



Drainagesysteem in de verkenning (HWBP POV Piping)

Handreiking

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

17 januari 2017



Project Drainagesysteem in de verkenning
(HWBP POV Piping)
Document Handreiking
Status Definitief
Datum 17 januari 2017
Referentie HTN117-1/17-000.672

Opdrachtgever Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Projectcode HTN117-1
Projectleider ir. G.R. Spaargaren
Projectdirecteur ir. H.J.M.A. Mols

Auteur(s) ir. B. de Groot, ir. H.D.C. Meuwese
Gecontroleerd door ir. G.R. Spaargaren
Goedgekeurd door ir. G.R. Spaargaren

Paraaf



Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Willemskade 19-20
Postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
+31 (0)10 244 28 00
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

RPS advies- en ingenieursbureau B.V.
Elektronicaweg 2
Postbus 5094
2600 GB Delft
+31 (0)15 750 16 00
www.rps.nl
KvK 24161143

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	1
1.1	Doel	1
1.2	Aanleiding	1
1.3	Totstandkoming	2
1.4	Technisch Rapport Drainagetechnieken	2
1.5	Leeswijzer	2
2	KORT OVERZICHT DRAINAGETECHNIEKEN	3
2.1	Doel van drainagetechnieken bij dijkversterkingen	3
2.2	Basissituatie	3
2.3	Technieken	4
3	DOORLOPEN VERKENNINGFASE	7
3.1	Start	7
3.2	Analyse	7
3.3	Beoordeling	8
3.3.1	Keuze techniek	8
3.3.2	Dimensionering	11
3.3.3	Uitbreidbaarheid	13
3.3.4	Betrouwbaarheid	13
3.3.5	Inspectie, beheer en onderhoud	13
3.3.6	Juridisch	14
3.3.7	Kosten	15
3.3.8	Toetsbaarheid	15
3.4	Besluit	16
3.5	Vervolg planuitwerkingsfase	17
4	VOORBEELDEN	18
4.1	Ontlaststelsel Jaarsveld, Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, 1999	18
4.1.1	Ontwerp	18
4.1.2	Toetsing	19
4.1.3	Kosten	19

4.2	Ontlaststelsel Opijnen, Waterschap Rivierenland, 2001	19
4.3	Waterontspanners Schoonhovense Veer-Langerak, Waterschap Rivierland, 2015	21
4.3.1	Ontwerp	22
4.3.2	Toetsing	24
4.3.3	Kosten	25
4.4	DMC-buis Veessen, Waterschap Vallei en Veluwe, 2015	25
5	VERVOLG	28
5.1	Rekenhulp	28
5.2	Voorbeelden	28
5.3	Kosten	28
5.4	Toetsing	28
6	REFERENTIES	29
	Laatste pagina	29
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Contactpersonen workshops	3

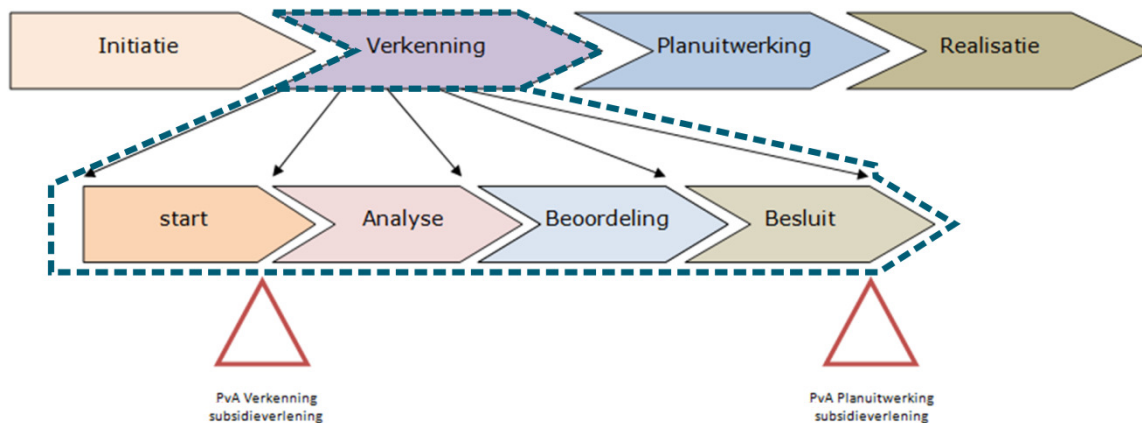
1

INLEIDING

1.1 Doel

Deze handreiking is een hulpmiddel voor alle betrokkenen bij dijkversterkingen om drainagetechnieken als een volwaardig element mee te nemen in de verkenning van dijkversterkingsprojecten. De te doorlopen stappen bij een dijkversterking zijn weergegeven in afbeelding 1.1. Voor de verkenningfase, en de daaronder liggende 4 deelstappen, maakt deze handreiking een objectieve beoordeling mogelijk.

Afbeelding 1.1 Traject voor HWBP-projecten met specifiek de opbouw van de verkenningfase (HWBP 2014)

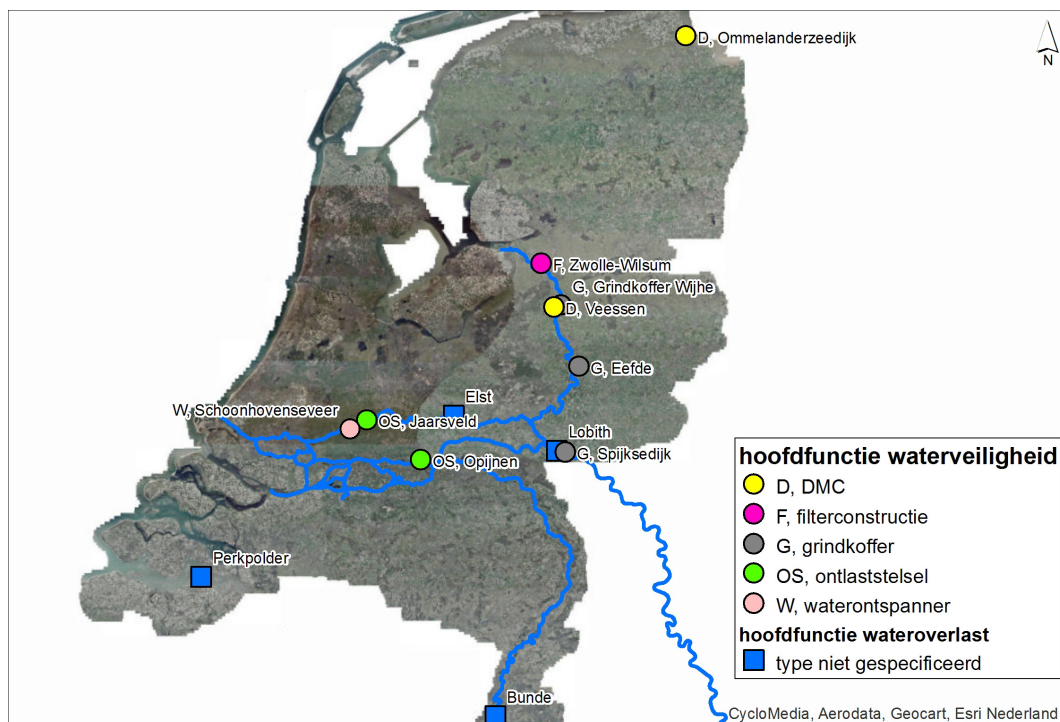


1.2 Aanleiding

Binnen de Projectoverstijgende Verkenning (POV) Piping zijn overheid, marktpartijen en kennisinstellingen samen op zoek naar relevante nieuwe kennis en innovatieve maatregelen met betrekking tot het faalmechanisme piping. Kort gezegd treedt piping op als bij hoog buitenwater de deklaag in het achterland opbarst en er door de stroming van water erosie optreedt van het dijklichaam. Randvoorwaarden zijn een hoge stijghoogte onder de deklaag en een deklaag die opbarst.

Drainagetechnieken kunnen de stijghoogte onder de deklaag reduceren en daarmee een randvoorwaarde voor piping wegnemen. Bij een 10-tal dijkversterkingsprojecten in Nederland is de techniek toegepast, zie afbeelding 1.2. De observatie vanuit de POV Piping is dat de toepassing nog niet breed geaccepteerd is door onder meer onbekendheid met implementatieaspecten zoals afvoer, levensduur, onderhoud en toetsing. Er is meestal onvoldoende tijd om deze aspecten te onderzoeken in de verkenningfase van dijkversterkingsprojecten, waardoor drainagetechnieken uiteindelijk niet worden meegenomen. De ambitie van dit project is dat drainagetechnieken wel een duidelijke plek krijgen binnen mogelijkheden voor dijkversterking.

Afbeelding 1.2 Kaart met bestaande¹ drainagesystemen nabij waterkeringen



1.3 Totstandkoming

De handreiking is opgesteld in het kader van de POV Piping met als penvoerder het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR). Allereerst zijn via een landelijke dialoog de implementatieaspecten in kaart gebracht (bijlage I). Daarna zijn workshops georganiseerd met de waterschappen WSRL, WDOOD, HDSR en WVV. Tijdens de workshops is besproken hoe drainagetechnieken worden beschouwd in de verkenning van dijkversterkingsopgaven, en wat er nodig is om een rationele afweging te maken tijdens de verkenning. De algemene acceptatie van drainagetechnieken kwam tijdens de workshops uiteraard ook aan bod. De dialoog in de workshops en deze handreiking zal een bijdrage leveren aan de acceptatie, omdat de handreiking de vereiste informatie voor de verkenningfase bevat. Hiermee kunnen drainagetechnieken meegenomen worden naast de traditionele techniek van een pipingberm.

1.4 Technisch Rapport Drainagetechnieken

De resultaten van dit project worden via de POV Piping doorgegeven aan het schrijversteam van het technisch rapport 'Drainagetechnieken' dat gezamenlijk door de POV Macrostabieliteit en de POV Piping wordt opgesteld. Het rapport is in 2017 gereed. Het technisch rapport biedt een nadere onderbouwing van ontwerpkeuzes in de stap planuitwerking.

1.5 Leeswijzer

De handreiking is bedoeld voor waterkeringsbeheerders en ontwerpers van dijkversterkingen. Een korte introductie over drainagetechnieken is in hoofdstuk 2 opgenomen. Hoofdstuk 3 bevat de stappen om te doorlopen in de verkenning van een dijkversterkingsproject. Hoofdstuk 4 geeft enkele voorbeeldprojecten weer. Hoofdstuk 5 beschrijft de mogelijke vervolgstappen op dit project.

¹ Op basis van ervaring binnen projectteam.

2

KORT OVERZICHT DRAINAGETECHNIEKEN

Dit hoofdstuk geeft allereerst een beschrijving van de werking van drainagetechnieken bij dijken. Daarna volgt een overzicht van beschikbare drainagetechnieken bij dijken. Het is bedoeld om een eerste indruk te geven van de verschillende mogelijkheden die bestaan. Een uitgebreid overzicht van drainagetechnieken voor pipingproblemen in Nederland is opgenomen in de rapportage van Arcadis (2014).

2.1 Doel van drainagetechnieken bij dijkversterkingen

Drainagetechnieken in een watervoerende laag hebben effect op de opwaartse druk op het maaiveld achter de dijk. Daarmee verlagen ze de opwaartse druk, hiermee verbeteren ze het verticale evenwicht over de deklaag en daarmee verminderen ze de kans op opbarsten en vervolgens piping.

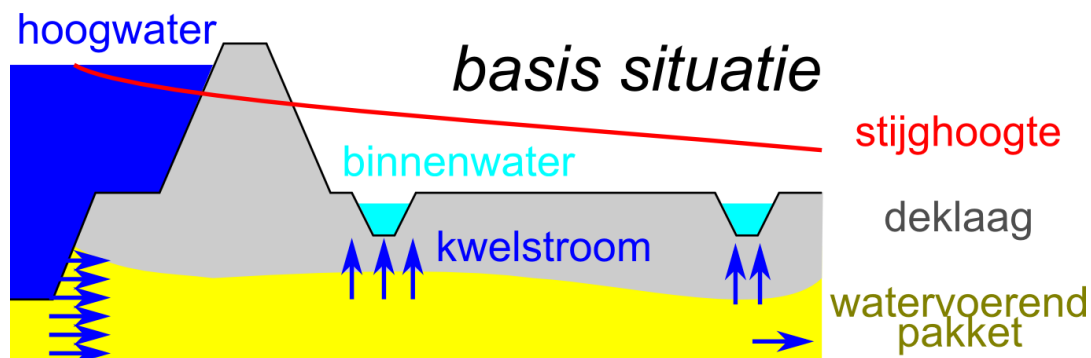
Drainagetechnieken kunnen ook worden toegepast in de dijk zelf, dan verlagen ze de freatische lijn ten behoeve van micro- en macrostabiliteit. Deze toepassing wordt niet verder beschouwd in deze handreiking, omdat dit geen maatregel is voor piping.

Het toepassen van drainagetechnieken bij een dijkversterking voor een piping opgave is maatwerk dat een multidisciplinaire aanpak vereist waarbij de volgende vakgebieden betrokken zijn: waterkeringen, (geo)hydrologie, geotechniek, beheer en onderhoud, ecologie, beleid en juridische zaken.

2.2 Basissituatie

Afbeelding 2.1 geeft een schematisch overzicht van een dijk zonder drainagetechnieken. Links is hoogwater op de rivier weergegeven. Dit infiltreert in het watervoerende pakket (geel) naar het achterland. De rode lijn geeft het stijghoogteverloop weer in het watervoerende pakket. Deze daalt vanaf het intredepunt richting het binnenland. Het aantal blauwe pijlen is een indicatie van de omvang van de grondwaterstroming.

Afbeelding 2.1 Schematische doorsnede dijk en achterland tijdens hoogwater zonder drainagetechnieken



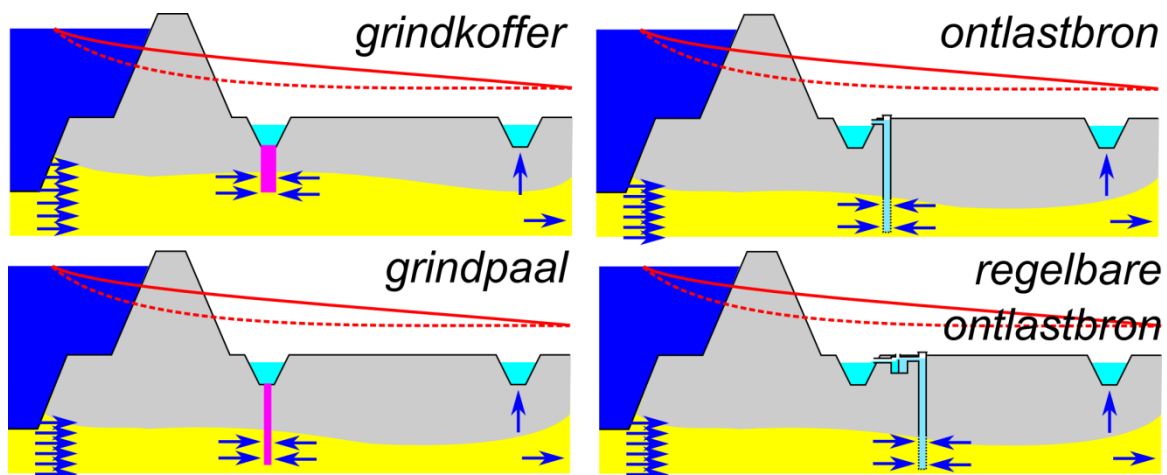
2.3 Technieken

Afbeelding 2.2 geeft eenzelfde doorsnede weer als afbeelding 2.1, maar met toepassing van verschillende drainagetechnieken: grindkoffer, grindpaal, ontlastbron en regelbare ontlastbron. In de volgende kopjes is per drainagetechniek een korte omschrijving gegeven.

Bij toepassing van alle drainagetechnieken geldt:

- toepassing van drainagetechnieken voor piping vereisen een drukverlaging in het watervoerende pakket. Alle systemen zijn er op gericht om alleen de waterdruk te verlagen, en geen zand uit te spoelen;
- de regionale kwelstroom verschuift na aanleg van het systeem: een deel van de kwel die zonder drainagesysteem in het verre achterland plaatsvindt, verschuift naar de locatie van het drainagesysteem. Dit betekent dat de afvoer van het drainagesysteem leidt tot een, beperkte, toename van de kwelstroom, omdat een deel bestaat uit de verschoven regionale kwelstroom;
- een belangrijk onderscheidend argument voor toepassing van een drainagesysteem is het relatief geringe ruimtebeslag in vergelijking met een maatregel als een pipingberm, daarom is dat kenmerk samengevat in tabel 3.3.

Afbeelding 2.2 Schematische doorsnede dijk en achterland tijdens hoogwater met verschillende drainagetechnieken



Grindkoffer

Linksboven in afbeelding 2.2 is met de paarse kleur de grindkoffer weergegeven. Deze wordt over de lengte van de watergang aangebracht. Het grind vormt een verbinding tussen het watervoerende pakket en de watergang, waardoor de kwel daar toeneemt en de stijghoogte afneemt (rode stippellijn). Een grindkoffer wordt over het algemeen in een open ontgraving gerealiseerd, daarom is de aanlegdiepte beperkt. Een grindkoffer moet zodanig worden ontworpen dat hij niet dichtslibt, omdat schoonmaken (regeneratie) niet mogelijk is. Voorbeelden van toepassing van een grindkoffer bij Spijk en Wijhe zijn beschreven in Arcadis (2014, bijlage I).

Grindpaal

Linksonder in afbeelding 2.2 is de grindpaal weergegeven. De oplossing bestaat uit meerdere palen. De verschillen met de grindkoffer zijn dat een grindpaal:

- een puntelement is en een grindkoffer lijnvorming;
- geen beperking kent voor de aanlegdiepte doordat een boorstelling wordt gebruikt.

Ontlastbronnen en -stelsel

De rechter afbeeldingen in afbeelding 2.2 geven ontlastbronnen weer. Afbeelding 2.3 geeft een impressie van het ontlaststelsel in Opijnen. Een doorsnede is opgenomen in paragraaf 4.2. De bron bestaat vanaf maaiveld uit een verticale buis tot de te ontlasten laag, daar is een geperforeerde buis in een omstorting geplaatst. De filterconstructie is eenzelfde techniek als bij drinkwaterwinningen. Een verschil is dat bij een

dijk lozing onder vrij verval mogelijk is en bij drinkwaterwinningen een pomp is geïnstalleerd. De lozing kan direct naast de ontlastbron plaatsvinden of via een stelsel van buizen. Zodoende ontstaat een ontlaststelsel. Via een overlaat kan het afvoerniveau eventueel worden gereguleerd. Een ontlastbron kan tijdens de levensduur dichtslibben. Dit leidt tot een vermindering van de capaciteit. De capaciteit kan worden vergroot door het systeem schoon te maken, dit heet regenereren. Waterontspanner is een handelsnaam voor een ontlastbron. Een voorbeeld voor een ontlaststelsel is opgenomen in paragraaf 4.1, 4.2 en 4.3.

Afbeelding 2.3 Links: ontlastbron in Opijnen; rechts: overlaat in besturingsput in Opijnen (18 januari 2016)



Horizontale drainage

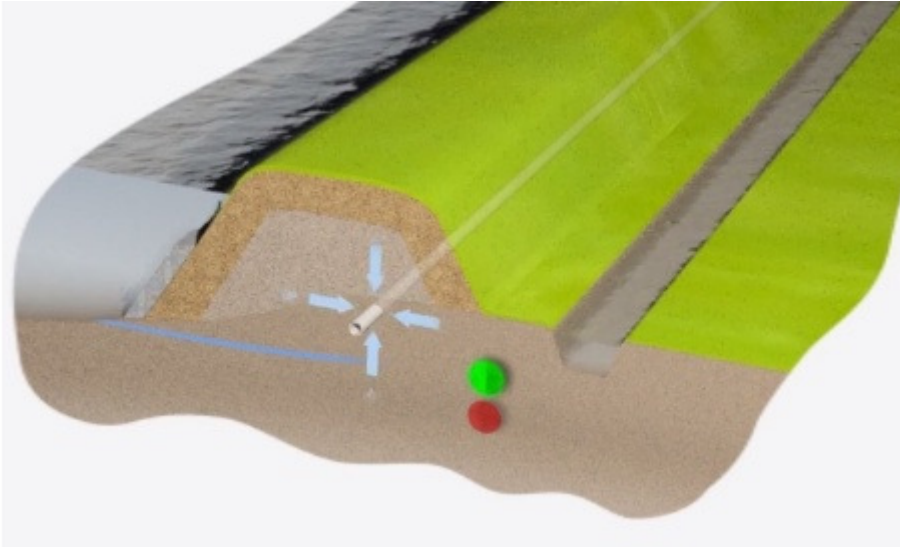
Drainagebuizen kunnen horizontaal in de dijk of ondergrond worden geplaatst, bijvoorbeeld in het pilot project in Veessen (paragraaf 4.4). Een horizontale drainage kan vanaf maaiveld of met een gestuurde boring¹ worden geplaatst. De mogelijkheid om een horizontaal gestuurde boring toe te passen heeft als uniek voordeel dat geen graafwerkzaamheden vereist zijn daar waar het systeem de stijghoogte moet verlagen. Een drainagebuis die dichtslibt, kan net als een ontlastbron worden schoongemaakt (geregeneerd).

Een DMC-systeem (DijkMonitoring- en Conditioneringsysteem) is een handelsnaam van een horizontaal geplaatste drain die is uitgerust met sensoren, waarbij via de sensoren de afwatering van de drain wordt geregeld. Dit systeem heeft zijn oorsprong voor macrostabiliteit en wordt daarvoor in de dijk zelf aangelegd. Een drainagesysteem voor piping wijkt hiervan af doordat het in het achterland wordt aangelegd en in het watervoerende pakket.

Een DMC-systeem ligt in de lengterichting van de dijk en bestaat uit een filterbuis, druksensoren, een pomp en een afvoerleiding. De pomp wordt bediend op basis van informatie over de gemeten waterspanningen in de buis. Voordat een kritieke stijghoogte wordt overschreden pompt het systeem het water af, waardoor de stijghoogte zal dalen en de afdekkende laag niet opbarst en zodoende piping wordt voorkomen. Door toepassing van een pomp kan ook direct op het buitenwater worden geloosd. Dwars op de filterbuis zijn referentiesensoren geïnstalleerd. Deze sensoren nemen de daling van de stijghoogte waar en registreren zo de werking van het systeem. Door de toepassing van sensoren is de werking van het systeem op ieder moment toetsbaar volgens de beheerder (Waterschap Vallei en Veluwe). Een voorbeeld is opgenomen in paragraaf 4.4.

¹ HDDW: Horizontal Directional Drilling Well.

Afbeelding 2.4 Horizontale drainage via een DMC-systeem voor macrostabiliteit (bron: <https://www.dmcstelsysteem.nl/>)



3

DOORLOPEN VERKENNINGFASE

Dit hoofdstuk is een hulpmiddel voor het doorlopen van de 4 stappen uit de verkenningfase van een dijkversterkingsproject zoals beschreven in paragraaf 1.1 en daarmee drainagesystemen volledig te betrekken. Daarom richt dit hoofdstuk zich op de vereiste stappen om de verkenningfase te doorlopen voor drainagesystemen.

Per stap is aangegeven welke keuzes mogelijk zijn en welke raakvlakken er zijn met andere disciplines. Het doel hiervan is om:

- een idee te krijgen van de mogelijkheden van drainagetechnieken, iets wat nu vaak ontbreekt doordat de techniek nog niet op brede schaal is toegepast;
- een volwaardige vergelijking met andere technieken per stap mogelijk te maken.

Om de onderwerpen sprekender te maken is een link gelegd naar de situatie bij het gerealiseerde systeem in Jaarsveld. Dat systeem is geselecteerd omdat het in 2000 is gerealiseerd en er daardoor reeds ruime ervaring is met het beheer en onderhoud. Een beschrijving van het systeem is opgenomen in paragraaf 4.1.

3.1 Start

In deze eerste stap wordt een projectspecifiek plan van aanpak voor de verkenning opgesteld. Voor drainagetechnieken is het nodig hierbij ook aandacht te besteden aan de volgende punten:

- eerste inventarisatie van de aanwezige waarden en belangen;
- gegevens over eerdere versterkingen van de kering;
- kenmerken van de omgeving, zoals:
 - een geohydrologische verkenning, met bijvoorbeeld:
 - de hydrologische invloed van de rivier;
 - de dikte en doorlatendheid van het watervoerend pakket;
 - de aan- of afwezigheid van tussenzandlagen;
 - de beschikbare capaciteit en berging van het binnendijkse watersysteem om de extra afvoer tijdens maatgevende omstandigheden te verwerken (zie tekst boven afbeelding 2.2);
 - de aanwezigheid van bodemverontreinigingen, omdat sanering van bodemverontreinigingen gerealiseerd moet zijn voordat een drainagesysteem kan worden toegepast;
 - beschikbare ruimte op maaiveld en eigendomsituatie bij de binnenteen;
- uitvoeren van aanvullend geotechnisch en geohydrologisch onderzoek als bovenstaande punten onvoldoende bekend zijn.

Het toepassen van drainagetechnieken kunnen relevant zijn bij een dijkontwerpogave op het gebied van piping, macrostabiliteit of beiden. Deze handreiking richt zich op de toepassing van de drainagetechniek bij een piping opgave. Hiermee kan de stijghoogte in de watervoerende lagen worden verlaagd om opbarsten tegen te gaan.

3.2 Analyse

De essentie van de stap analyse is een voorbereiding op de daadwerkelijke beoordeling van drainagetechnieken. In de stap analyse wordt gemotiveerd waarom de alternatieven die onderzocht gaan

worden de meest kansrijke oplossingsrichtingen zijn. Dit betekent dat alle mogelijke oplossingsrichtingen worden geïnventariseerd en onderling vergeleken, waaronder drainagesystemen. Hiervoor kunnen dezelfde afwegingen worden gebruikt als in de volgende stap (beoordeling), maar nu dient dat tot een lager detailniveau te worden uitgewerkt.

3.3 Beoordeling

In deze stap 'beoordeling' worden de kansrijke alternatieven onderzocht en inhoudelijk beoordeeld. Deze beoordeling wordt zodanig uitgevoerd dat de bestuurders daar de keuze voor het voorkeursalternatief op kunnen baseren. Dat betekent dat er oog is voor de bestuurlijke en maatschappelijke context waarbinnen het project zich afspeelt. De beoordeling richt zich ondermeer op technische haalbaarheid, financiën, uitvoerbaarheid, draagvlak, ruimte, milieu en natuur.

De subparagrafen geven richting aan de aandachtspunten voor het onderzoeken en beoordelen van drainagesystemen.

3.3.1 Keuze techniek

Beslismatrices voor zowel drainagetechnieken als andere technieken voor het oplossen van een piping opgave zijn opgesteld in Arcadis (2014). Deze matrices geven een inschatting voor relevante ontwerp oplossingen op basis van een kosteninschatting, afwegings- en toepassingscriteria. De matrices zijn opgesteld voor een dunne deklaag (<2 m, zie tabel 3.1) en een dikkere deklaag (>2 m, tabel 3.2).

Tabel 3.1 Beslismatrix bij een deklaag dunner dan 2 m (Arcadis 2014)

Kwelweglengte tekort	Bebouwing binnen 10 m	Bebouwing 10-20 m	Bebouwing > 20 m
>50 m	pipingscherm amoveren bebouwing DMC	pipingscherm grindkoffer DMC	pipingscherm grindkoffer DMC
20-50 m	pipingscherm amoveren bebouwing voorlandinggraving	pipingscherm grindkoffer	pipingscherm grindkoffer berm
<20 m	voorlandinggraving amoveren bebouwing pipingscherm	voorlandinggraving berm pipingscherm grindkoffer	voorlandinggraving berm

Tabel 3.2 Beslismatrix bij een deklaag dikker dan 2 m (Arcadis 2014)

Kwelweglengte tekort	Bebouwing binnen 10 m	Bebouwing 10-20 m	Bebouwing > 20 m
>50 m	ontlaststelsel DMC	ontlaststelsel DMC pipingscherm	ontlaststelsel waterontspanner DMC pipingscherm
20-50 m	ontlaststelsel DMC	ontlaststelsel DMC pipingscherm	ontlaststelsel waterontspanner DMC pipingscherm berm
<20 m	ontlaststelsel voorlandinggraving	voorlandinggraving berm pipingscherm	voorlandinggraving berm pipingscherm

Verdere informatie over de afweging om één of meerdere drainagetechnieken te selecteren is opgenomen in het korte overzicht in hoofdstuk 2 en tabel 3.3 die een inschatting geeft van het ruimtebeslag voor 4 drainagetechnieken. Ruimtebeslag is relevant voor de installatie, inspectie en onderhoud.

Tabel 3.3 Inschatting benodigd ruimtebeslag

Techniek	Ruimtebeslag	Opmerking
grindkoffer	onder of nabij watergang, circa 4 m breedte	ruimtebeslag watergang afhankelijk van waterstand ten opzichte van maaiveld
grindpaal	<ul style="list-style-type: none"> - voor plaatsen circa 3x3 m² en terrein minimaal toegankelijk voor rupsvoertuig - daarnaast afvoermogelijkheid voor kwelwater 	<p>toegankelijkheid locatie voor vrachtwagen reduceert kosten</p> <p>ruimtebeslag afvoer van diverse factoren afhankelijk</p>
ontlastbronnen en -stelsel	<ul style="list-style-type: none"> - voor plaatsen bron circa 3x3 m² en terrein minimaal toegankelijk voor rupsvoertuig (afbeelding 3.1 rechts) - daarnaast afvoermogelijkheid voor kwelwater 	toegankelijkheid locatie voor vrachtwagen (afbeelding 3.1 links) reduceert kosten
horizontale drainage	<ul style="list-style-type: none"> - bij aanleg via drainagemachine circa 2 m breedte ter plaatse van drainage - bij aanleg via gestuurde boring alleen werkkerrein bij in- en uitredepunt - daarnaast afvoermogelijkheid voor kwelwater 	

Afbeelding 3.1 is een voorbeeld voor het plaatsen van een verticale bron. De volgende foto's geven een impressie van de uitgevoerde werkzaamheden in Jaarsveld. De foto's laten zien dat de werkzaamheden voor een ontlaststelsel in een dorpskern tijdens de aanleg voor de nodige overlast kan zorgen.

Afbeelding 3.1 Installatie van verticale bron, links via vrachtwagen, rechts via rupsstelling (foto's: Mos)



Afbeelding 3.2 Installatie van verzamelleidingen in Jaarsveld (foto: HDSR)



Afbeelding 3.3 Aansluiting ontlastbron (blauwe verticale buis) op verzamelleiding in Jaarsveld (foto: HDSR)



Afbeelding 3.4 Aansluiting verzamelleidingen op verzamelput in Jaarsveld (foto: HDSR)



Afbeelding 3.5 Afvoerleiding gereed voor installatie in Jaarsveld (foto: HDSR)



3.3.2 Dimensionering

De belangrijkste factoren die de omvang bepalen van het drainagesysteem en de afvoer zijn:

- de interactie van de rivier op de afvoer door de watervoerende laag tijdens maatgevende omstandigheden (bodemniveau, bodemweerstand en weerstand van het voorland);
- de dikte en watervoerendheid van de laag waarin de stijghoogte wordt verlaagd;
- de vereiste verlaging van de stijghoogte.

Voor de dimensionering is een geohydrologische berekening via bijvoorbeeld analytische formules of een grondwatermodel nodig. De berekening kan in de verkenning simpel worden opgezet door dit bijvoorbeeld te baseren op een regionaal grondwatermodel. Als verdere input hiervoor kan in de verkenning gebruik worden gemaakt van waarnemingen in peilbuizen (afbeelding 3.6), ervaring en archiefgegevens (DINOloket). Houd hierbij rekening met een bandbreedte in verband met de onzekerheid voor de lokale omstandigheden.

Na de verkenning dient in de planuitwerking de onzekerheid in de geohydrologische berekening te worden verkleind door de geohydrologische analyse lokaal te verfijnen, kalibreren en valideren via bijvoorbeeld nader veldwerk. Sluit daarbij zo mogelijk aan bij het overige grondonderzoek dat wordt uitgevoerd. In Jaarsveld bleek uit een pompproef dat het drainagesysteem onder vrij verval uitgevoerd kon worden terwijl in het eerste ontwerp pompen waren voorzien.

Afbeelding 3.6 Peilbuis in dijk Opijnen onderdeel van geohydrologisch meetnet (foto Witteveen+Bos)



De afvoer dient (tijdens maatgevende omstandigheden) te worden verwerkt door het binnendijkse watersysteem. Afbeelding 3.7 geeft een voorbeeld van een uitstroom. De afvoer bestaat slechts voor een deel uit extra afvoer ten opzichte van de huidige situatie (zie tekst boven afbeelding 2.2). De omvang van de extra afvoer kan beperkt worden door het uitstroombniveau te reguleren. Onderzoek tijdens de verkenning met de beheerder en hydroloog de volgende aandachtspunten:

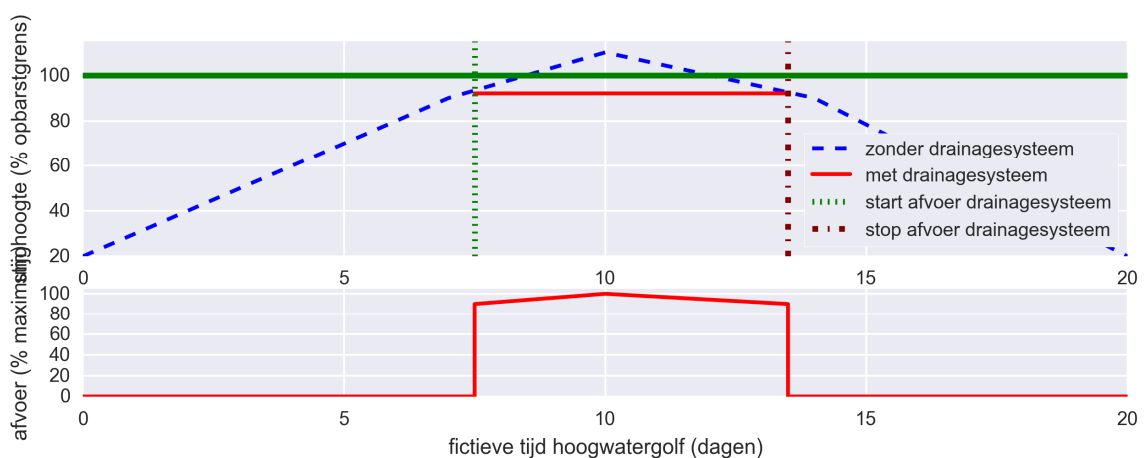
- wat de afvoercapaciteit en de beschikbare berging zijn;
- ga in de analyse uit van het binnendijkse waterpeil tijdens maatgevende omstandigheden. Onderzoek of het binnendijkse waterpeil tijdens maatgevende omstandigheden kan worden opgezet om opbarsten te voorkomen. In dat geval dient met dat binnendijkse waterpeil te worden gerekend;
- beschouw het effect van het (tijdelijk) lozen op de (aquatische) ecologie. Kies voor een geregeld systeem als permanente lozing niet wenselijk is of overweeg bijvoorbeeld beluchting om ijzerneerslag te verminderen.

Afbeelding 3.7 Lozingslocatie van ontlaststelsel in Opijnen (foto: Witteveen+Bos)



In Jaarsveld kan het binnendijkse watersysteem de afvoer verwerken omdat het drainagesysteem regelbaar is en daardoor alleen bij extreem hoogwater afvoert. Het inzetten van een systeem tijdens de piek van de afvoergolf is een optimalisatie van piek-shaven. Het effect daarvan op de stijghoogte en afvoer is schematisch weergegeven in afbeelding 3.8.

Afbeelding 3.8 Schematisch voorbeeld van stijghoogte in achterland door afvoergolf (top na 10 dagen) zonder en met drainagesysteem



3.3.3 Uitbreidbaarheid

Bij het ontwerp van een drainagesysteem dient in capaciteit rekening gehouden te worden met uitbreiding en dient gekeken te worden of het achterland de extra afvoer kan verwerken. Uitbreiding kan relevant zijn bij veranderende randvoorwaarden (bijvoorbeeld buitenwater of wetgeving) of als de prestatie van het systeem na of tijdens aanleg tegenvalt.

Voor uitbreidbaarheid kan in het ontwerp worden voorzien door de maatvoering van het afvoersysteem te overdimensioneren en er in het ruimtebeslag rekening mee te houden.

3.3.4 Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van een drainagesysteem kan goed bepaald worden tijdens de ontwerp- aanleg- en beheerfase, bijvoorbeeld door het systeem te monitoren. In de verkenningfase kan men er vanuit gaan dat drainagesystemen met voldoende betrouwbaarheid gerealiseerd kunnen worden.

In de ontwerpfase wordt een faalkansanalyse uitgevoerd om te bepalen of het systeem een voldoende hoog veiligheidsniveau kan garanderen. Hierbij wordt zoveel mogelijk teruggegrepen op bekende componenten met vigerende faalkansen.

De betrouwbaarheid van het aanbrengen van een drainagesysteem kan worden getoetst via toezicht tijdens de uitvoering. De toezichthouder ziet erop toe dat de werkzaamheden volgens het bestek worden uitgevoerd. Het is wenselijk het functioneren van een drainagesysteem na aanleg te toetsen via een testonttrekking.

De betrouwbaarheid van een drainagesysteem bestaat uit een faalkansanalyse, zie verder paragraaf 3.3.8.

3.3.5 Inspectie, beheer en onderhoud

Een drainagesysteem vereist net als andere dijkversterkingsmethoden inspectie, beheer en onderhoud. In de verkenningfase kan men er vanuit gaan dat dit gerealiseerd kan worden. Aanbevolen wordt om in de verkenningfase rekening te houden met de inpasbaarheid van deze taken. Wanneer de taken door het waterschap worden verzorgd, dan hangt de inpasbaarheid af van de omvang van het drainagesysteem en of het waterschap al drainagesystemen in beheer heeft. Het beheer kan ook (deels) worden uitbesteed aan de bouwer of andere (markt)partij.

Het functioneren van een drainagesysteem tijdens (maatgevend) hoogwater wordt beoordeeld via registratie van de afvoer en stijghoogte. Deze waarnemingen kunnen worden gekoppeld aan het beheersysteem van het waterschap, zoals is gebeurd bij het systeem in Jaarsveld. Wanneer het systeem is uitgerust met sensoren is het voor de dijkbeheerder zelfs mogelijk continue te monitoren. Door metingen van stijghoogte en afvoer te vergelijken met ontwerpberoeeningen en of eerdere metingen, kan een uitspraak gedaan worden over het functioneren van het systeem.

De noodzaak voor een fysieke inspectie van het systeem is afhankelijk van de gekozen drainagetechniek, bijvoorbeeld:

- een systeem met onlastbronnen of een horizontaal drainagesysteem kan worden geïnspecteerd met een rioolcamera (afbeelding 3.9). Aandachtspunt is de aanwezigheid van drempels of krappe bochten, omdat een camera daar niet altijd langskomt. Een inspectie kan alleen plaatsvinden bij een waterstand op de rivier die lager is dan het maaiveld, omdat anders bij het openen van de bronnen het water over maaiveld zal afstromen. In Jaarsveld is 10 jaar na aanleg de eerste camera-inspectie uitgevoerd;
- de fysieke opbouw van een grindkoffer kan alleen via een boring worden onderzocht. Daarom ligt het voor de hand de staat continue via een meetnet van de (grond)waterstand en mogelijk de afvoer te monitoren.

Afbeelding 3.9 Camera-inspectie ontlaststelsel Opijnen¹ maart 2016, (foto: Witteveen+Bos)



Het beschikbare handelingsperspectief wanneer een drainagesysteem tijdens hoogwater onvoldoende de stijghoogte blijkt te verlagen, is afhankelijk van het type drainagesysteem en het gemaakte ontwerp. Als het wenselijk is om handelingsruimte te hebben en zo op het systeem in te kunnen grijpen dan dient dit als eis bij het ontwerp te worden opgenomen. Bijvoorbeeld door de keuze van een regelbare afvoer kan het afvoerniveau worden verlaagd als de effectiviteit van het drainagesysteem onvoldoende is. Voorwaarde is dan wel dat nog steeds onder vrij verval kan worden geloosd.

3.3.6 Juridisch

Wanneer een drainagesysteem op het terrein van derden wordt gerealiseerd dient hiervoor een zakelijk recht te worden gevestigd. Het systeem van Jaarsveld ligt binnen de waterstaatswerkzone waarmee het waterschap juridisch grip heeft en houdt op toekomstige bouwactiviteiten en zo schade aan het systeem kan voorkomen.

Afbeelding 3.10 Geopende put in verharding met bovenkant van ontlastbron en afsluiter in Jaarsveld (foto: HDSR)



¹ De pompwagen verlaagt de waterstand in het ontlaststelsel zodat de camera goed zicht heeft.

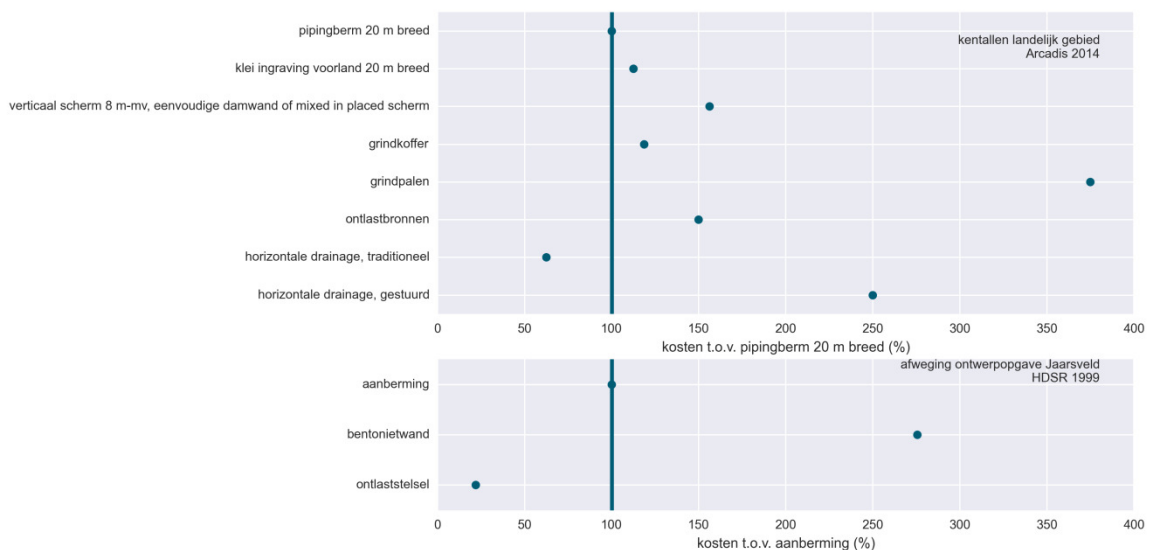
3.3.7 Kosten

De totale kosten (LCC, life cycle costs) van een dijkversterking bestaan uit de aanlegkosten, de onderhoudskosten en de verwijderingskosten. Afbeelding 3.11 geeft de kostenkennallen weer via 2 referentieprojecten. Daarbij zijn de kosten van een maatregel met een pipingberm op 100 % gesteld:

- een SSK-raming voor de aanlegkosten in landelijk gebied (Arcadis 2014), zonder locatie en projectspecifieke kosten. Dan is een drainagesysteem veelal duurder dan een pipingberm (behalve een traditionele horizontale drainage);
- de gemaakte afweging voor Jaarsveld (HDSR), hier was een drainagesysteem vanwege de locatie en projectspecifieke kosten juist goedkoper.

In het technisch rapport 'Drainagetechnieken' dat binnen de POV Macrostabieliteit en POV Piping in voorbereiding is, wordt een hoofdstuk de kosten opgenomen

Afbeelding 3.11 Vergelijking aanleg kosten Arcadis (2014) en ontwerpogave Jaarsveld



Algemene kentallen over beheerskosten zijn niet beschikbaar. De beheerskosten van het systeem in Jaarsveld zijn niet in euro's gerapporteerd. De inspanning bestaat uit het volgende:

- continue monitoring via beheersysteem waterschap;
- jaarlijkse test bij hoge waterstand op de rivier;
- afschrijving automatische bediening: elektrotechnisch: 15-20 jaar, werktuigbouwkundig: 25-30 jaar;
- levensduur PVC-buizen: 50 jaar;
- uitvoeren camera-inspectie iedere 10 jaar.

Algemene kentallen over beheerskosten over het verwijderen van een drainagesysteem zijn niet beschikbaar.

3.3.8 Toetsbaarheid

Een drainagesysteem maakt onderdeel uit van de waterkering waar nog geen directe rekenregels voor beschikbaar zijn. Voor de beoordeling van een drainagesysteem volgt men daarom binnen het WBI2017 het spoor van 'toets op maat', zie afbeelding 3.12. In het algemeen bestaat een toets op maat uit:

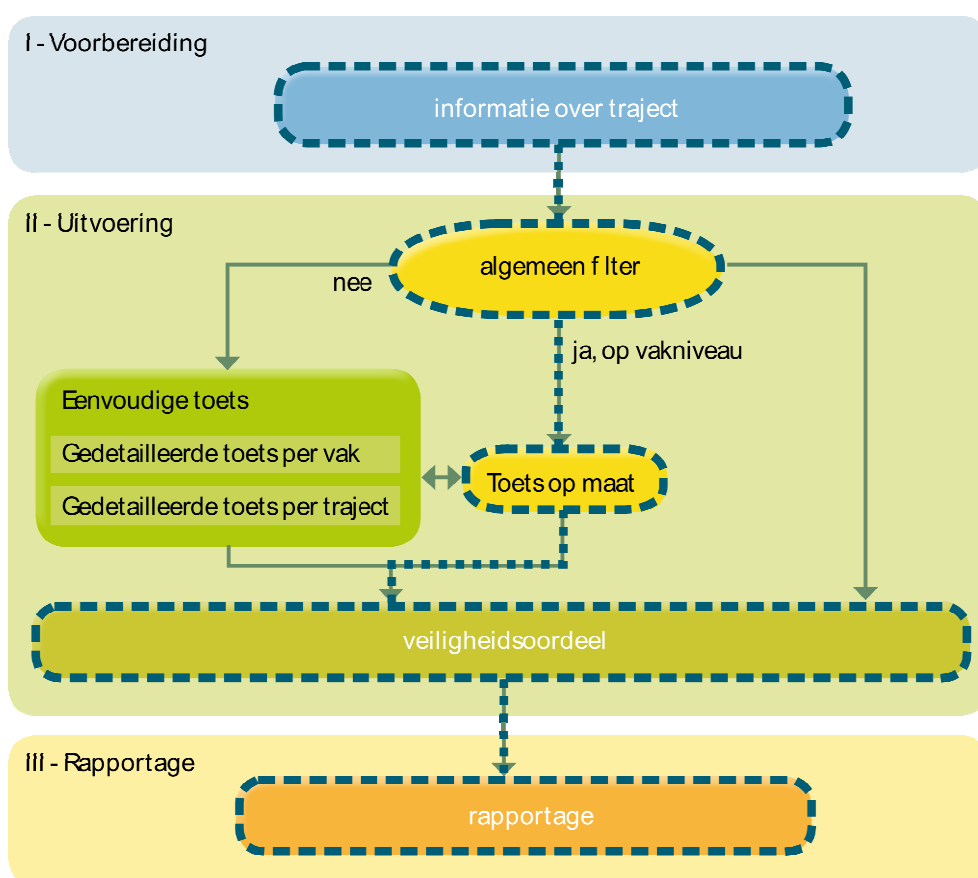
- het opstellen van een door deskundigen als veilig beoordeeld ontwerp;
- het bijhouden van wijzigingen tijdens aanleg en beheer fase;
- het monitoren van de werking en het effect van het drainagesysteem (zie ook paragraaf 3.3.5);
- het maken van een veiligheidsanalyse op basis van een geactualiseerde set aan informatie.

Expertise van de beheerder is binnen het WBI2017 in verschillende stappen van het proces essentieel om tot een goed resultaat te komen en derhalve onderdeel van het gehele beoordelingsproces. Dit proces wordt zodanig ingericht dat duidelijk is welke expertkennis aan keuzes ten grondslag ligt. Deskundigheid van de beheerder kan straks in de verschillende stappen van het beoordelingsproces beter worden ingebracht.

Via de POV Macrostablieit en POV Piping is een technisch rapport 'Drainagetechnieken' in voorbereiding, dit rapport bevat een hoofdstuk over de beoordeling. Dit hoofdstuk omvat het onderscheid tussen beoordelen, ontwerpen en beheren; de te hanteren veiligheidsbenadering op de landelijke veiligheidsfilosofie; eventuele aanvullingen op bijvoorbeeld OI2014; het belang van monitoring in relatie tot de veiligheidsbenadering en betrouwbaarheid van de drainagetechniek.

Het systeem in Jaarsveld is via een beheerdersoordeel in de 3^e toetsronde beoordeeld.

Afbeelding 3.12 Procedure beoordeling veiligheid primaire waterkeringen



3.4 Besluit

De verkenningsfase eindigt met de beslissing om drainagesystemen al dan niet op te nemen op de short list van varianten die in de planuitwerkingsfase nader onderzocht worden. De beslissing hiervoor wordt gemaakt op basis van de criteria uit de eerste alinea in paragraaf 3.3. Hier komt het bestuurlijke karakter van de verkenning het sterkst tot uitdrukking. De keuze voor het voorkeursalternatief wordt in deze fase gemaakt. Om een stabiele planuitwerking mogelijk te maken, is het van belang dat de bestuurders een eenduidige keuze voor een maatschappelijk gedragen voorkeursalternatief kunnen maken.

3.5 Vervolg planuitwerkingsfase

In de planuitwerkingsfase wordt het drainagesysteem daadwerkelijk ontworpen. Hiervoor is waarschijnlijk aanvullend grondonderzoek nodig. Het Technisch Rapport Drainagetechnieken (in voorbereiding bij de POV Macrostabieliteit en Piping) geeft hiervoor handvatten.

4

VOORBEELDEN

Dit hoofdstuk geeft voorbeelden van geïnstalleerde drainagesystemen. De systemen zijn geselecteerd op basis van de workshops (paragraaf 1.3) en zijn weergegeven op chronologische volgorde van aanleg.

4.1 Ontlaststelsel Jaarsveld, Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, 1999

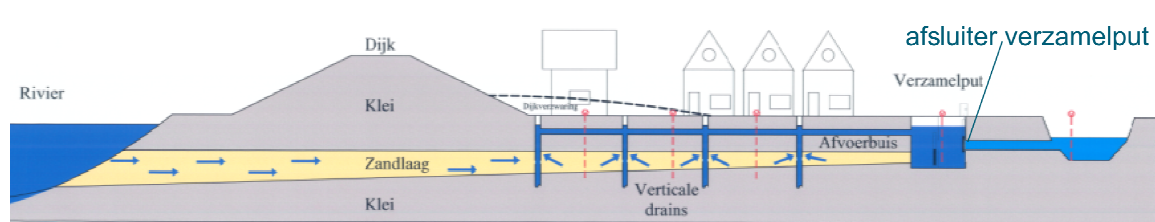
Het systeem is ontworpen nadat in de jaren 90 de dijk was afgekeurd op hoogte, binnenwaartse stabiliteit en piping. Piping vereiste op deze locatie binnendijkse maatregelen. Door het toepassen van een drainagesysteem kon bebouwing in het dorp behouden blijven; het is een beschermd dorpsgezicht.

4.1.1 Ontwerp

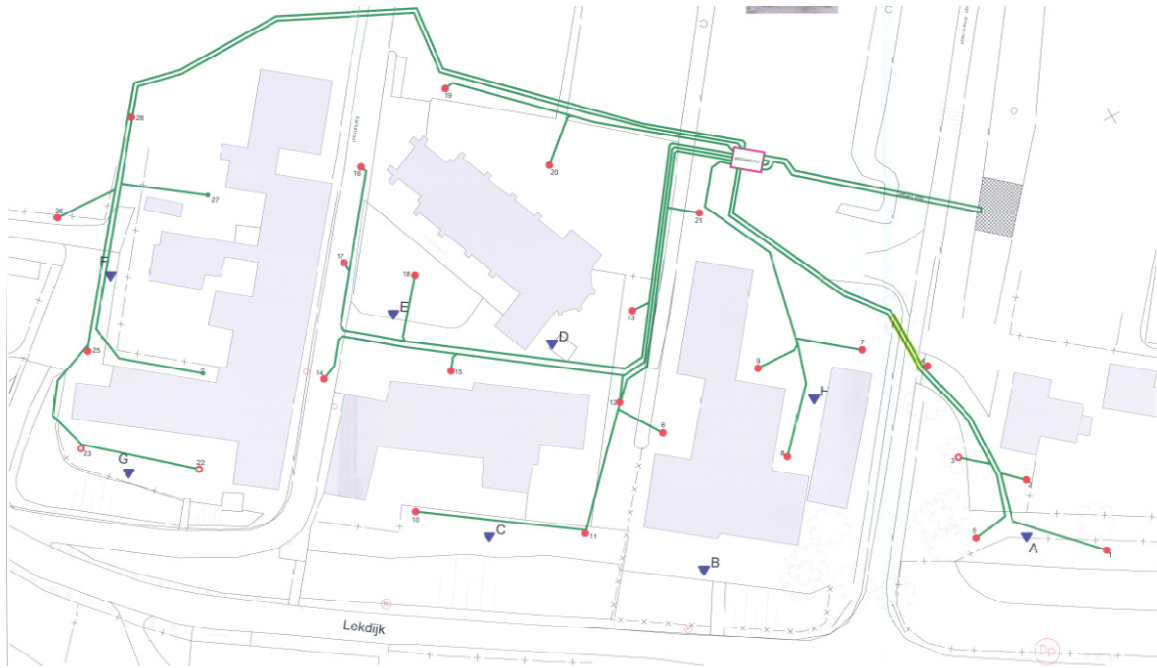
Afbeelding 4.1 geeft een schematische doorsnede van het ontwerp van het ontlaststelsel in Jaarsveld. Afbeelding 4.2 is een overzichtskaart. Het systeem is in 1999 geïnstalleerd.

Het systeem watert af onder vrij verval. Bij extreem hoogwater wordt de afsluiter van de verzamelput geopend via een automatische besturing. Een back-up voor lokale elektrische bediening of handmatige opening is aanwezig. Hiervoor is gekozen om effecten op de fundering van de omliggende panden te voorkomen. Daarnaast beperkt dit de afvoer voor de ontlastbronnen waardoor de verstopping van de filters wordt beperkt en is de afvoer op het binnendijkse watersysteem eveneens beperkt.

Afbeelding 4.1 Doorsnede ontwerp (afbeelding: HDSR)



Afbeelding 4.2 Kaart met locaties ontlastbronnen Jaarsveld (rood); leidingen (groen); peilbuizen (blauwe driehoek) en rechtsboven de verzamelput en lozingslocatie



4.1.2 Toetsing

De toetsing is beschreven in paragraaf 3.3.8.

4.1.3 Kosten

De kosten zijn weergegeven in paragraaf 3.3.7.

4.2 Ontlaststelsel Opijnen, Waterschap Rivierenland, 2001

In Opijnen zijn tijdens de hoogwaters van 1993 en 1995 zandmeevoerende wellen geconstateerd. Er was geen ruimte om een pipingberm aan te leggen of binnendijks een kwelscherm te plaatsen. Daarom is er een 450 m lange cement-bentonietwand aangebracht in de buitenteen van de Schaardijk. Al snel bleek dat er, ondanks de aanwezigheid van dit scherm, nog steeds zandmeevoerende wellen optraden. In 2001 is er daarom een stelsel met ontlastbronnen geplaatst in het 1^e wateroverlast pakket (afbeelding 4.3 en 4.4) naar voorbeeld van het systeem in Jaarsveld. Nevendoel was om wateroverlast tegen te gaan. De lengte van de verticale filters is 10 m. Sindsdien zijn er geen zandmeevoerende wellen meer geconstateerd en is de kwelproblematiek sterk afgenomen.

Het ontlaststelsel in Opijnen verschilt op de volgende punten van het systeem in Jaarsveld:

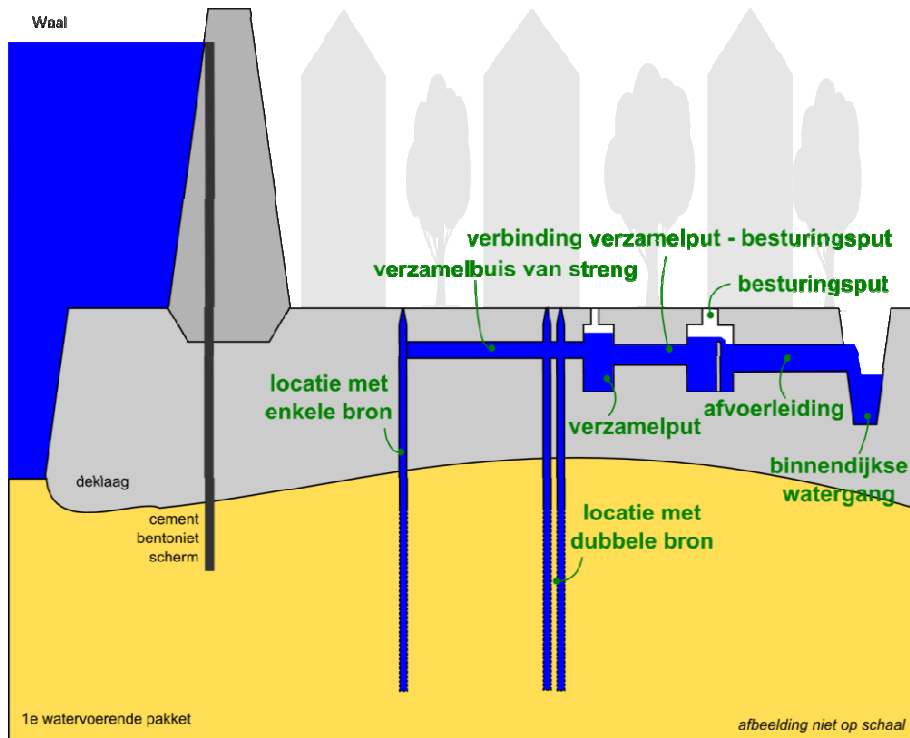
- het aantal bronlocaties is groter. In totaal zijn op 42 locaties verticale bronnen geïnstalleerd. Het totaal aantal filters is 60 omdat op verschillende locaties 2 filters naast elkaar geplaatst zijn om de vereiste capaciteit te behalen. WSRL raadt aan om in de toekomst geen dubbele filters te installeren, maar een groter filter, vanwege de eenvoud en het gemakkelijker plegen van onderhoud om de levensduur van het systeem te verlengen (regeneratie);
- de afvoer van het systeem wordt niet gereguleerd. Dit betekent dat water wordt afgevoerd wanneer de stijghoogte hoger is dan het niveau van de overlaat. Dit betekent dat het systeem ongeveer de helft van het jaar afvoert;

- de prestatie van de bronnen en de horizontale leidingen zijn verminderd doordat deze vaak water afvoeren en in de leidingen het water in contact komt met zuurstof. Onderzoek (afbeelding 5.5, Witteveen+Bos 2016) heeft uitgewezen dat regeneratie van de bronnen vereist is om het systeem een reducerende functie te laten hebben bij de huidige ontwerpwaterstanden, die hoger zijn dan tijdens het ontwerp.

Afbeelding 4.3 Kaart ontlaststelsel Opijnen



Afbeelding 4.4 Schematische doorsnede systeem van ontlaststelsel Opijnen



Afbeelding 4.5 Beproeving van ontlastbron Opijnen via capaciteitsproef (foto: Witteveen+Bos 2016)



4.3 Waterontspanners Schoonhovense Veer-Langerak, Waterschap Rivierland, 2015

Bij de dijkversterking tussen Schoonhovense Veer en Langerak in de Alblasserwaard zijn waterontspanners toegepast in het ontwerpproces van de aannemer. Het project voldoet zo aan de eisen voor de haalbaarheid, uitvoerbaarheid, lage investerings- en onderhoudskosten over 50 jaar en impact voor de omgeving. Afbeelding 4.6 geeft het systeem op satellietfoto weer.

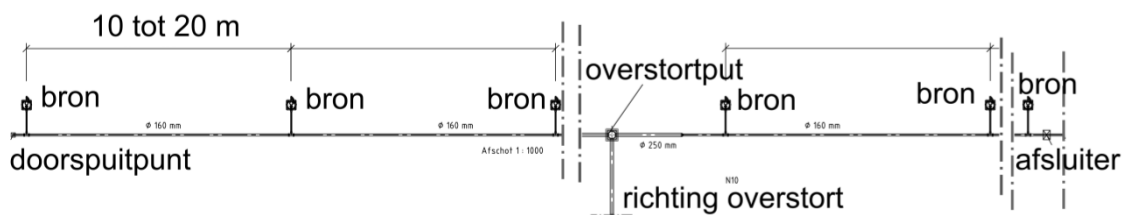
Afbeelding 4.6 Satellietfoto met locatie van bronnen



4.3.1 Ontwerp

Afbeelding 4.7 bevat een schematisch bovenaanzicht van het systeem. Afbeelding 4.8 geeft een doorsnede van een bron weer. De bronnen zijn afgesteld in een tussenzandlaag in de deklaag op circa 8 tot 10 m - mv. Tijdens de aanbestedings-, DO- en UO-fase is gevarieerd in het aantal bronnen op basis van de beschikbare gegevens tijdens de fases. Uiteindelijk zijn circa 160 verticale bronnen gerealiseerd in 15 strengen. Bij elke bron is via maaiveld inspecteerbaar door een flens te openen. Daarnaast is een doorspuitpunt aanwezig dat doorspuiten van de leiding naar de verzamelleiding mogelijk maakt.

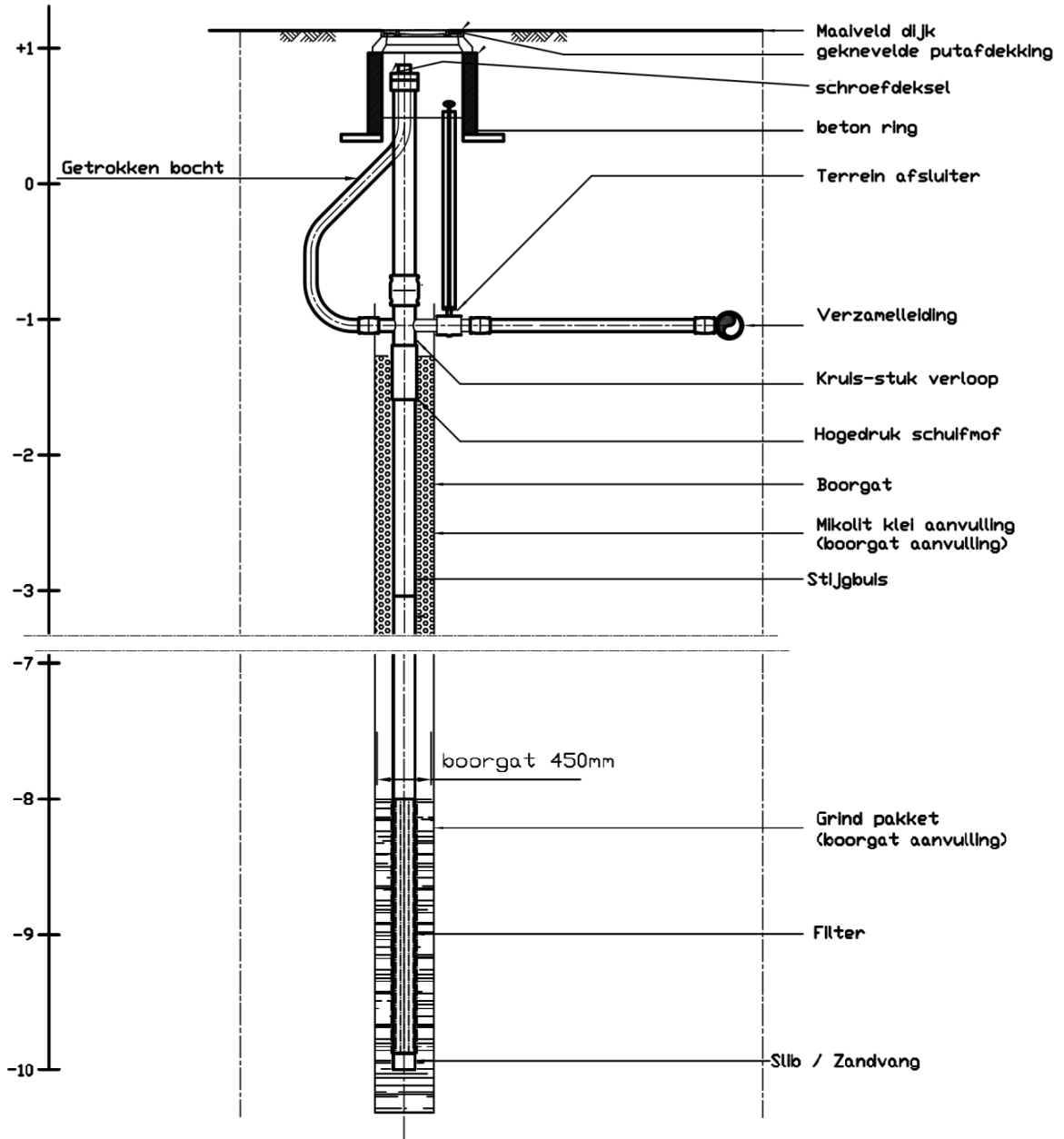
Afbeelding 4.7 Schematisch bovenaanzicht



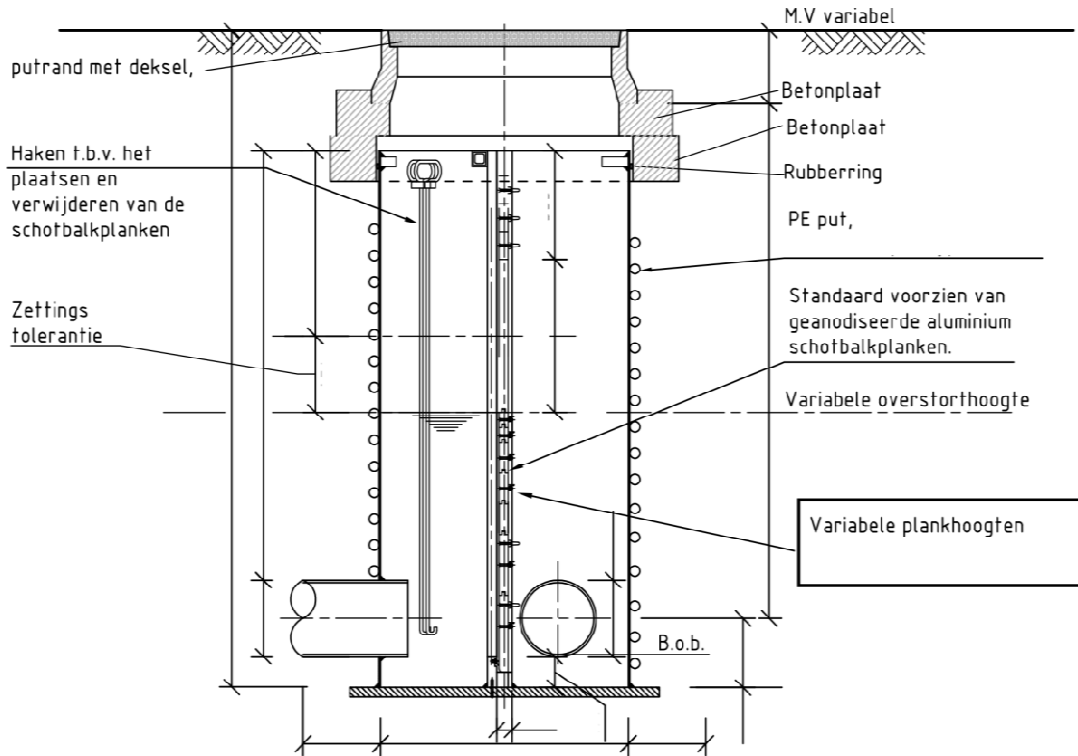
De bronnen zijn aangesloten op een gezamenlijke horizontale verzamelleiding. De verzamelleiding is via afsluiters in strengen verdeeld. De afsluiters in de verzamelleiding kunnen voor onderhoud (doorspuiten) worden geopend. Aan het einde van de verzamelleiding is ook een doorspuitpunt aanwezig. Elke streng heeft een eigen overstortput (afbeelding 4.9) richting de overstort. In de overstortput kan het overstortniveau worden geregeld via schotbalken. Het overstort is hoger dan de bovenzijde van de leiding. Hierdoor staat de afvoerleiding altijd onder water en kan er geen afzetting ontstaan door oxidatie.

Afbeelding 4.10 geeft een doorsnede van de overstort op het binnendijkse oppervlaktewater. De uitstroomopening is redundant uitgevoerd met een uitstroomopening zowel onder als boven water zodat ook bij een dichtgevroren sloot kan worden geloosd. De ontwerpafvoer tijdens maatgevende omstandigheden is 1 tot 3 m³/uur/bron.

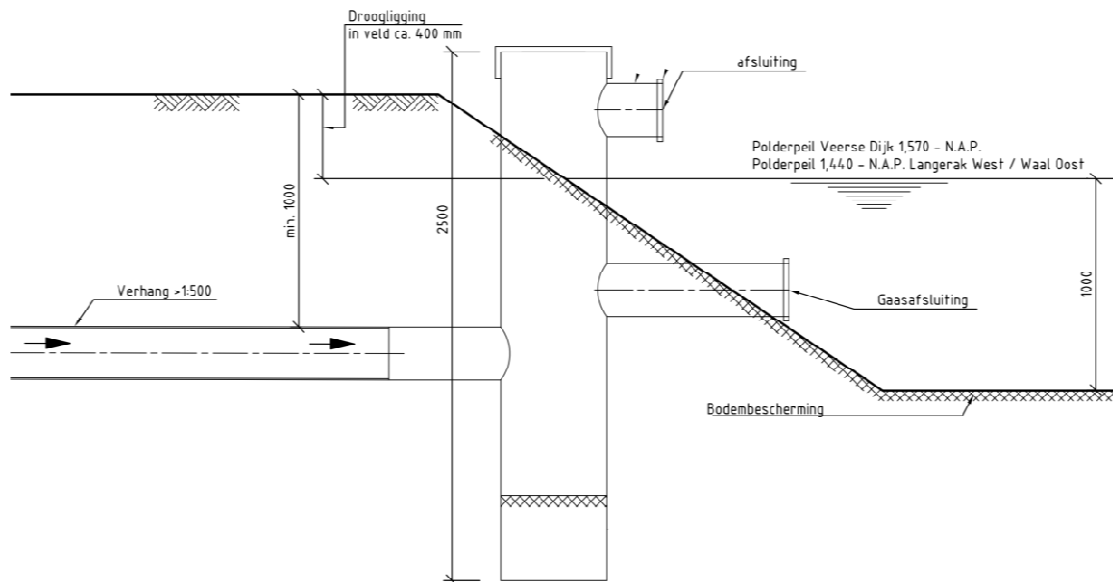
Afbeelding 4.8 Doorsnede bron Schoonhovense Veer-Langerak (bron: Waterschap Rivierenland)



Afbeelding 4.9 Doorsnede overstortput Schoonhovense Veer-Langerak (bron: Waterschap Rivierenland)



Afbeelding 4.10 Doorsnede overstort Schoonhovense Veer-Langerak (bron: Waterschap Rivierenland)



4.3.2 Toetsing

De toetsing van het systeem is nog niet beschikbaar.

4.3.3 Kosten

De ordegrootte van de aanlegkosten is EUR 500.000,-- per km. De beheerkosten zijn over 50 jaar geraamd op EUR 8.000,-- per km per jaar.

4.4 DMC-buis Veessen, Waterschap Vallei en Veluwe, 2015

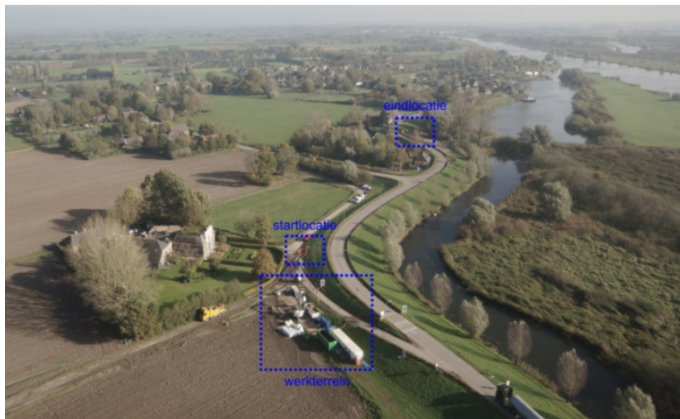
Het DMC-systeem (DijkMonitoring- en Conditioneringssysteem) bij Veessen is aangelegd als pilot project binnen de POV Piping. De doelstelling was het verkrijgen van inzicht in het functioneren van het DMC-systeem als innovatieve, pipingwerende versterkingsmaatregel in technisch, financieel en beheersmatig opzicht.

Het systeem verlaagt de stijghoogte onder een dijkwoning. Dit is in vogelvlucht weergegeven in afbeelding 4.11 en op een bovenaanzicht in afbeelding 4.12. Het bovenaanzicht laat zien dat de buis een infiltratiegedeelte van 100 m lengte heeft. De bodemopbouw bestaat uit matig grof en zeer grof zand. De ontwerpafvoer van het systeem is 80 tot 120 m³/uur, bij die afvoer is een verlaging berekend van 1 m of in een zone van respectievelijk 25 en 40 m afstand van de buis. Afbeelding 4.13 geeft een doorsnede weer over de pompput.

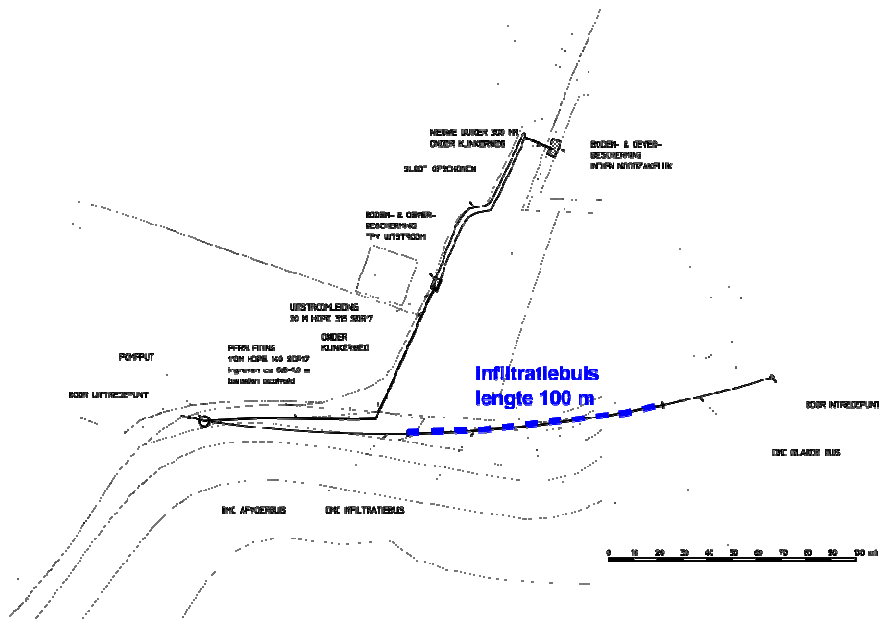
Foto's van de realisatie van het systeem zijn opgenomen in afbeelding 4.14 en 4.15. Deze laten duidelijk zien dat de werkzaamheden zich alleen concentreren rond de start- en eindlocatie.

De realisatiekosten van een DMC-systeem bedragen circa EUR 2.500,-- per m, bij een minimale lengte van 500 m. De jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud zijn circa EUR 7,50 per m, uitgaande van een onderhoudstermijn van 50 jaar. Hieronder valt bijvoorbeeld de maandelijkse automatische functionele test.

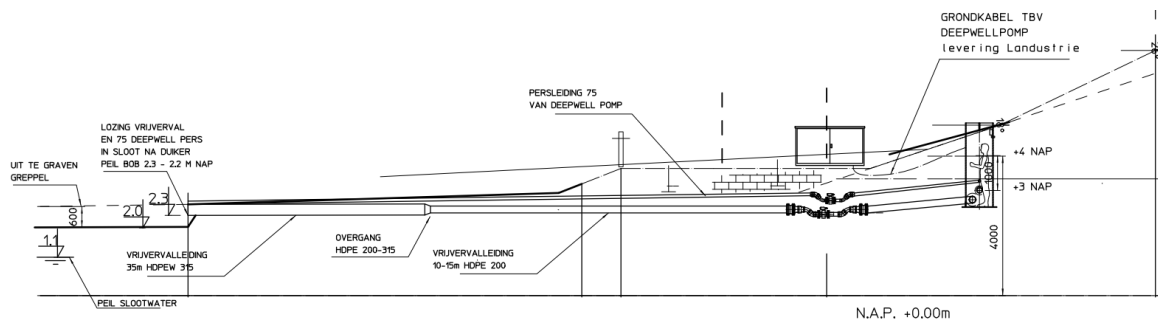
Afbeelding 4.11 Locaties DMC-systeem Veessen in vogelvlucht



Afbeelding 4.12 Bovenaanzicht ontwerp DMC-systeem Veessen



Afbeelding 4.13 Doorsnede pompput en uitstroomvoorziening DMC-systeem



Afbeelding 4.14 Startlocatie DMC-systeem Veessen



Afbeelding 4.15 Eindlocatie DMC-systeem Veessen



5

VERVOLG

Via het huidige project is in verschillende workshops gesproken over de afweging voor de toepassing van drainagetechnieken in de verkenning van dijkversterkingsopgaven. Dit resulteert in een toelichting bij de stappen in de verkenning (afbeelding 1.1). Voor het verder vergroten van drainagetechnieken als volwaardige bouwsteen bij dijkversterkingsopgaven worden de volgende vervolgvraagstukken gezien.

5.1 Rekenhulp

Door de relatieve onbekendheid van drainagetechnieken is een rekenhulp voor de dimensionering van een systeem een welkome aanvulling voor het doorlopen van de verkenningfase (hoofdstuk 3). De rekenhulp kan via enkele systeemkenmerken een eerste inschatting geven van de dimensies en mogelijke aandachtspunten in de afweging tijdens een dijkversterkingsopgave.

Op basis van de technische dimensionering en kentallen kan een eerste kosteninschatting worden gegeven.

5.2 Voorbeelden

Een totaal overzicht van geïnstalleerde drainagesystemen bij dijken. Hierin wordt deels voorzien in het Technisch Rapport 'drainagetechnieken' dat in voorbereiding is binnen een samenwerking van de POV Macrostabieliteit en POV Piping, doordat hierin ook voorbeelden zijn opgenomen.

5.3 Kosten

Inzicht in de beheerskosten en LCC (life cycle costs) van een drainagesysteem.

5.4 Toetsing

Nadere stappen over de toetsbaarheid van drainagesystemen worden gemaakt in het technisch rapport 'Drainagetechnieken' dat in voorbereiding is bij een samenwerking tussen de POV Macrostabieliteit en POV Piping.

6

REFERENTIES

- 1 Arcadis, 2014, Evaluatie bestaande drainagetechnieken als oplossing voor piping, definitief, 14 februari 2014, kenmerk C03011.000302.0100.
- 2 HWBP, 2014, Handreiking verkenning, versie 1, februari 2014, definitief.
- 3 Witteveen+Bos, 2016, Advies langsconstructies en waterontspanners TiWa, Adviesrapportage waterontspanners (product 6), d.d. 17 juni 2016, referentie TL259-2/16-010.628.

Bijlage(n)

I

BIJLAGE: CONTACTPERSONEN WORKSHOPS

Onderstaande contactpersonen zijn betrokken geweest bij de totstandkoming van deze handreiking door hun deelname aan de workshops.

Tabel I.1 Lijst contactpersonen landelijke workshop d.d. 14 april 2016

Waterschap	Genodigde	Vakgebied
Aa en Maas	Kees-Jan Leuvenink	waterkeringen
Aa en Maas	Peter van der Ven	beheerder
De Stichtse Rijnlanden	Anton Bosman	beheerder
Drents Overijsselse Delta	Philippe Schoonen	technisch manager
Drents Overijsselse Delta	Wijnand Evers	beheerder
Hollands Noorderkwartier	Wouter Segers	waterkeringen
Hollands Noorderkwartier	Ruud Joosten	waterkeringen
Hollandse Delta	Bastiaan Los	geotechniek
Hollandse Delta	Martin Evers	waterkeringen
Noorderzijvest	Jan Willem Nieuwenhuis	projectleider
Rijn en IJssel	Sander van Poorten	waterkeringen / beheerder
Rivierenland	Laura Taal	waterkeringen
Rivierenland	Peter Damen	geotechniek
Rivierenland	Roel van der Veen	geohydrologie
Scheldestromen	Hans van der Sande	waterkeringen
Schieland en de Krimpenerwaard	Jaap Stoop	waterkeringen
Vallei en Veluwe	Jan Valk	projectleider
Vallei en Veluwe	Joost Borgers	waterkeringen
Vallei en Veluwe	Lisette van den Bos	geohydrologie
Wetterskyp Fryslan	Wim van der Weijden	programma manager
Deltares	Maya Sule	geotechniek
RWS	Robert Slomp	technisch manager
Arcadis	Rimmer Koopmans	waterkeringen

Tabel I.2 Lijst genodigden workshops per waterschap

Waterschap	Genodigde	Vakgebied
De Stichtse Rijnlanden	Claudia van Ackooij	beleidsmedewerker en beheerder waterkeringen
De Stichtse Rijnlanden	Matthijs van de Griendt	regiobeheerder
De Stichtse Rijnlanden	Joost Heijkers	hydroloog
De Stichtse Rijnlanden	Koen van Korlaar	waterkeringen
De Stichtse Rijnlanden	Paul Neijenhuis	beleidsmedewerker
De Stichtse Rijnlanden	Yvo Snoek	technisch manager
De Stichtse Rijnlanden	Dennis van de Waardt	regiobeheerder
De Stichtse Rijnlanden	Ruud Weijs	beheerder waterkeringen
De Stichtse Rijnlanden	Johan Westhuis	strategie en innovatie
Drents Overijsselse Delta	Frank Jansen	beheerder
Drents Overijsselse Delta	Bert Koster	techniek en toetsing
Drents Overijsselse Delta	Barry Ros	beleid
Drents Overijsselse Delta	Philippe Schoonen	technisch manager
Drents Overijsselse Delta	Gerben Tromp	hydroloog
Rivierenland	Ad de Bruin	beheerder
Rivierenland	Peter Damen	geotechniek
Rivierenland	Jasper van Gestel	technisch manager
Rivierenland	Hans Knotter	waterkeringen
Rivierenland	Jan van Straten	beheerder
Rivierenland	Roel van der Veen	geohydrologie
Rivierenland	Heino van Vugt	drainagesystemen
Rivierenland	Fokke van Zeijl	technisch manager
Vallei en Veluwe	Peter Boone	beleidsmedewerker waterkeringen

Waterschap	Genodigde	Vakgebied
Vallei en Veluwe	Joost Borgers	technisch manager
Vallei en Veluwe	Lisette van den Bos	geohydrologie
Vallei en Veluwe	Jan van Oord	beheerder
Vallei en Veluwe	Jaap Petersen	beheerder
Vallei en Veluwe	Eddy Steenberg	waterveiligheid en waterkeringen
Vallei en Veluwe	Reindert Stellingwerf	technisch manager
Vallei en Veluwe	Jan Valk	technisch manager

