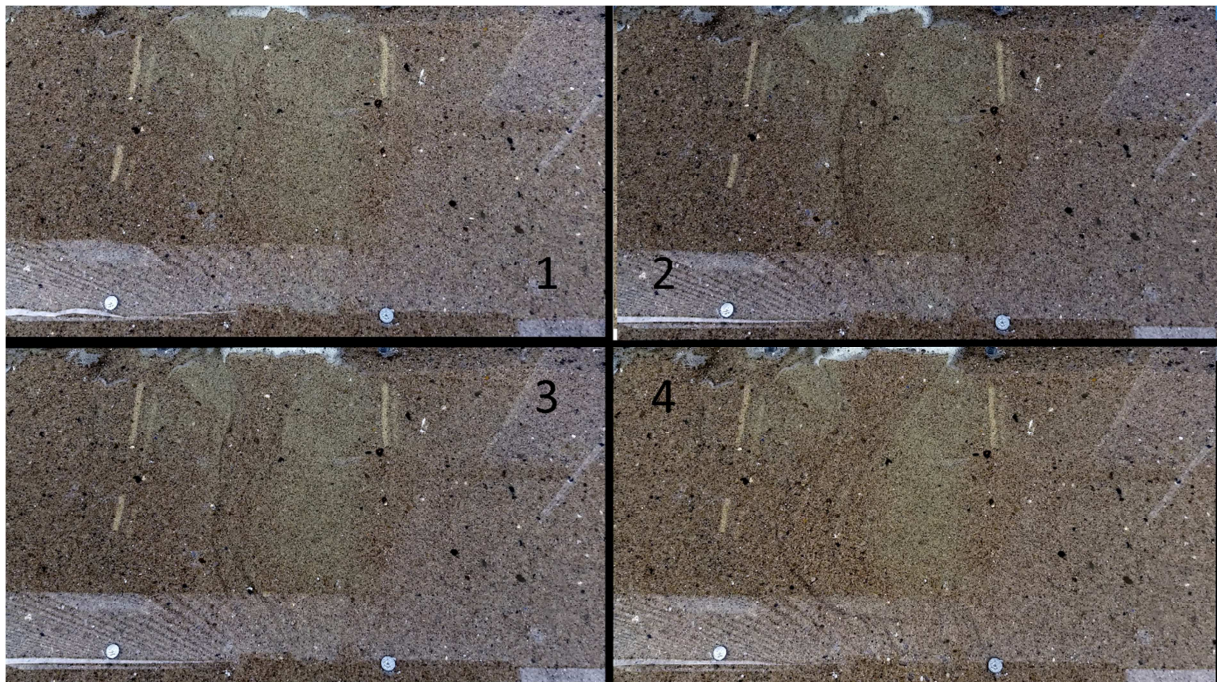
Om zeker te zijn dat het zandpakket geklemd tegen het glas zit wordt, nadat rollende korrels niet meer waargenomen worden, de band nog een paar slagen extra opgepompt.

Omdat er geen foto's zijn van het piping proces, zijn er 4 screenshots uit de beeldopname naast elkaar gezet om het verschil te zien. De tijd tussen een afbeelding scheelt 1 minuut. In het vervolg moet er beter met belichting omgegaan worden om duidelijk de structuur van de kanaaltjes in beeld te brengen.

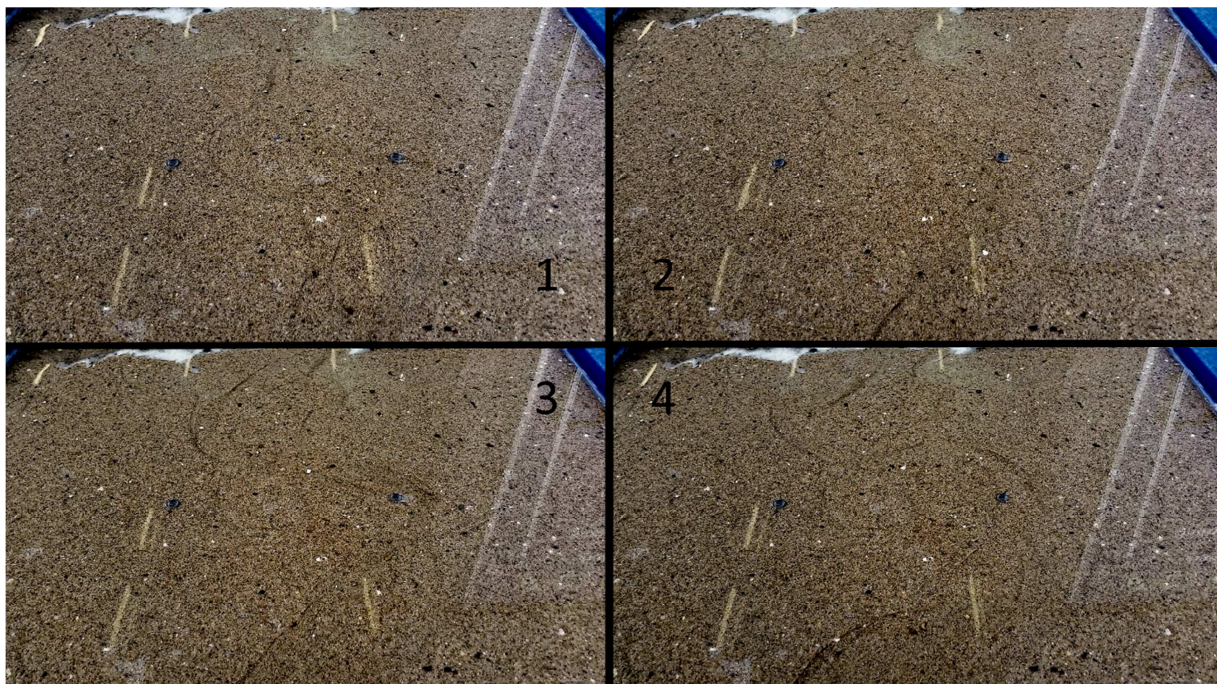
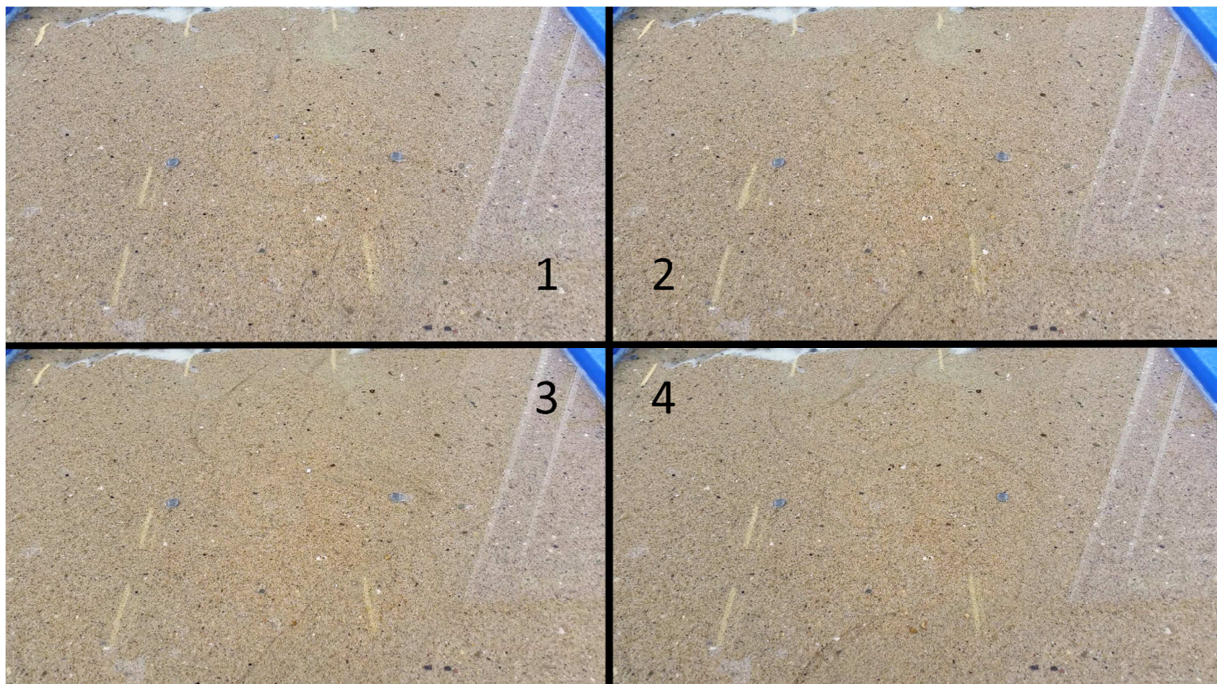
De eerste set screenshots is van het ontstaan van de pipe, de tweede van het ontwikkelen en ruimen van de volkomen pipe.



Door het contrast aan te passen is het allicht beter te zien hoe het kanaaltje zich heeft gevormd.



Ruimen van de pipe.

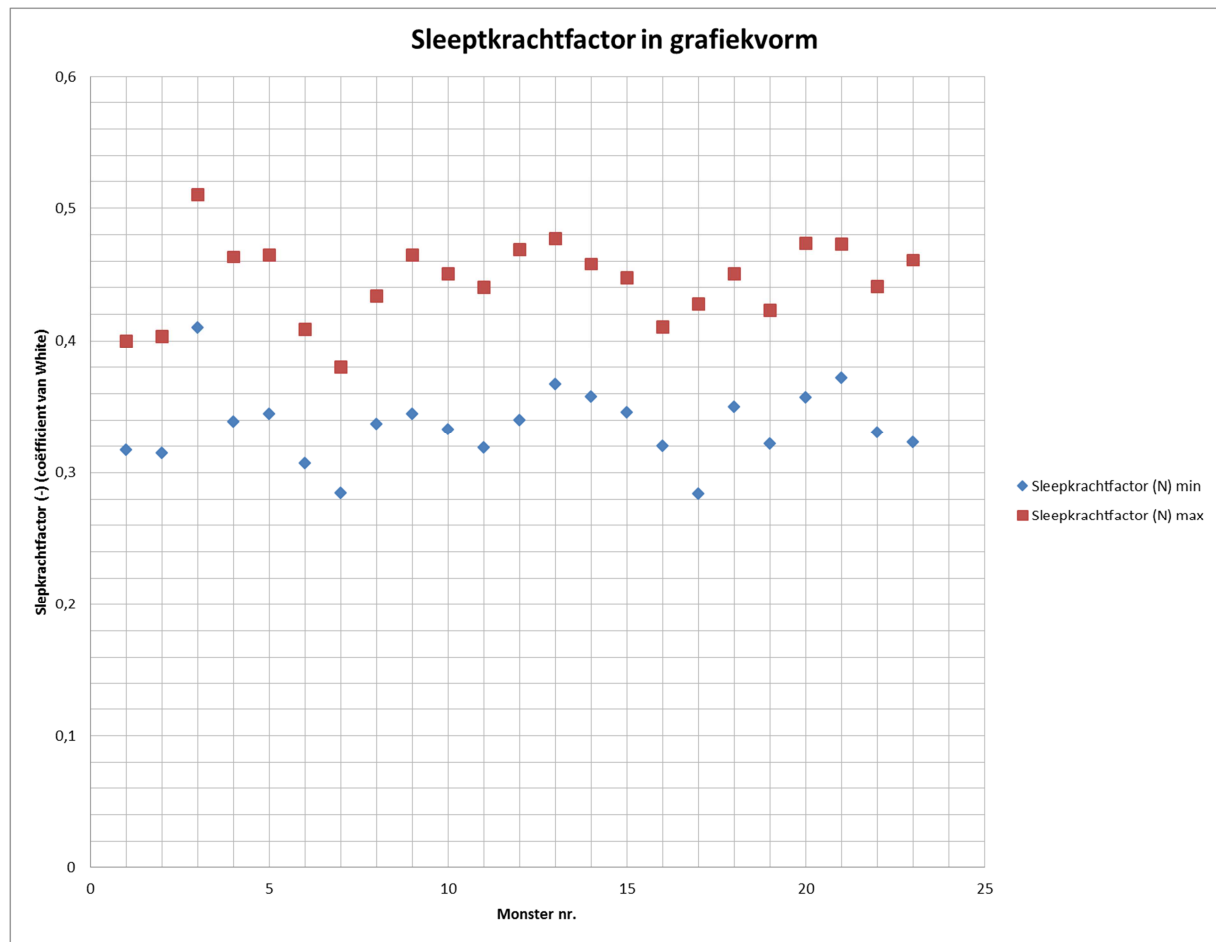


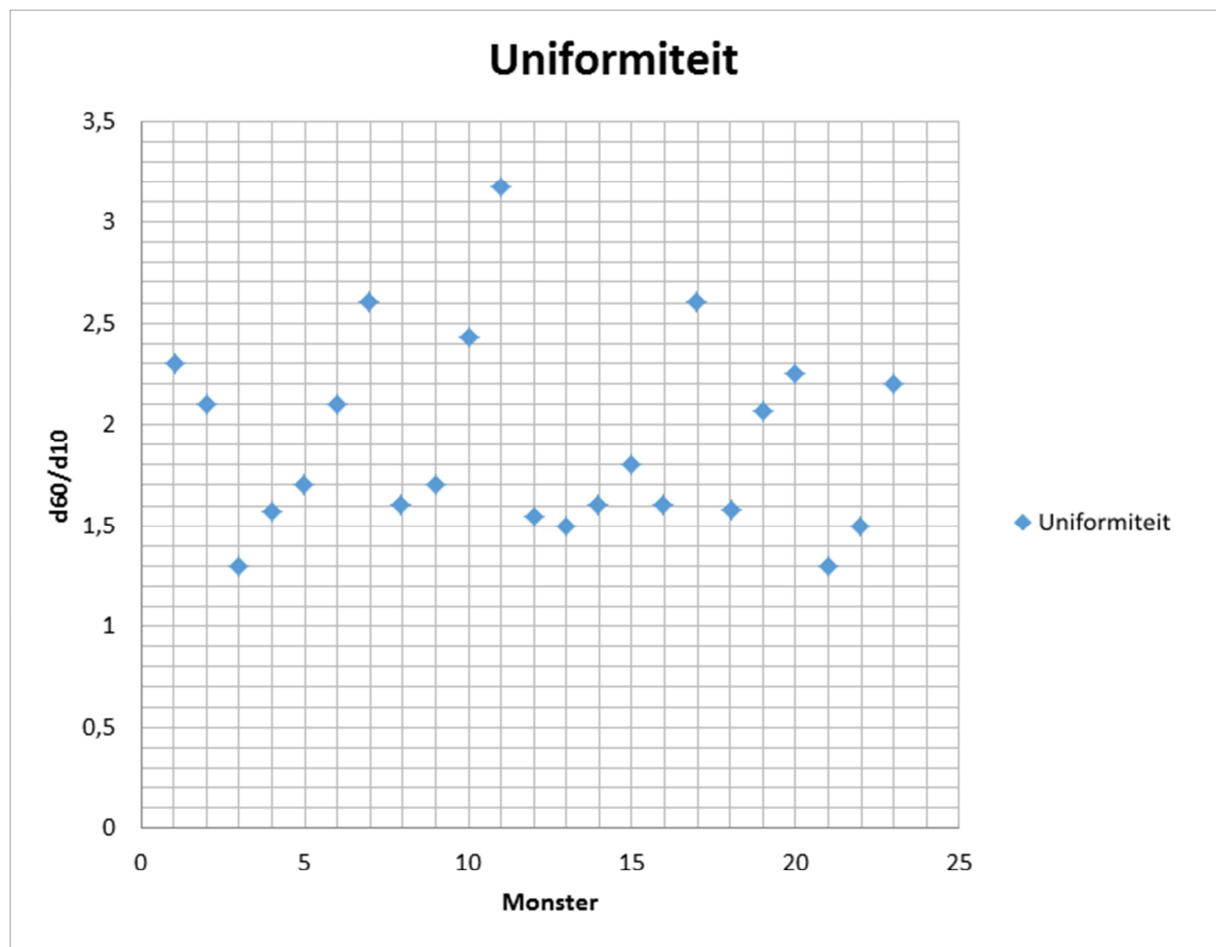
Nu het gelukt is om piping op te laten treden volgens de in de literatuur genoemde waarnemingsfenomenen, kon er getest worden of de maatregelen tegen piping daadwerkelijk werkte.

Bijlage 5: Naslag zandmonsters

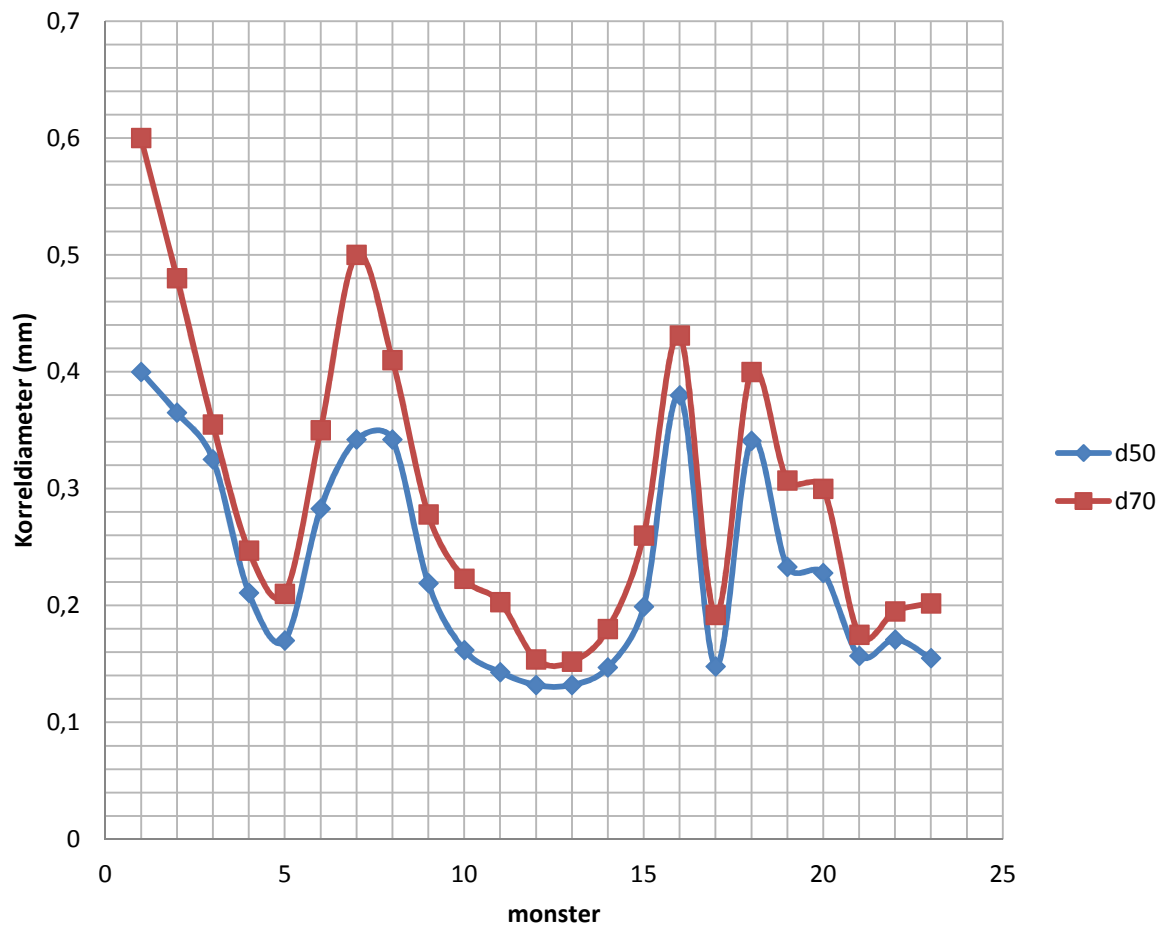
Gegevens zandmonsters volgen ir. V. van Beek (van Beek, 2015).

	Bron:	Zand type	d50	d70	d60/d10	nmin [-]	nmax [-]
1	De Wit (1984)	Rivierzand	0,4	0,6	2,3	0,317	0,4
2	De Wit (1984)	Gezeefd rivier zand	0,365	0,48	2,1	0,315	0,404
3	Hanses (1985)	Sand A	0,325	0,355	1,3	0,41	0,51
4	Silvis (1991)	Marsdiep sand	0,211	0,247	1,57	0,339	0,463
5	Van Beek et al. (2011)	Itterbeck fraction 125-250 µm 1	0,17	0,21	1,7	0,345	0,465
6	Van Beek et al. (2011)	Itterbeck fraction 333 µm	0,283	0,35	2,1	0,307	0,409
7	Van Beek et al. (2011)	Itterbeck fraction 431 µm	0,342	0,5	2,6	0,285	0,38
8	Van Beek et al. (2011)	Itterbeck fraction 330 µm	0,342	0,41	1,6	0,337	0,434
9	Van Essen et al. (2014)	Itterbeck 125-250 µm 2	0,219	0,278	1,71	0,345	0,465
10	Van Essen et al. (2014)	Itterbeck mixture 1*	0,162	0,223	2,43	0,333	0,45
11	Van Essen et al. (2014)	Itterbeck mixture 2**	0,143	0,203	3,17	0,319	0,44
12	Van Beek et al. (2011)	Baskarp 1	0,132	0,154	1,54	0,34	0,469
13	Van Essen et al. (2014)	Baskarp 2	0,132	0,152	1,5	0,367	0,477
14	Van Beek et al. (2011)	Fine Ijkdijk	0,147	0,18	1,6	0,358	0,458
15	Van Beek et al. (2011)	Coarse Ijkdijk	0,199	0,26	1,8	0,346	0,447
16	Van Beek et al. (2011)	Enschede zand	0,38	0,431	1,6	0,32	0,411
17	Van Beek et al. (2011)	Dekzand Nunspeet	0,148	0,192	2,6	0,284	0,428
18	Van Beek et al. (2011)	Hoherstall Waalre	0,341	0,4	1,58	0,35	0,45
19	Van Beek et al. (2011)	Oostelijke rivierenzand	0,233	0,307	2,06	0,322	0,423
20	Van Beek et al. (2011)	Itterbeck Sterksel	0,228	0,3	2,25	0,357	0,474
21	Van Beek et al. (2011)	Itterbeck Scheemda	0,157	0,175	1,3	0,372	0,473
22	Van Beek et al. (2011)	Itterbeck Sandr	0,171	0,195	1,5	0,331	0,441
23	Van Beek et al. (2011)	Itterbeck Boxtel	0,155	0,202	2,2	0,323	0,461
		min	0,132	0,152	1,3	0,284	0,38
		max	0,4	0,6	3,17	0,41	0,51
		avg	0,23	0,30	1,92	0,34	0,44





d50 en d70 van alle monsters



Verwijzingen

van Beek, V. (2015). *Backward Erosion Piping Initiation and Progression*. Delft: van Beek.

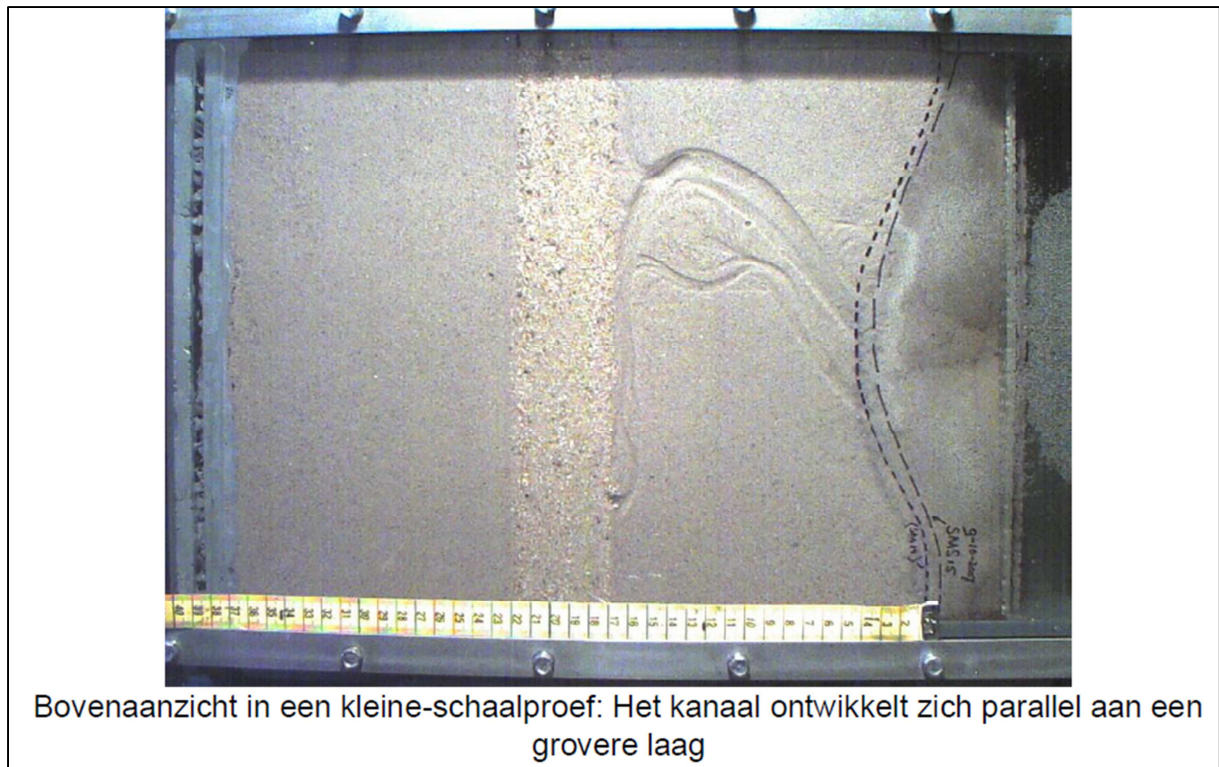
Bijlage 6 Ideeën omschrijving

Tijdens de oriëntatiefase zijn alle aspecten rondom piping in beeld gebracht. Om antwoord te geven op de vraag: "Wat voor nieuwe en innovatieve methode kan aantoonbaar werkend ingezet worden om piping onder dijken tegen te gaan, waarbij de methode concurrerend is op de huidige en toekomstige markt" wordt er gewerkt naar een nieuwe methode.

Onderdeel van dit proces is het bedenken en specificeren van ideeën. Dit document is een verzameldocument met ideeën om piping op een andere manier aan te pakken. Als gevolg van deze ideeën wordt er d.m.v. brainstormen en morfologisch ontwerpen gezocht naar nog meer varianten.

Naam	Draineren met damwand.
Werkingsprincipe	Water uit het watervoerend pakket draineren als de stijghoogte in het watervoerend pakket te hoog wordt door hoge waterstand in de rivier. Hierdoor neemt de stijghoogte(waterdruk) tegen het waterdicht pakket af.
Omschrijving	Piping treedt op wanneer er binnendijs opbarsten van het maaiveld plaatsvindt door te hoge waterdruk onder het afsluitend pakket. Hierdoor kunnen wellen ontstaan, die vervolgens kunnen ontwikkelen tot zandmeevoerende wellen. Door drainage toe te passen in een damwand kan de waterdruk onder het afsluitende pakket gereduceerd worden.
Visie	Vaak wordt er een pipingberm toegepast om het afsluitend pakket zwaarder te maken en opbarsten te voorkomen. Vaak is onderdeel van een piping berm het verleggen van de wetering aan de binnenzijde van de dijk. Deze ingrijpende oplossing kent veel nadelen voor de omgeving en ecologie. Vaak is het simpelweg niet mogelijk door bebouwing. Door de beschoeiing van de wetering drainerend te maken vanaf een bepaalde stijghoogte neemt de maximale stijghoogte onder het watervoerend pakket af, er hoeft geen pipingberm meer toegepast te worden en de wetering wordt voorzien van een beschoeiing met een lange levensduur.
Voordelen	• Toe te passen op plekken waar een pipingberm niet mogelijk is. • Bakwetering wordt verbeterd (bijkomstigheid) • Stijghoogte in de ondergrond is controleerbaar, waardoor nieuwe inzichten omtrent piping in de toekomst verwerkt kunnen worden in een bestaand systeem. • Minder kwel dan bij een drainerende wetering bodem door controleerbaarheid
Nadelen	• Toename van kwel tijdens hoog water • Stijghoogteverloop over de waterkering tot aan de drainage-beschoeiing is controleerbaar, maar afhankelijk van de afstand tussen waterkering en wetering. • Damwand is relatief duur als beschoeiing, daar er ook talud toegepast wordt op grote delen van weteringen. Hierbij geldt wel dat beschoeiing vaak wordt toegepast op plekken waar panden staan, hier is dus overlap met de methode.

Naam	Zwaardere grondfractie in het watervoerend pakket
Werkingsprincipe	Gronddeeltjes die bewegen en uitspoelen laten een holle ruimte over, de pipe. Door de zwaardere grondslag wordt uitspoeling van zand voorkomen. Beweging van materiaal wordt stilgelegd door een hoger kritisch verval.
Omschrijving	Door een geïnjecteerd scherm aan te brengen met een zwaardere korrelfractie, kan er door dit scherm heen geen pipe ontstaan.
Visie	Piping voorkomen door zanduitspoeling tegen te gaan wordt al toegepast in de praktijk. Een voorbeeld hiervan is verticaal zanddicht geotextiel. Door middel van een injectiemethode waarmee een scherm gecreëerd kan worden is deze methode toepasbaar. Zo kan er een uniform 'scherm' geïnjecteerd worden dat voorkomt dat materiaal uitspoelt.
Voordelen	• Concurrerende techniek met andere 'goedkope' technieken • Toepasbaar in complexe situaties doordat er precies gewerkt kan worden. Kabels en leidingen, panden en andere bebouwing/begroeiing hoeft niet te wijken • Geen blijvende aanpassing van het landschap • Met nieuwe inbrengtechniek van Gebr. De Koning is het mogelijk op lastig bereikbare plekken te werken • Er komt een natuurvriendelijk materiaal in de bodem • Waterhuishouding wordt niet verstoord. • Minimale ingreep op de omgeving
Nadelen	• Nieuw werkingsprincipe waarvan de trefzekerheid onzeker van is, d.w.z. dat het lastig is/wordt om een sluitend 'scherm' aan te brengen zonder onderbrekingen en te bewijzen dat dit gelukt is.



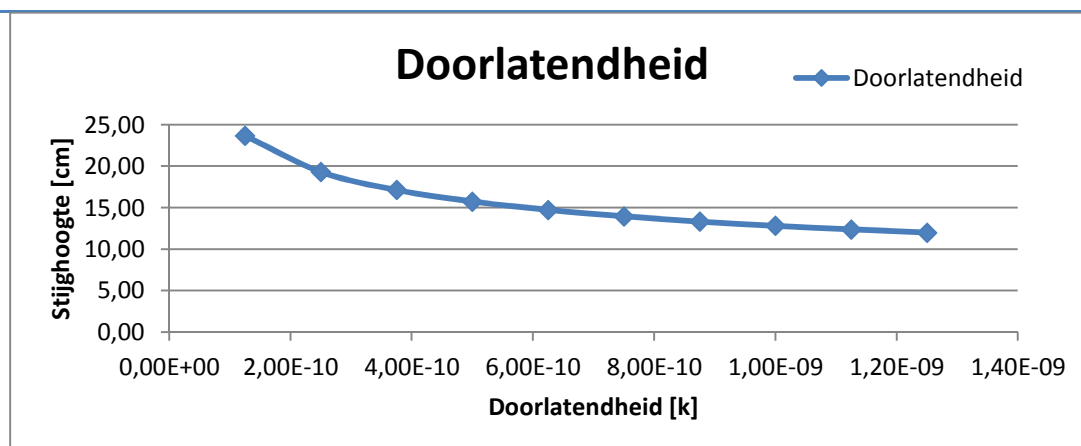
Figuur 1: Uit (ing. H.T.J. de Bruijn, 2013)

Extra informatie:

In het rapport module piping van Veiligheid Nederland in Kaart (Geodelft, 2007) wordt gesproken over de invloed van verschillende fijne en grove lagen op piping. Er wordt veronderstelt dat een afwisseling van grof en fijn het ontwikkelen en groeien van de pipe beïnvloedt doordat er wisselende omstandigheden zijn. Denk met name aan waterdoorlatendheid van het pakket, de slepekrachtfactor en de d_{70} . Dit zou betekenen dat de invloed van de korrel zeker een voordelig effect op de ontwikkeling van de pipe kan hebben.

Naam	Kwelscherm d.m.v. hoog viscoos, niet waterdoorlatend materiaal
Werkingsprincipe	Gronddeeltjes die bewegen en uitspoelen laten een holle ruimte over, de pipe. In het verleden zijn al kwelschermen gebruikt om kwelengtes te laten toenemen. In plaats van een damwand van staal of kunststof is het idee om een hoog viscoos materiaal te injecteren, dat zich niet laat vloeien door de ondergrond maar wel geïnjecteerd kan worden.
Omschrijving	Door een geïnjecteerd scherm aan te brengen met een hoog viscoos materiaal, kan er door dit scherm heen geen pipe ontstaan en neemt de kwelweglengte toe.
Visie	Door middel van een injectiemethode waarmee een scherm gecreëerd kan worden is deze methode toepasbaar. Zo kan er een uniform 'scherm' geïnjecteerd worden waardoor de kwelweglengte toeneemt.
Voordelen	• Concurrerende techniek met andere 'goedkope' technieken • Het is goed te voorspellen hoe een vloeistof met hoge viscositeit zich gedraagt in de ondergrond. • Vloeistof is goed te injecteren, bijvoorbeeld door de temperatuur te verhogen kan een vloeistof vloeibaarder gemaakt worden. • Vloeistof kan samenvloeien waardoor het makkelijker is een uniform en aansluitend scherm te maken. • Minimale ingreep op de omgeving • Met nieuwe inbrengtechniek van Gebr. De Koning is het mogelijk op lastig bereikbare plekken te werken
Nadelen	• Er moet een materiaal gevonden worden dat aan alle eisen voldoet • Nieuw werkingsprincipe waarvan de trefzekerheid onzeker van is, d.w.z. dat het niet gemakkelijk is/wordt om een sluitend 'scherm' aan te brengen zonder onderbrekingen.

Naam	Kwelreductie doormiddel van een slecht waterdoorlatend scherm	
Werkingsprincipe	Gronddeeltjes die bewegen en uitspoelen laten een holle ruimte over, de pipe. Door een slecht waterdoorlatende grondslag wordt uitspoeling voorkomen omdat de stroomsnelheid niet de kritische snelheid kan behalen.	
Omschrijving	Door een geïnjecteerd scherm aan te brengen met een slechte waterdoorlatendheid kan er door dit scherm geen pipe ontstaan omdat de snelheden die benodigd zijn niet behaald kunnen worden.	
Visie	Door middel van een injectiemethode waarmee een scherm gecreëerd kan worden is deze methode toepasbaar. Er wordt een scherm geïnjecteerd dat slecht, maar niet geheel, waterdoorlatend is. De snelheid van het kwelwater door de grond wordt niet kritiek, hierdoor kan er geen spoelen van materiaal plaatsvinden.	
Voordelen	• Concurrerende techniek met andere 'goedkope' technieken • Een natuureigen materiaal zou toegepast kunnen worden • Minimale ingreep op de omgeving • Met nieuwe inbrengtechniek van Gebr. De Koning is het mogelijk op lastig bereikbare plekken te werken	
Nadelen	• Er moet een materiaal gevonden worden dat aan alle eisen voldoet, dit is lastig doordat door secundaire erosie een pipe tot aan het materiaal kan komen, en het materiaal dus niet mag uitspoelen, maar wel bijna impermeabel zijn. • Nieuw werkingsprincipe waarvan de trefzekerheid onzeker van is, d.w.z. dat het niet gemakkelijk is/wordt om een sluitend 'scherm' aan te brengen zonder onderbrekingen. • Secundaire erosie kan mogelijk optreden	
Voorbeeld	Ultrafijn cement reduceert permeabiliteit: http://www.geonet.nl/upload/documents/dossiers/grondverbetering/3.852.betoniek1213.pdf	



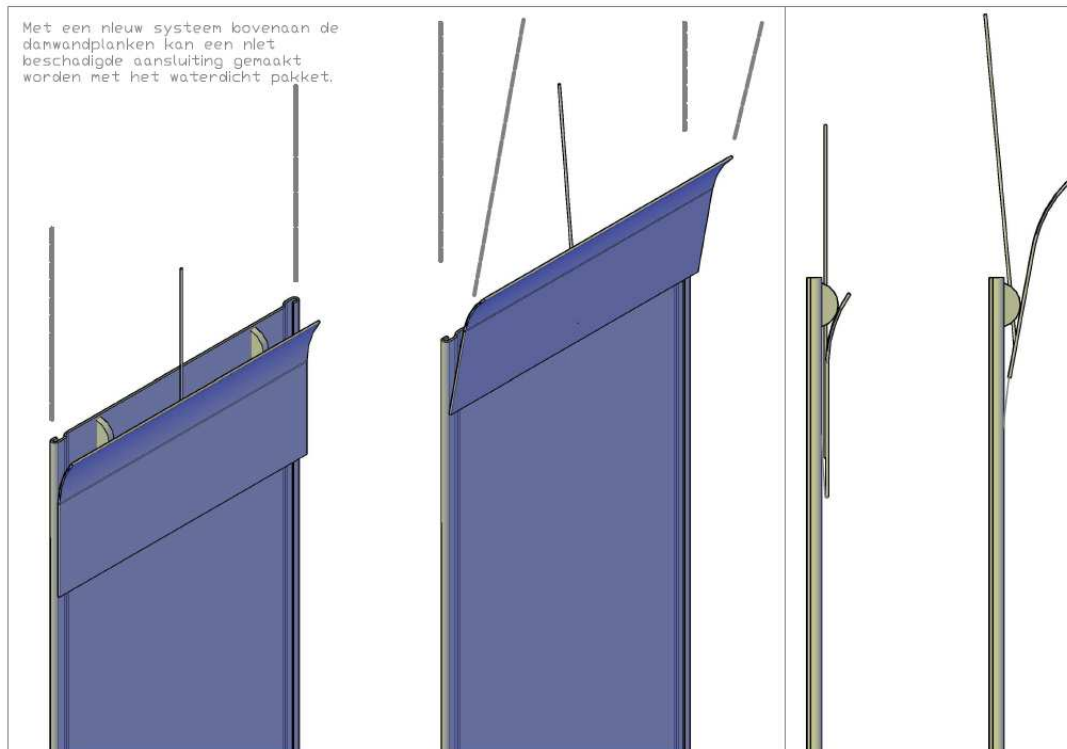
Figuur 2: Invloed van de intrinsieke doorlatendheid van de watervoerende laag op het kritisch verval. Formule geplott naar de situatie in de testopstelling. Afstanden in centimeters.

Naam	Fulguriet maken
Werkingsprincipe	Grotere korrelfractie maken door zand te smelten
Omschrijving	In de natuur komt het voor dat bliksem inslaat op een strand of in de woestijn. Door de hoge temperatuur smelt zand tot fulguriet, een broos, hard materiaal. Omdat het mogelijk is zand te smelten en een nieuwe vorm te geven zou het mogelijk moeten zijn om zand korrels samen te smelten tot een grotere zandfractie.
Visie	Er wordt een langwerpige lans in de grond gedaan, die op de juiste plek het zand laat smelten en zo een grof spoor achterlaat bij het uittrekken.
Voordelen	• Er hoeft geen materiaal ingebracht te worden • Kan over gedaan worden op dezelfde positie • Zou uitstekend kunnen werken op plekken waar toevoer van materiaal moeilijk is
Nadelen	• Alleen bij zand toepasbaar (al is bestaat het watervoerend pakket vaak uit zand) • Kost veel energie • Werkt mogelijk niet in een nat grondpakket • Nog nooit getest, geen vergelijkbaar systeem gevonden

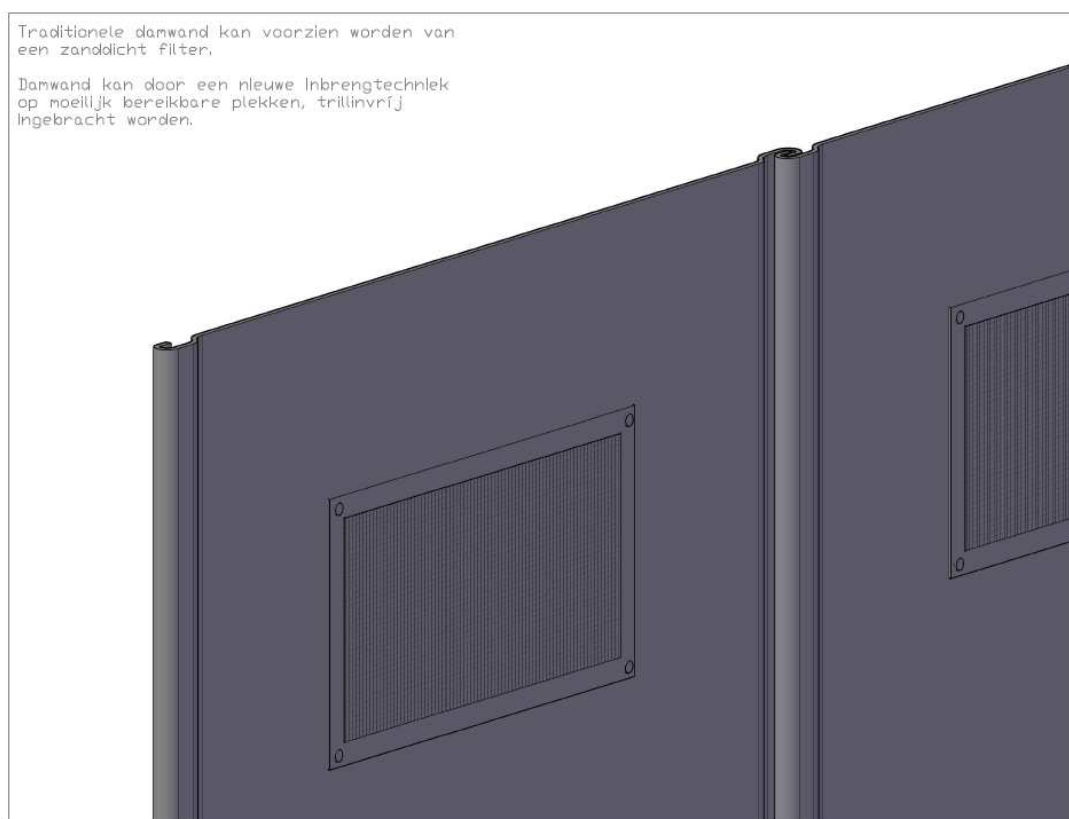


Figuur 3: Fulguriet als gevolg van blikseminslag. Bron: www.pinterest.com

Naam	Damwand met filter (en mogelijk anker)
Werkingsprincipe	Een damwand wordt gebruikt als kwelscherm en tegen afschuiven van het talud. Als er een filter wordt toegepast kan er geen pipe ontstaan omdat materiaal niet kan uitspoelen. Het voorkomen van uitspoelen is een stuk betrouwbaarder met deze vorm van damwand toepassen omdat niet de kwelweg verlengd wordt, maar de mogelijkheid van uitstromen wordt weggenomen.
Omschrijving	Een traditionele damwand constructie tegen macrostabiliteit of als kwelscherm kan worden voorzien van een filterraam. Hiermee wordt de mogelijkheid van uitstromen van materiaal weggenomen en is er minder invloed op de waterhuishouding, daar kwel gewoon kan stromen.
Visie	Veel dijken in Nederland zijn afgekeurd en hebben overlap in faalmechanismen. Daar waar het mogelijk is faal mechanismen te combineren, wordt dat natuurlijk altijd gedaan. Denk bijvoorbeeld aan een steunberm die ook dienst doet al pipingberm, of een constructie die macro instabiliteit én kruinhoogte oplost. In het geval van macro instabiliteit en piping, waar een constructie niet te vermijden is, kan een damwand met filter toegepast worden.
Voordelen	• Robuuster oplossing • Werken met materiaal dat goed voorspelbaar is • Combineren van faalmechanismen • Met nieuwe inbrengtechniek van Gebr. De Koning is het mogelijk op lastig bereikbare plekken te werken • Kostenprofiel wordt gunstig door combinatie van faalmechanismen en goedkoper realiseren
Nadelen	• Dure oplossing

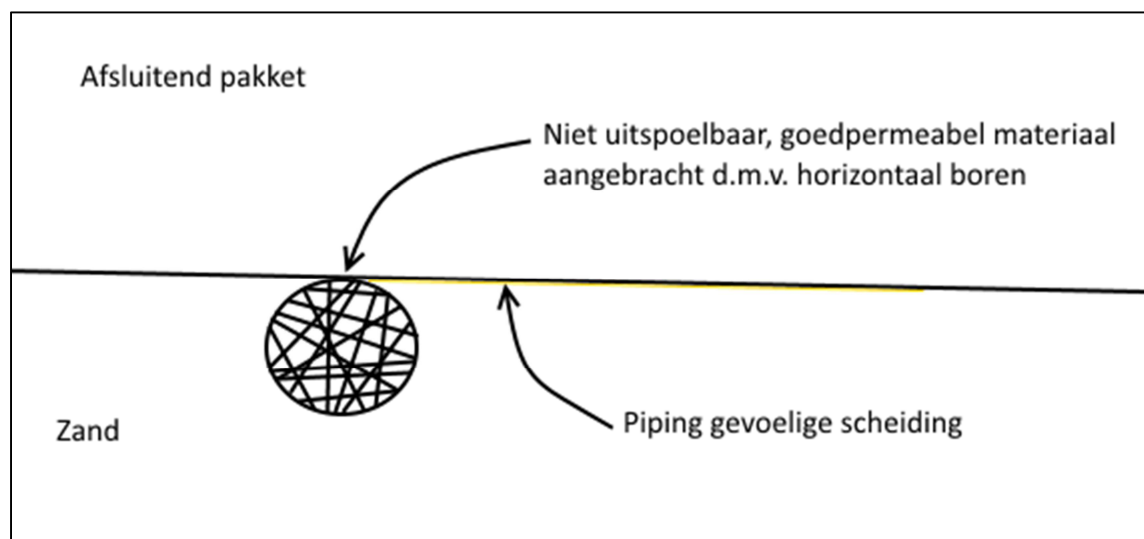


Figuur 4: impressie tekening. Eigen werk.



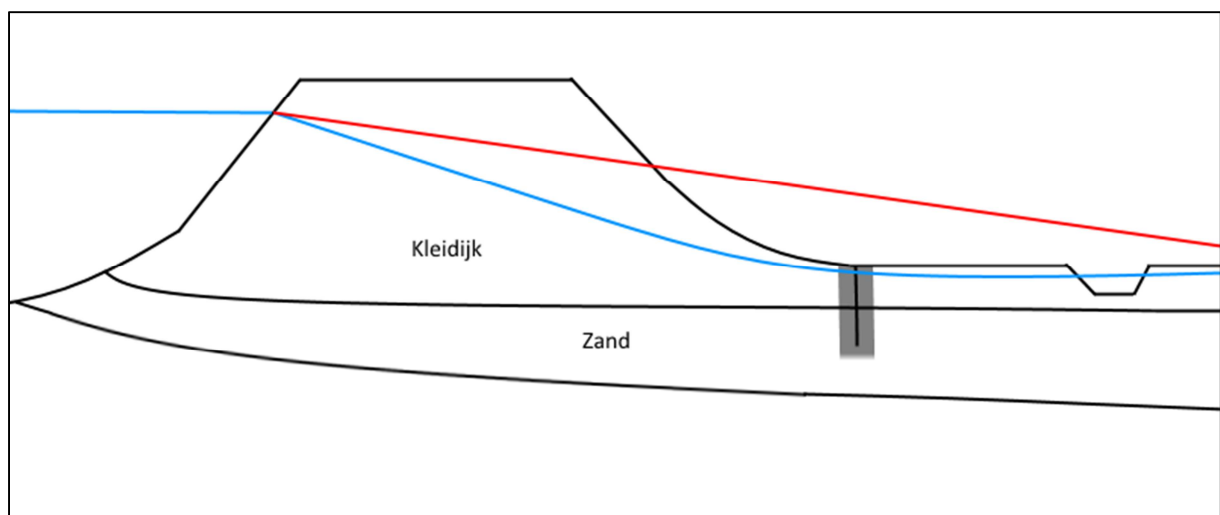
Figuur 5: Impressie tekening. Eigen werk.

Naam	Horizontale boring
Werkingsprincipe	Een materiaal, medium of constructie aanbrengen op de plek waar een pipe zich kan ontwikkelen. Hierdoor stopt de ontwikkeling van een pipe.
Omschrijving	Kabels en leidingen worden soms horizontaal geboord. Dit idee berust op de techniek van horizontaal boren. Een horizontale boring ter plaatse van de scheiding tussen het waterdicht en waterdoorlatend pakket, daar waar een pipe kan optreden, om vervolgens een materiaal, medium of constructie te plaatsen die piping voorkomt, of de ontwikkeling van een pipe stillegt. Met voldoende kennis van de ondergrond is het mogelijk iets aan te brengen dat precies op de scheiding tussen grondlagen ligt.
Visie	Op plekken waar het door bebouwing niet mogelijk is andere methoden toe te passen zou dit een uitkomst kunnen zijn. Anderzijds zou het een oplossing kunnen zijn op plekken waar de dijk over lange stukken dezelfde samenstelling heeft.
Voordelen	• Dit zou een uitstekende oplossing zijn om niet op het maaiveld te hoeven bouwen, bijvoorbeeld bij dorp/stads kernen met veel bebouwing. • Als het kostentechnisch lucratief is kan het toegepast worden op stukken dijk waar veel 'meters' gemaakt kunnen worden. • Minimale impact op de omgeving • Met voldoende voorkennis kan er erg exact gewerkt worden.
Nadelen	• Er is kennis nodig van de ondergrond, die heden ten dagen niet te verkrijgen is • Grote diameters van de boor die het in te brengen materiaal moeten plaatsen, zijn nodig om de precisie die ontbreekt te compenseren



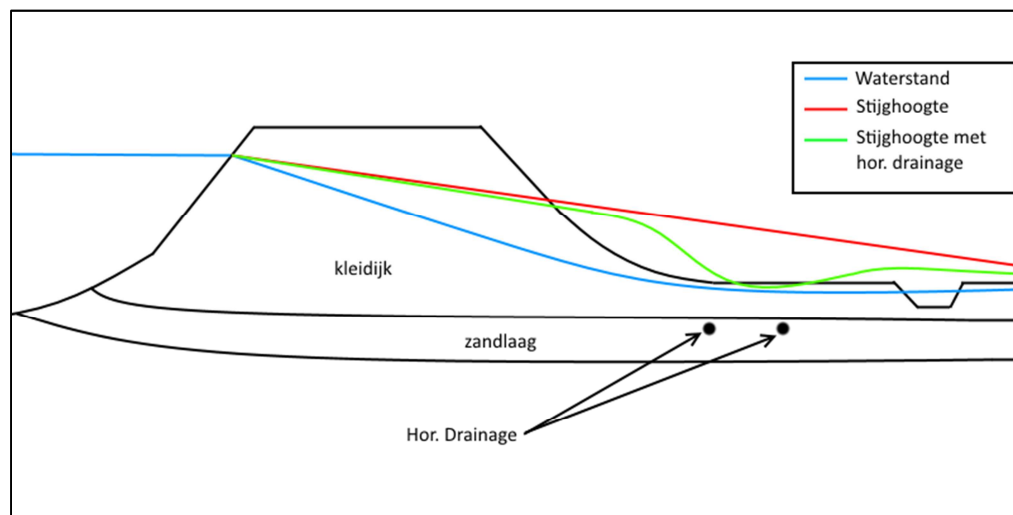
Figuur 6: Impressie tekening. Eigen werk.

Naam	Mini palenwand
Werkingsprincipe	Aanbrengen van een betonscherm door injectielansen die een betonwand maken in het watervoerend pakket. Hierdoor wordt uitstroming van materiaal voorkomen.
Omschrijving	Er wordt een lans ingebracht die in het watervoerend pakket wordt gestoken, en daar beton injecteert om zo een geïnjecteerd lichaam te vormen rondom de lans. Als de tussenruimte goed is, kan er een afsluitend scherm gerealiseerd worden waar kwelstroom niet doorheen kan.
Visie	Op plekken waar een grote machine niet terecht kan om een kwelscherm te plaatsen kan dit een uitkomst bieden. Een machine om een lans in te brengen en een grout pomp zijn kleiner dan een machine om kwelscherm de installeren.
Voordelen	Werken op plekken met beperkte werkruimte Er kan een uniform cementlichaam geïnjecteerd worden
Nadelen	



Figuur 7: Impressie tekening doorsnede van een dijk. Eigen werk.

Naam	Horizontale drainage om zandtransport tegen te gaan
Werkingsprincipe	Zandtransport wordt onmogelijk door afname plaatselijk verval
Omschrijving	Als er horizontale drainage wordt aangebracht in het watervoerend pakket wordt de stijghoogte minder. De afname van plaatselijke stijghoogte voorkomt dat materiaal meegevoerd wordt doordat het verval plaatselijk wegvalt.
Visie	Een van de mogelijkheden die er is om piping tegen te gaan is het niet meer mogelijk maken voor materiaal om uit te spoelen. Dit wordt al gedaan door het gebruik van verticaal zanddicht doek en drainage. Het ene systeem voorkomt fysisch de uitspoeling van zand en het andere zorgt dat de aandrijvende kracht niet aanwezig is.
Voordelen	• Erg goedkoop • gemakkelijk aan te brengen • Veel ervaring met drainage
Nadelen	• Kan nadelen hebben voor andere faal mechanismen • Kan niet bij bebouwing als die verhindert dat een installatie machine niet ter plekke kan komen



Opmerking	Levensduur/LCC van horizontale drainage goed te voorspellen.
LIFECYCLECOST:	“In het eerste jaar moeten de drains, na een periode van flinke waterafvoer, worden doorgespoten met een waterdruk van 10-15 bar aan de spuitkop. Daarna is onder normale omstandigheden één keer in 5 à 10 jaar voldoende. In ijzerrijke gronden zal de frequentie hoger liggen. In sommige situaties zelfs twee maal per jaar. Verstoppingen in drains kunnen worden gelokaliseerd met opsporingsapparatuur.”
Bron:	http://www.dyka.nl/nl/binaries/2010%20TD%20Drainage%202003-03%20nwe%20omslag_tcm29-6914.pdf

Naam	Zanddicht mineraal wol (rockwool e.d.)
Werkingsprincipe	Zandtransport wordt onmogelijk door dat het niet door minerale wol heen kan (filterwerking)
Omschrijving	Minerale wol is een natuurlijk product gemaakt van hoogovenslakken of glas. De minerale wol is een materiaal dat potentie heeft water door te laten en zand te stoppen. Het is een goedkoop materiaal dat berust op hetzelfde werkingsprincipe als zanddicht geotextiel, maar met andere voor en nadelen.
Visie	Een van de mogelijkheden die er is om piping tegen te gaan is het niet meer mogelijk maken voor materiaal om uit te spoelen. Dit wordt al gedaan door het gebruik van verticaal zanddicht doek en drainage. Het ene systeem voorkomt fysisch de uitspoeling van zand en het andere zorgt dat de aandrijvende kracht niet aanwezig is.
Voordelen	• Erg goedkoop • Gemakkelijk aan te brengen • Zetting in de ondergrond hoeft niet te betekenen dat het scheurt, omdat het flexibel materiaal is.
Nadelen	• Kan verzadigd raken met zand waardoor het niet meer permeabel is. • Zanddichtheid is niet bekend.

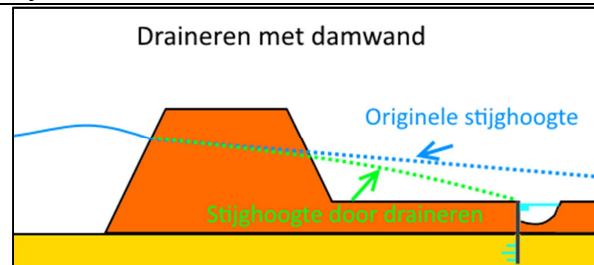
Uit de grove omschrijving is de volgende omschrijving gemaakt voor het onderzoeksrapport:

Draineren met damwand

Door middel van drainage kan de stijghoogte onder een afsluitend pakket gereduceerd worden. Deze variant vindt zijn inpassing door damwand te gebruiken als beschoeiing. In of langs de damwand wordt verticale drainage gebruikt om water uit het watervoerend pakket af te nemen en naar de bakwetering te lozen.

Piping kan niet ontstaan zonder uittrede punt. Door het reduceren van de stijghoogte in het afsluitend pakket wordt opdrijven, en daardoor het ontstaan van een uittredepunt, voorkomen.

Deze oplossing is een situatiegerichte oplossing. De oplossing is vrij risicoloos, maar kent een klein areaal waarbij het toepasbaar zal zijn. De locatie moet geschikt zijn, dat wil zeggen dat er een bakwetering bij de dijk ligt, waar de toepassing van drainerend damwand de stijghoogte naar wens reduceert. De verwachting is dat deze omstandigheden erg specifiek zijn en daarom niet vaak voorkomen.



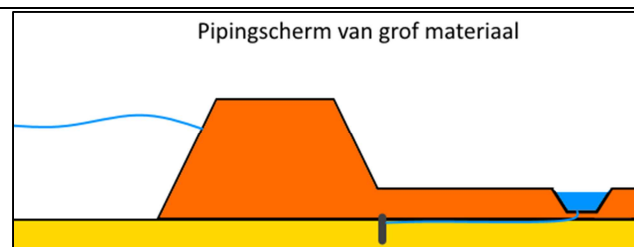
Figuur 1: Impressie hoe de oplossing wordt toegepast in een dijk.

Zwaardere grondfractie in watervoerend pakket

Een sluitend scherm van een grof materiaal, in de lengte van de dijk, kan piping voorkomen. Een pipe zal zich ontwikkelen tot aan dit scherm, waarna de pipe niet verder kan groeien in de richting van de rivier.

De gemiddelde korreldiameter neemt plaatselijk toe, waardoor, volgens Sellmeijer (Sellmeijer, 1988), een hoger verval nodig is. De grondfractie wordt gedimensioneerd op het aanwezig verval om zo uitspoeling te voorkomen.

Deze oplossing is een small-scale oplossing met veel potentieel. Het piping probleem wordt lokaal aangepakt en de oplossing is niet afhankelijk van de omstandigheden rond de dijk. Als een sluitend scherm aangebracht wordt zal elke pipe die zich ontwikkelt na verloop van tijd stilgelegd worden. In het vervolg wordt deze oplossing grofzandfilter genoemd.



Figuur 2: Impressie hoe de oplossing wordt toegepast in een dijk.

Kwelscherm door middel van een hoog viscoos, niet waterdoorlatend materiaal.

Piping voorkomen door de kwelweglengte toe te laten nemen is een bestaande techniek. Door middel van damwanden die in het watervoerend pakket steken wordt de lengte van de kwelweg groter.

Door een dikke vloeistof te injecteren zou de kwelweg ook kunnen toenemen. Als dit middel een sluitend scherm vanaf het afsluitend pakket vormt zal een pipe er onderdoor moeten.

De dikke vloeistof zal niet meer stromen door de stroperigheid. Deze oplossing berust op beproefde methodes. Een injectie zou betekenen dat er met veel kleinere hulpwerken een kwelscherm gemaakt kan worden. Op plekken met weinig ruimte zou dit een goede oplossing zijn.

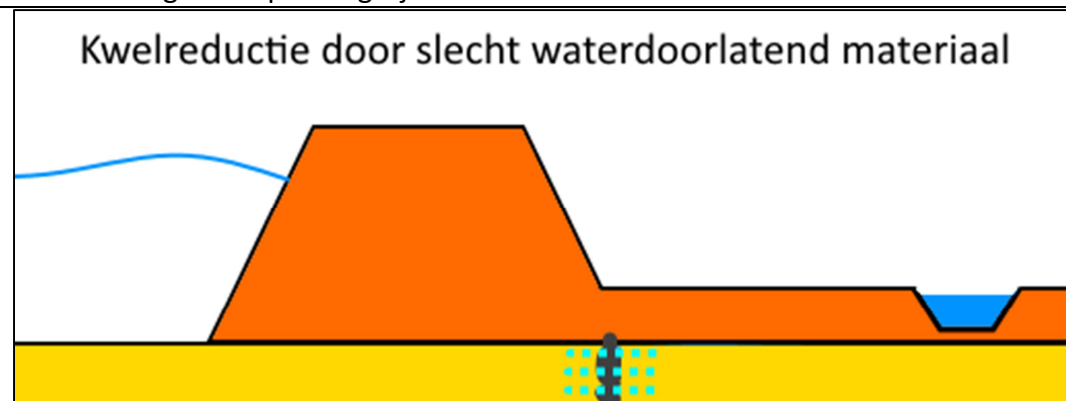


Figuur 3: Impressie hoe de oplossing wordt toegepast in een dijk.

Kwelreductie door middel van slecht waterdoorlatend scherm.

Deze methode berust op injectie. Door de waterdoorlatendheid te verkleinen zal een hoger verval nodig zijn om piping te laten optreden. Als er een piping gevoelige laag aanwezig is die, over de diepte, volledig geïnjecteerd kan worden, zal het benodigd verval volgens Sellmeijer (Sellmeijer, 1988) toenemen.

Deze oplossing berust op beproefde methodes. Een injectie zou betekenen dat er met veel kleinere hulpwerken een oplossing toegepast kan worden. Op plekken met weinig ruimte zou dit een goede oplossing zijn.

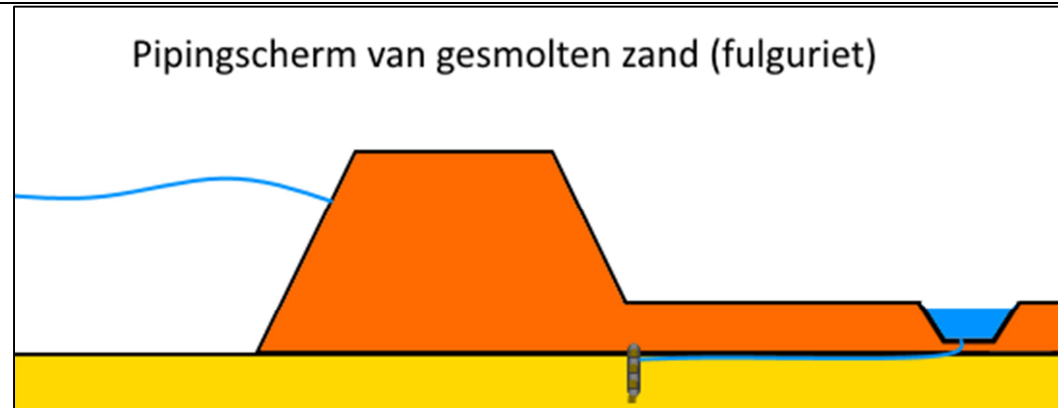


Figuur 4: Impressie hoe de oplossing wordt toegepast in een dijk.

Fulguriet

Fulguriet is een strook gesmolten zand dat ontstaat als gevolg van blikseminslag in een zandpakket. Dit is vaak waar te nemen in een woestijn. Het principe van zand smelten zou een mogelijke toepassing hebben in het tegengaan van piping.

Door zandkorrels te smelten en daardoor aan elkaar te verbinden zou mogelijk een heel grofkorrelig, in elkaar hakend zandscherm gemaakt kunnen worden. Dit zand scherm is dan waterdoorlatend maar door de verhoogde korreldiameter en hoek van inwendige wrijving zal een hoger verval nodig zijn om piping te laten optreden.

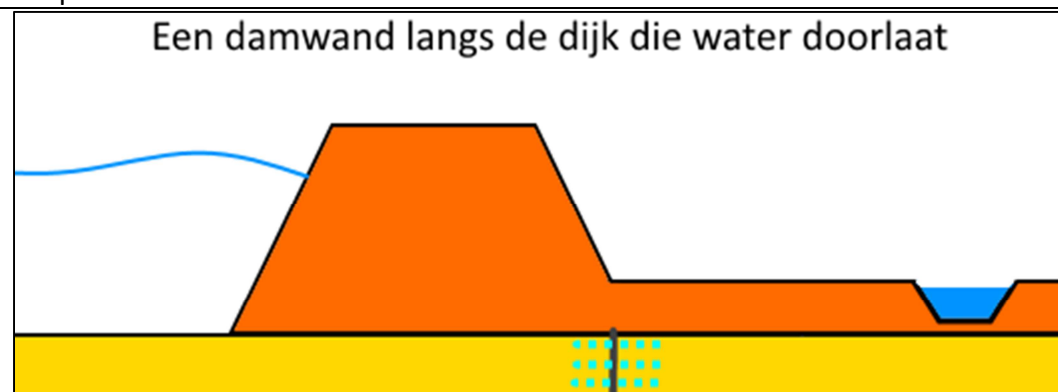


Figuur 5: Impressie hoe de oplossing wordt toegepast in een dijk.

Damwand met filter

Door een damwand met een filter, is er mogelijk geen piping gevoeligheid doordat een filter toegepast kan worden dat water doorlaat en zand zal remmen. Op die manier kan een pipe niet verder ontwikkelen dan tot aan de damwand. Hierdoor wordt het piping proces stilgelegd.

Een damwand toepassen tegen piping wordt al gedaan. Het waterdoorlatend maken is echter nog nooit toegepast. Het niet of minder beïnvloeden van de waterhuishouding kan positieve gevolgen hebben voor de omgeving en de polder. Een damwand zou ook multifunctioneel ingezet kunnen worden doordat het andere faalmechanismen kan aanpakken.



Figuur 6: Impressie hoe de oplossing wordt toegepast in een dijk.

Horizontale boring

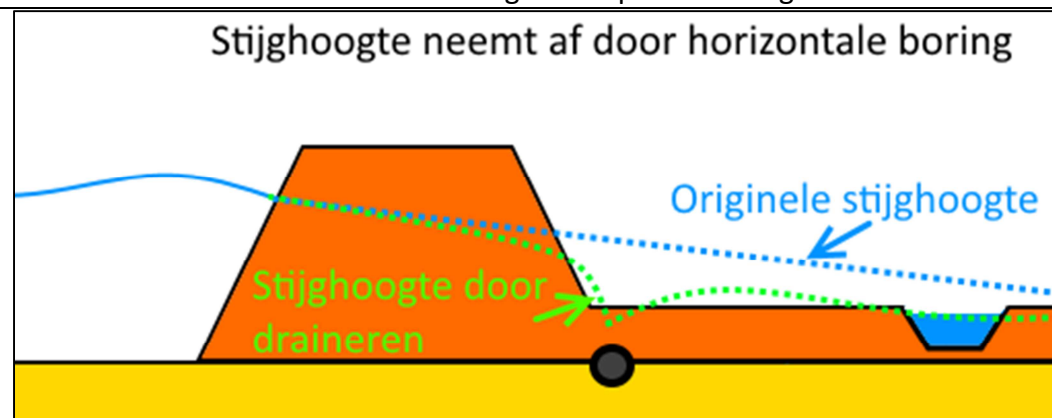
Door een medium in te brengen op de scheiding tussen de afdekkende laag en het watervoerend pakket kan de ontwikkeling van een pipe stilgelegd worden. Dit medium moet zorgen dat het korreltransport wordt stilgelegd. Deze oplossing is een lokale oplossing die erg precies geplaatst moet worden. Als het lukt een medium te vinden dat het korreltransport stillegt, dat via horizontale boring op de scheiding tussen lagen te plaatsen is, kan deze oplossing op lastig te bereiken plekken aangebracht worden. Vanaf afstand kan een maatregel tegen piping ingebracht worden.



Figuur 7: Impressie hoe de oplossing wordt toegepast in een dijk.

Horizontale drainage boren.

Door de verhoogde stijghoogte in het watervoerend pakket te reduceren met horizontale drainage zal piping niet meer optreden. Vergeleken met de andere methode van horizontaal boren, verschilt deze methode sterk. Het berust op het verlagen van de stijghoogte en hoeft niet op de scheiding tussen 2 grondlagen aangebracht te worden. Bij afname van water door horizontale drainage kan opbarsten voorkomen worden doordat de stijghoogte afneemt en het afsluitend pakket niet zal opdrijven. Op lastig bereikbare locaties biedt deze oplossing uitkomst doordat er niet boven de locatie gewerkt hoeft te worden. Tevens is het een oplossing die veel toegepast zou kunnen worden doordat het een bestaande techniek is die relatief goedkoop is en weinig overlast veroorzaakt.

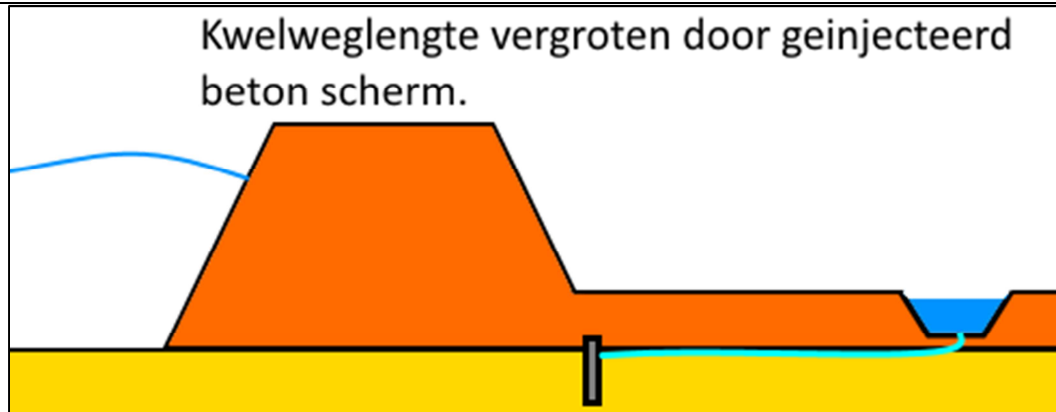


Figuur 8: Impressie hoe de oplossing wordt toegepast in een dijk.

Mini palenwand als kwelscherm

Door met injectielansen een sluitend kwelscherm te maken, ontstaat er een minipalenwand, van vrij in de bodem geïnjecteerd beton. Doordat de kwelweglengte toeneemt, zal het benodigd verval voor piping stijgen.

Door met injectielansen een sluitend scherm te maken zou met klein materieel een oplossing tegen piping aangebracht kunnen worden. Op deze manier zal op krappe locaties een oplossing toepasbaar zijn.

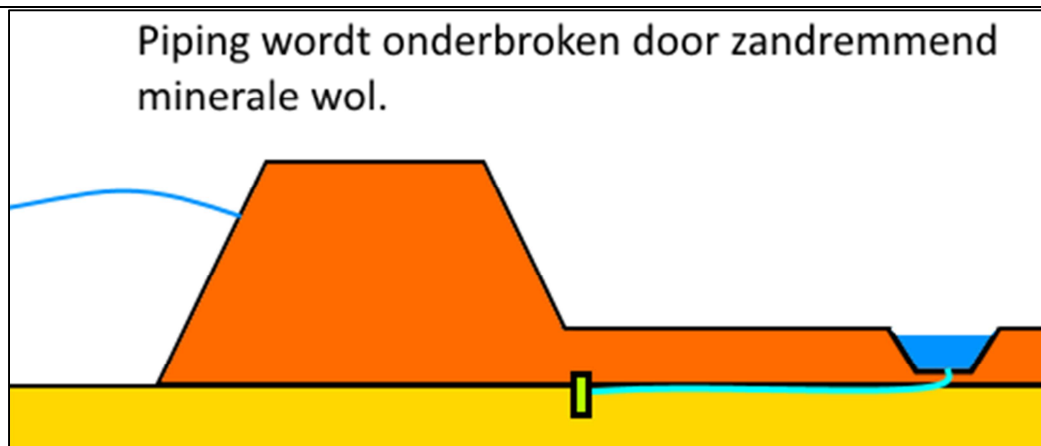


Figuur 9: Impressie hoe de oplossing wordt toegepast in een dijk.

Minerale wol als zand filter.

Door minerale wol als zand filter te gebruiken kan voorkomen worden dat zand uitspoelt in de pipe. Het piping proces zal worden stilgelegd. Hoewel de werking uit tests moet blijken is de verwachting dat minerale wol waterdoorlatend is maar zand zal tegenhouden.

Deze oplossing zal concurrerend zijn met het innovatieve verticaal zanddicht geotextiel. Mogelijk is door een varieerbare dikte van het minerale wol de intrinsieke doorlatendheid ook beïnvloedbaar.



Figuur 10: Impressie hoe de oplossing wordt toegepast in een dijk.