



## **Aanpak en afweegkader Pipingmaatregelen**

## COLOFON

<b>Titel</b>	Aanpak en afweegkader Pipingmaatregelen
<b>Opdrachtgever</b>	HWBP-De Innovatieversneller   Piping
<b>Auteur(s)</b>	Paul Sinnema (RHDHV), Niek Klein Wolterink (RHDHV), Maurits van Dijk (DIV Piping), Han Knoeff (DIV Piping), Derk-Jan Sluiter (DIV Piping)
<b>Foto omslag</b>	<a href="https://www.timesleader.com/news/local/660713/levee-systems-relief-wells-set-for-inspection">https://www.timesleader.com/news/local/660713/levee-systems-relief-wells-set-for-inspection</a>
<b>Kenmerk</b>	Aanpak en afweegkader Pipingmaatregelen DIV versie 1.0
<b>Inhoudelijke kwaliteitsborging</b>	Albert Wiggers (DIV Piping)
<b>Datum</b>	20-09-2024
<b>Status</b>	V 1.0

## Inhoudsopgave

<b>1 Inleiding .....</b>	<b>4</b>
1.1 Aanleiding .....	4
1.2 Doel en inhoud van deze publicatie en leeswijzer .....	4
1.3 Relatie met andere publicaties en BOI .....	5
1.4 Afbakening .....	5
1.5 Leeswijzer .....	6
<b>2 Aanpak veiligheids- en ontwerpogave .....</b>	<b>7</b>
2.1 Vooraf .....	7
2.2 Veiligheidsopgave .....	7
2.3 Overzicht en begrip .....	8
2.4 Analyse en handelingsperspectief .....	9
2.5 Verificatie en plausibiliteitscontrole .....	11
2.6 Ontwerpogave .....	11
2.6.1 Inleiding: van veiligheidsopgave naar ontwerpogave .....	11
2.6.2 Ontwikkeling veiligheidsopgave in de tijd .....	12
2.6.3 Koppeling met andere faalmechanismen .....	12
2.6.4 Ruimtelijke ontwikkelingen .....	12
<b>3 Inventarisatie en selectie mogelijke maatregelen.....</b>	<b>14</b>
3.1 Inleiding .....	14
3.2 Inventariseren maatregelen .....	14
3.2.1 Heavescherm technieken.....	17
3.2.2 Filtertechnieken .....	17
3.2.3 Drainagetechnieken .....	18
3.2.4 Belastingremmende technieken .....	18
<b>4 Afwegen maatregelen .....</b>	<b>19</b>
4.1 Inleiding .....	19
4.2 Inventariseren maatregelen .....	19
4.3 Vaststellen afweegcriteria .....	20
4.4 Definiëren wegingsfactoren .....	20
4.5 Scoren maatregelen.....	20
4.6 Onderbouwen uitkomsten .....	21
4.7 Risico's & Financierbaarheid .....	22
4.8 Handelingsperspectief.....	22
<b>5 Referenties.....</b>	<b>24</b>

## 1 Inleiding

### 1.1 Aanleiding

Het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) staat voor een enorme opgave: de grootste dijkversterkingsoperatie sinds de Deltawerken. Om overstromingen in Nederland te voorkomen, worden de komende dertig jaar in heel Nederland 1.500 kilometer aan dijken en 500 sluizen en gemalen versterkt. Deze versterkingen zijn nodig omdat de overstromingskans door het falen van deze waterkeringen groter is dan maatschappelijk acceptabel. Het faalmechanisme piping is een van de belangrijkste oorzaken van de hoge overstromingskansen.

Om de kans op overstroming door piping te beheersen zijn twee aspecten belangrijk. Aan de ene kant is het belangrijk om goed te begrijpen hoe en onder welke omstandigheden het faalmechanisme piping tot een overstroming leidt. Aan de andere kant moeten voldoende maatregelen beschikbaar zijn om voor verschillende situaties op een effectieve en efficiënte manier de overstromingskansen te reduceren.

De afgelopen decennia is rondom piping veel nieuwe kennis verkregen en zijn er diverse innovatieve maatregelen ontwikkeld. Deze worden nog niet allemaal in de praktijk toegepast. 'De innovatieversneller' (DIV) heeft van het Hoogwaterbeschermingsprogramma de opdracht gekregen om verbinding te leggen tussen de (door)ontwikkeling van nieuwe kennis en innovaties en de toepassing hiervan in de versterkingsprojecten. In het kader hiervan is door DIV voor het faalmechanisme piping een set publicaties opgesteld die versterkingsprojecten helpen bij het gebruik van nieuwe kennis om de opgave te bepalen en gegeven locatiespecifieke omstandigheden de juiste maatregel te kiezen en te dimensioneren.

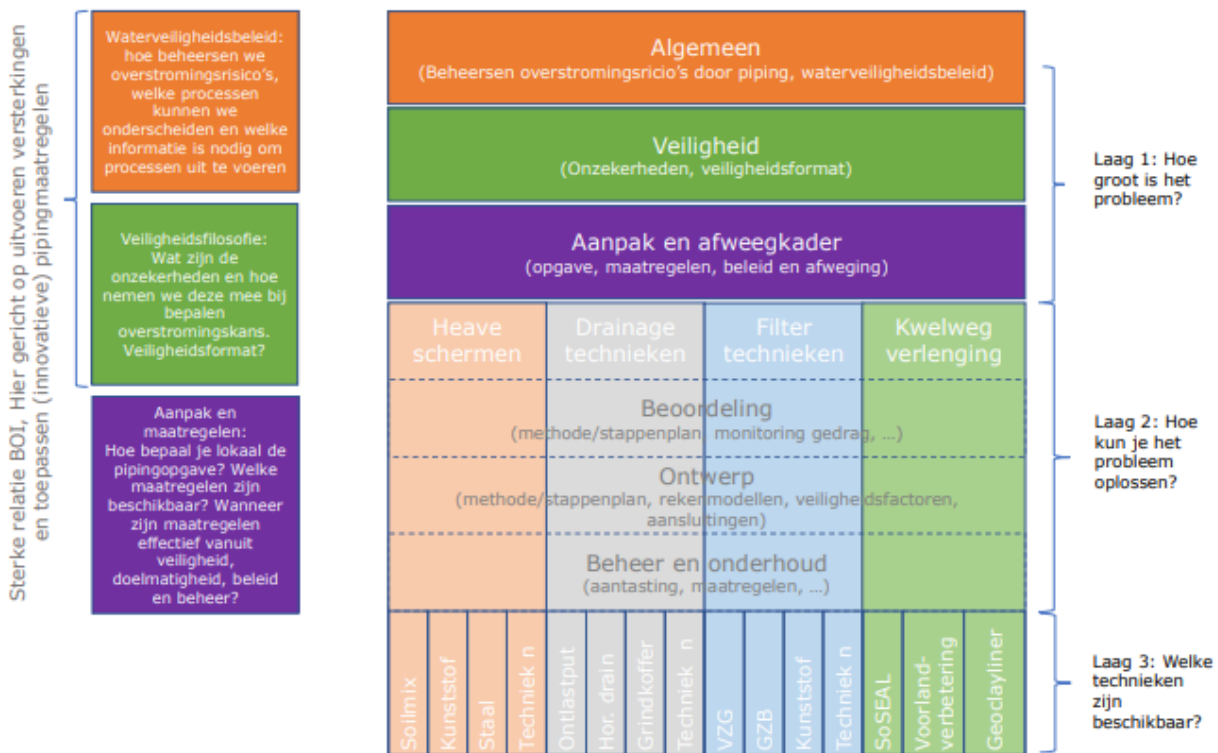
### 1.2 Doel en inhoud van deze publicatie en leeswijzer

Een generieke aanpak met afweegkader helpt de ontwerper bij het selecteren en de beheerder bij het kiezen van juiste pipingmaatregel. De aanpak sluit aan op de Handreiking Veiligheidsontwerp van het BOI [1] en heeft een vergelijkbare werkwijze als de Handreiking Verkenning [2] en Handreiking Planuitwerking [3] van het HWBP. In het afweegkader worden, naast waterveiligheid, ook andere criteria, zoals duurzaamheid, omgevingseffecten, beheereisen en beleidswensen meegenomen. Het afweegkader is naast een praktische handreiking voor projecten ook een instrument voor het HWBP om een keuze te maken welke innovatieve maatregelen worden doorontwikkeld. De aanpak kent vijf stappen:

1. De eerste stap betreft de bepaling van de veiligheidsopgave. In deze stap wordt op basis van de informatie uit de beoordeling de veiligheidsopgave bepaald. Met het Beslisondersteunend Raamwerk Piping [4] wordt de impact van nieuwe kennis en rekentechnieken bepaald. Een stabiele veiligheidsopgave is het vertrekpunt voor het versterkingsproject.
2. Bepaling context waterkering. In deze stap worden de eigenschappen van de te kering, geïnterpreteerd. De context bestaat uit verschillende dimensies. Het gaat daarbij om geologische en (geo)hydrologische eigenschappen van de bodem als kenmerken van de kering, de organisatie en omgeving van de beheerder. Daarbij wordt ook vooruit in de tijd gekeken. Het is belangrijk om de huidige veiligheidsopgave in de context van mogelijke vervolggaven te zien. Vervolggaven ontstaan door autonome ontwikkelingen zoals klimaatverandering, bodemdaling en gebiedsontwikkelingen.
3. Uit een analyse van de eerste twee stappen volgt in de derde stap de ontwerpogave en randvoorwaarden waarbinnen een oplossing kan worden gezocht.
4. Als het ontwerpogave helder is, kunnen mogelijke (innovatieve) maatregelen worden bepaald. De HWBP waaier geeft een overzicht van innovaties. Een trade-off matrix helpt bij het bepalen van het referentiealternatief en terugvalopties.
5. De daadwerkelijke afweging vindt in de laatste stap plaats. Naast techniek, onzekerheden en kosten gaat het hier ook om ambities van het waterschap, programmadoelstellingen van het HWBP en aspecten vanuit beheer en duurzaamheid.

### 1.3 Relatie met andere publicaties en BOI

Binnen De Innovatieversneller worden zeven publicaties opgesteld met betrekking tot piping. De publicaties bevatten handreikingen voor het uitvoeren van pipinganalyses en het ontwerpen van pipingmaatregelen waarvan de toepassing nog niet algemeen gangbaar is in de huidige praktijk. Er zijn drie generieke publicaties (laag 1) en vier maatregel specifieke publicaties (laag 2). De algemene publicaties kunnen worden gebruikt voor het analyseren van het probleem. Bij de maatregel specifieke publicaties staan de verschillende oplossingsrichtingen centraal. Bij deze publicaties worden in zelfstandig leesbare bijlagen voor verschillende technieken Ontwerp-, Beoordelings- en Onderhoudsrichtlijnen (OBOR's) opgesteld. Alle documenten zijn zodanig opgebouwd dat de algemene principes uit generieke publicaties in de maatregel specifieke publicaties zijn geconcretiseerd en tot concrete handvatten zijn uitgewerkt in de OBOR's om de gekozen maatregel te ontwerpen, te realiseren en te beheren. Figuur 1-1 geeft een schematisch overzicht van de publicaties.



Figuur 1-1 Schematisch overzicht DIV-publicaties

De publicaties van het DIV sluiten qua filosofie en opbouw aan op het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium. Deze publicaties zijn gebaseerd op dezelfde filosofie van omgaan met overstromingskansen als het BOI-instrumentarium en hanteren dezelfde methoden en begrippen.

De handleidingen en technische leidraden van het BOI bevatten algemeen toepasbare generieke kennis en instrumenten. De DIV-publicaties bevatten kennis en innovaties die nog deels in ontwikkeling zijn of waarvoor beperkte ervaring is. Door toepassing in de praktijk en het opdoen van ervaring kan deze kennis doorontwikkelen en landen in het BOI. Om deze doorstroom te faciliteren wordt bij het opstellen van teksten rekening gehouden met de structuur van de artikelen in de technische leidraden van het BOI.

### 1.4 Afbakening

In projecten wordt vaak de discussie gevoerd over welke stap in welke fase van het dijkversterkingsproject thuishoort. De algemene gang van zaken is dat in de verkenningsfase de impact van nieuwe kennis wordt verkend en op basis van beschikbare ruimte een grove afweging wordt gemaakt tussen verticale en

horizontale pipingoplossingen. De afweging tussen pipingmaatregelen wordt meestal pas halverwege de planuitwerking wordt gemaakt. In de verkenningsfase is de ruimte om nieuwe kennis toe te passen vaak beperkt omdat de scope van het project al bepaald is. Daarnaast is de ruimte voor het toepassen van innovatieve maatregelen in dit proces beperkt omdat er geen tijd meer is voor een laatste ontwikkel- of validatiestap met als gevolg dat de innovatieve maatregelen te risicovol wordt bevonden. Het is belangrijk om voor de start van het project hiervoor een kennis en innovatiestrategie te kiezen. Bij Sterke Lek Dijk is hierop geanticipeerd door de implementatie van nieuwe kennis innovaties via een apart ontwerp- en ontwikkeltraject te laten plaatsvinden met aftapmomenten en estafettestukjes van project naar project. Dit document gaat niet in op het kiezen van een kennis en innovatiestrategie.

### **1.5 Leeswijzer**

Na deze inleiding, gaat hoofdstuk 2 in op het bepalen van de veiligheids- en ontwerpogave, de eerste drie stappen uit de aanpak zoals in paragraaf 1.2 beschreven. Hoofdstuk 3 gaat in op de selectie van mogelijke maatregelen om de opgave op te lossen, stap 4 van de generieke aanpak. Als laatste beschrijft hoofdstuk 4 de afweging van de maatregelen. Daarbij worden concrete handvatten gegeven voor projecten.

## 2 Aanpak veiligheids- en ontwerpogave

### 2.1 Vooraf

In de handleiding veiligheidsontwerp wordt aangegeven dat het belangrijk is om een aantal zaken vroegtijdig, voor de start van het project in gang te zetten omdat deze een grote impact kunnen hebben op de planning en de opzet van een versterkingsproject, zoals de inrichting en omvang van het projectteam en benodigde middelen. Daarbij moet in eerste instantie gedacht worden aan het zo scherp mogelijk in beeld brengen van de veiligheidsopgave en de onzekerheden daarin. De omvang van de veiligheidsopgave is immers sterk bepalend voor de opzet van het versterkingsproject. De situatie kan zich voordoen dat in een later stadium van een project nieuwe analyses leiden tot een sterke wijziging (de ervaring leert vaak: afname) van de omvang van de veiligheidsopgave. Op dat moment kunnen er al investeringen in bijvoorbeeld de projectorganisatie zijn gedaan die, achteraf bezien, onnodig waren geweest. Dat moet uiteraard zoveel mogelijk voorkomen worden. Het is daarom van belang het grootschalige of fundamentele onderzoeks- of monitoringscampagne vroegtijdig in te zetten om reduceerbare onzekerheden aan te pakken en tot een scherpere en stabiele (bandbreedte van de) veiligheidsopgave te komen. Denk hierbij aan het opzetten van een meetnet om het effect van hoogwater op de stijghoogte in de ondergrond te meten. Ook het onderzoek van systeemmaatregelen en mogelijkheden om gebiedsopgaven aan de veiligheidsopgave te koppelen is iets dat vroegtijdig moet worden opgepakt en dat een grote invloed kan hebben op het veiligheidsontwerp.

De Handreiking Trajectaanpak (Unie van Waterschappen) geeft richting aan de activiteiten die voorafgaand aan de start van een project uitgevoerd kunnen worden. Dit hoofdstuk behandelt de aanpak om te komen tot de veiligheids- en ontwerpogave voor piping,

### 2.2 Veiligheidsopgave

In deze paragraaf richten we ons op de aanpak om te komen tot het antwoord op de beslisvraag: 'wat is de veiligheidsopgave?'

Voor de bepaling van de veiligheidsopgave is de wettelijke beoordeling het vertrekpunt. In het BOI worden generieke instrumenten beschikbaar gesteld om de relevantie van faalmechanismen te bepalen en (eerste) analyses uit te voeren. Met beslisregels kan de relevantie van het faalmechanisme piping worden bepaald en - wanneer het mechanisme relevant is - kan een eerste analyse worden uitgevoerd met de rekenregel van Sellmeijer. Voor bepaling van de opgave door piping met de rekenregel van Sellmeijer moet de werkelijkheid worden geschematiseerd. Voor een zuivere beschouwing van de pipingopgave is het belangrijk ook de aspecten te beschouwen die niet in de rekenregel zijn meegenomen. Denk aan heterogeniteit van de ondergrond, vervolgprocessen of tijdsafhankelijkheid. Met betrekking tot de geohydrologische aspecten geeft de Geohydrologische Aanpak Piping (GAP)<sup>1</sup> een aanpak voor de keuze voor een passende geohydrologische methode en het daarmee uitvoeren van een pipinganalyse.

Het Beslisondersteunend Raamwerk Piping (BRP) geeft hiervoor een werkwijze. Daarbij worden drie stappen onderscheiden. In de eerste stap, overzicht en begrip, wordt vanuit het faalmechanisme gekeken welke aspecten van belang zijn voor de beschouwde locatie. In de tweede stap, analyse en handelingsperspectief, worden deze relevante aspecten nader beschouwd in het licht van de beslissing die voorligt. De derde stap betreft een verificatie en plausibiliteitscontrole. Indien nodig kunnen voor de tweede stap nadere analyses worden uitgevoerd of extra gegevens worden ingewonnen.

Het BRP is door Kennis voor Keringen in samenwerking met het USACE en het SO programma van Deltares ontwikkeld. In 2022 en 2023 zijn door DIV enkele pilots uitgevoerd bij versterkingsprojecten in het Hoogwaterbeschermingsprogramma. Dit rapport beschrijft deze stappen op hoofdlijnen; achtergronden zijn te vinden in [4].

<sup>1</sup> [https://publicwiki.deltares.nl/display/HWBPPiping/Aanpak+en+afweegkader#Aanpakenafweegkader-GeohydrologischeAanpakPiping\(GAP\)](https://publicwiki.deltares.nl/display/HWBPPiping/Aanpak+en+afweegkader#Aanpakenafweegkader-GeohydrologischeAanpakPiping(GAP))

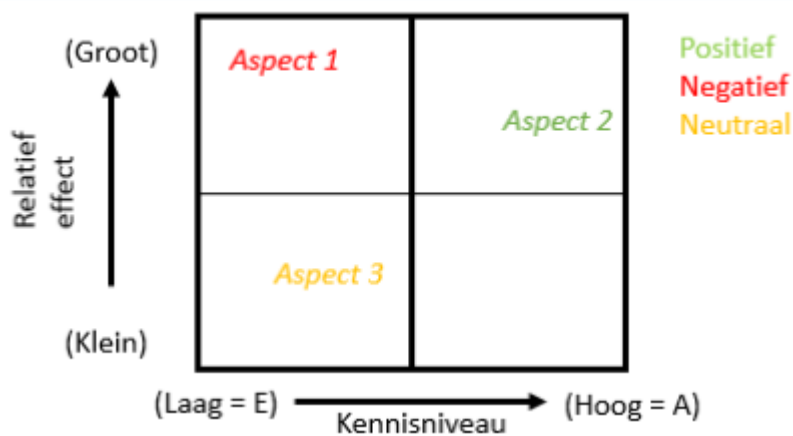
Dit hoofdstuk werkt het Beslisondersteunend Raamwerk Piping (BRP) uit voor de bepaling van de veiligheidsopgave.

### 2.3 Overzicht en begrip

Met de rekenregel van Sellmeijer kan een eerste analyse van de overstromingskans door piping, gegeven opbarsten, worden uitgevoerd. De rekenregel betreft een eenvoudig model dat niet met alle aspecten van piping rekening houdt. Voor analyse van het faalmechanisme piping bij van dijken is meer kennis beschikbaar en spelen meer aspecten een rol dan in een analyse met de rekenregel van Sellmeijer worden beschouwd.

In de eerste stap van het BRP wordt een overzicht gegeven van de impact van deze aspecten, ten opzichte van de analyse met de rekenregel. De verschillende aspecten worden ingeschaald op basis van het kennisniveau en het verwachte relatief effect (ten opzichte van elkaar) op de overstromingskans. Door deze aspecten te positioneren op in de kwadranten in Figuur 2-1 wordt snel inzichtelijk welke aspecten van belang zijn. In kleur is aangegeven of een aspect de overstromingskans verkleint (positief effect) of vergroot (negatief effect). Initieel worden alle aspecten meegenomen bij het invullen van het kwadrant, zodat een helder overzicht wordt gekregen.

Het overzicht geeft aan hoe goed, gegeven de actuele kennis, de overstromingskans met een standaardanalyse kan worden bepaald. De aspecten in de onderste kwadranten hebben relatief weinig impact. Wanneer de groene en rode aspecten in de bovenste twee kwadranten redelijk verdeeld zijn kunnen de positieve en negatieve effecten elkaar deels corrigeren. Op basis van het overzicht kan de overstromingskans worden geëvalueerd.



Figuur 2-1 kwadranten voor inschatting relevantie aspecten

Navolgende tabel beschrijft de aspecten die niet in de standaard analyse met de rekenregel van Sellmeijer worden beschouwd. Door Kennis van Keringen (KvK) zijn voor deze aspecten factsheets opgesteld waarmee de invloed op de overstromingskans voor een specifieke locatie kan worden geschat. Tevens geven de factsheets inzicht in de ontwikkelstatus / kennisniveau en toepassingsgebied van de beschikbare kennis.

Op de WIKI van De Innovatieversneller is een rapportage opgenomen met de factsheets die vanuit Kennis voor Keringen zijn opgesteld

Link naar de rapportage:

<https://publicwiki.deltares.nl/display/HWBPPiping/Generiek?preview=/210371262/308413598/112052~1.PDF#Generiek-KvKPiping2018-2019:toepassingontwikkeldekennis>



Tabel 2-1 overzicht van Aspecten met bijbehorende kennisniveau en impact op overstromingskans

Aspect	Kennisniveau, afhankelijk van toepassingsgebied	Relatief effect ten opzichte van analyse met generieke regels Positief -> kleinere overstromingskans
1. Sterkte van deklaag bij opbarsten	Middel* (C)	Positief
2. Tijdsafhankelijke grondwaterstroming bij opbarsten	Hoog (B)	Positief
3. Geohydrologische invloeden voor opbarsten	Hoog (B)	Positief of negatief
4. Aanwezigheid voorland (>1 keer dijkbasis)	Hoog (B)	Positief
5. Extra sterkte van fijne fractie	Hoog (B) in getijdengebied middel elders (C)	Positief
6. Extra sterkte uit slechte sortering (grote d60/d10) en grof zand. (een slechte sortering komt vaker voor bij grotere korrels)	Middel (C)	Positief
7. Invloed van drukval in opbarstkanaal (hoger of lager dan 0.3d) .	Midde (C)I	Positief of negatief (tov 0,3d)
8. Heterogeniteit korrelgrootte in baan van de pijp	Laag (D)	Positief of negatief
9. Fluctuatie van de onderkant deklaag, of helling van de onderkant van de deklaag in de baan van de pipe.	Laag (D)	Positief of negatief (afh. van richting helling en of het een uniforme of fluctuerende helling is)
10. 3D concentratie van stroming naar de pipe	Laag (D)	Negatief
11. Tijdsafhankelijkheid voor terugschrijdende erosie.	Middel (C)	Positief
12. Anisotropie van de doorlatendheid	Hoog (B)	Positief
13. Meerlaagsheid watervoerend pakket (tov gewogen gemiddelde)	Hoog (B)	Positief
14. Duur van bezwijkproces voor vervolgprocessen	Laag (E)	Positief

\* Door toename van kennis in het project opbarsten dijken (POD) wijkt het kennis niveau af van het kennisniveau in de factsheet van Kennis voor Keringen

#### 2.4 Analyse en handelingsperspectief

De aspecten in de bovenste kwadranten hebben relatief veel impact op de overstromingskans en daarmee op de veiligheidsopgave en uiteindelijk op de keuze voor en ontwerp van een versterkingsmaatregel. Met gevoeligheidsanalyses kan de impact van aspecten met voldoende kennisniveau worden bepaald. Dit helpt bij het verkrijgen van inzicht in effect dat een specifiek aspect heeft op de beslisvraag.

De aspecten in de onderste kwadranten hebben minder impact op de overstromingskans. Nadere analyse van deze aspecten wordt alleen aanbevolen wanneer deze kunnen bepalen of er een opgave is. Indien dit niet het geval is wordt, vanwege de geringe impact, aanbevolen voor deze aspecten te werken met veilige en robuuste uitgangspunten.

In een gevoeligheidsanalyse worden:

- onder- en bovengrenzen voor de te onderzoeken aspecten geschat. Informatie waarmee de bandbreedte kan worden bepaald voor een specifieke locatie wordt op termijn in de genoemde KvK factsheets gegeven;
- onafhankelijke scenario's gedefinieerd waarin per aspect wordt gevarieerd (overige parameters worden gelijkgesteld aan de set die hoort bij de meest realistische basisschematisatie voor aspecten);
- meestal geen correlatie tussen de te onderzoeken scenario's verondersteld. Wanneer dit wel logisch zou zijn kunnen ook combinaties van scenario's worden onderzocht. De KvK factsheets geven wel aan tussen welke aspecten een correlatie verwacht kan worden.

De gevoeligheidsanalyse lijkt op een light vorm van een probabilistische analyse maar heeft een ander doel. Het doel is niet om de resultaten van alle combinaties van parameterwaarden te onderzoeken, of om een faalkans uit te rekenen. In een gevoeligheidsanalyse worden de parameters gevarieerd waarvan de onzekerheid een impact kan hebben op de overstromingskans, om de bandbreedte te bepalen waarbinnen de overstromingskans valt.

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse kunnen aanleiding zijn om de basisschematisatie of het veiligheidsformat van de rekenregel aan te passen en/of een ander rekenmodel te gebruiken voor de veiligheidsanalyse. Ze worden gebruikt bij de duiden van de analyseresultaten en onderbouwen van de keuze voor een versterkingsmaatregel.

Aanpassen van de basisschematisatie of het veiligheidsformat van de rekenregel is mogelijk voor aspecten die geen impact hebben op het gemodelleerde fysisch gedrag. Denk daarbij aan het definiëren van een fictieve kwelweglengte om de weerstand van het voorland in rekening te brengen, het aanpassen van de doorlatendheid om het effect van meerlaagsheid in bepaalde gevallen<sup>2</sup> mee te nemen of rekenen met een afwijkende schadefactor om de impact van fines mee te nemen.

Een ander rekenmodel (bijvoorbeeld D – Geo Flow) kan worden toegepast wanneer de geohydrologie zich niet door het model achter de rekenregel van Sellmeijer laat beschrijven. Voorbeelden hiervan zijn het in rekening brengen van anisotropie, en andere gevallen van meerlaagsheid.

Voor sommige effecten is nog geen gevalideerd model beschikbaar, zoals bijvoorbeeld het effect van 3D concentratie naar pipe (negatief effect), of heterogeniteit in de baan van de pipe. Wanneer deze aspecten bepalend zijn voor de veiligheidsopgave dient hiermee rekening te worden gehouden bij de duiding van de overstromingskans en de keuze van tijdstip en type versterkingsmaatregel.

Voor de duiding is het belangrijk om de impact van de onzekerheid in relatie tot de doelmatigheid van een investering in een maatregel te beschrijven. Daarbij geldt in het algemeen dat bij ontwerpen robuuste keuzes beter te verantwoorden zijn dan bij beoordelen.

<sup>2</sup> Situaties met een watervoerend pakket bestaand uit 2 lagen, een minder doorlatende bovenop een meer doorlatende laag.

## 2.5 Verificatie en plausibiliteitscontrole

In een beoordeling of de ontwerpverificatie wordt getoetst of de kering of een versterkingsontwerp voldoet aan de overstromingskansen. De basis voor de ontwerpverificatie is een overzicht van gebeurtenissen die kunnen leiden tot overstromen. Een gebeurtenis heeft betrekking op het veronderstelde gedrag tijdens ontwerpcondities en gebeurtenissen die bepalen hoe de kering er tijdens extreme omstandigheden bijligt. De aspecten die in stap 1 zijn gedefinieerd kunnen worden gebruikt voor het bepalen van gebeurtenissen die betrekking hebben op het veronderstelde gedrag van de kering.

In een cyclisch proces van grof naar fijn wordt bij de verificatie ingezoomd op de gebeurtenissen die de overstromingskans bepalen. De maatregelen (in ontwerp, realisatie en beheer) en keuzes die worden gemaakt om overstromingskansen te reduceren worden vastgelegd. Eventuele nieuwe (ongewenste gebeurtenissen) die het gevolg zijn van gemaakte keuzes worden aan het overzicht van gebeurtenissen toegevoegd. De verificatie is afgerond wanneer de overstromingskans van het totaal aan gebeurtenissen kleiner is dan de vereiste overstromingskans. De ontwerpverificatie is beschreven in de Handreiking veiligheidsontwerp.

Tenslotte wordt opgemerkt dat het belangrijk is dat altijd de context van de waterkering centraal staat. Onzekerheden bij een schaaldijk hebben voor piping een andere betekenis dan dezelfde onzekerheden bij een kering met een breed voorland.

In alle gevallen wordt een plausibiliteitscontrole aanbevolen. Daarbij worden de volgende vragen gesteld:

1. Heb ik de alle kennis gebruikt? *Zou meer informatie tot een ander resultaat leiden?*
2. Heb ik de kennis op een goede manier geïnterpreteerd? *Is het resultaat logisch en verklaarbaar?*
3. Heb ik niet vanuit een tunnelvisie geredeneerd? *Ben ik voldoende uitgedaagd, bijvoorbeeld vanuit kwaliteitsborging en vierogenprincipe, check door De Innovatieversneller of challenge door Adviesteam Dijkontwerp?*

*Op de WIKI van De Innovatieversneller is een voorbeeld van het gebruik van het BRP voor het bepalen van de opgave uitgewerkt voor een casus bij het versterkingsproject Sterke Lekdijk.*

*In deze casus werden 2 deelgebieden onderscheiden. In één daarvan is gezien de impact van onzekerheden in combinatie met de te treffen maatregel voor deel van het gebied besloten om een groter deel te versterken. In het andere deel was besloten om nog niet te versterken ondanks resterende onzekerheid;*

*Link naar de casus:*

[https://publicwiki.deltares.nl/display/HWBPPiping/Vragen+en+antwoorden?preview=/232326028/248349142/2023-01-03%20toepassen%20D%20Geo-Flow%20bij%20CUB\\_Wiki.pdf](https://publicwiki.deltares.nl/display/HWBPPiping/Vragen+en+antwoorden?preview=/232326028/248349142/2023-01-03%20toepassen%20D%20Geo-Flow%20bij%20CUB_Wiki.pdf)

## 2.6 Ontwerppogave

### 2.6.1 Inleiding: van veiligheidsopgave naar ontwerppogave

Nadat de veiligheidsopgave kan de ontwerppogave worden vastgesteld. De ontwerppogave vormt het vertrekpunt voor de inventarisatie en selectie van mogelijke maatregelen, zoals beschreven in hoofdstuk 3.

De ontwerppogave zet de veiligheidsopgave in de context van ruimte en tijd. De ontwerppogave beschrijft de scope (probleemdefinitie en afbakening) van een project. De ontwerppogave maakt, behalve de begrenzing, ook duidelijk wat het karakter van het project is: wanneer moet ik maatregelen treffen (ontwikkeling opgave in de tijd)? vallen te nemen maatregelen tegen piping samen met maatregelen voor andere mechanismen? Zijn er ruimtelijke ontwikkelingen die het karakter van maatregelen beïnvloeden?

In deze paragraaf lichten we een aantal belangrijke aspecten uit die bepalend zijn voor de ontwerpogave door piping: de ontwikkeling van de opgave in de tijd, samenhang met de veiligheidsopgave voor andere faalmechanismen en ruimtelijke ontwikkelingen.

#### 2.6.2 *Ontwikkeling veiligheidsopgave in de tijd*

Onzekere ontwikkelingen in de tijd kunnen de veiligheidsopgave beïnvloeden qua omvang en aard. Zo kan een veiligheidsopgave voor piping groter worden (afstand tot de norm en / of aantal meters te versterken waterkering) door de toename van het verval door stijgende waterstanden, bodemdaling of een combinatie daarvan. Daarnaast kan het karakter van de opgave veranderen: waar bijvoorbeeld de veiligheidsopgave door nieuwe inzichten een beperkte afstand tot de norm heeft en wellicht nog op te lossen was met een kleinschalige maatregel of zelfs beheermaatregel, kunnen de ontwikkelingen in de tijd leiden tot een grootschalige maatregel.

Het is dus van belang een goed beeld te hebben van de toekomstige opgave. Gebruikelijk kijken we bij groene dijken 50 jaar en bij constructies 100 jaar vooruit. Daarnaast kan het zinvol zijn ook naar andere (kortere) zichtperiodes te kijken of 'omslagpunten' in de tijd te bepalen als vertrekpunt voor een latere analyse of kortcyclisch versterken zinvol is (via bijvoorbeeld de LCC-methode).

Het is van belang breed te kijken naar ontwikkelingen die van invloed op de opgave kunnen zijn. Denk aan verandering van de hydraulische belastingen door morfologische ontwikkelingen of klimaatverandering en verandering van de sterkte van de waterkering door bijvoorbeeld bodemdaling en verouderingsprocessen. Zoals gezegd zijn de toekomstige ontwikkelingen onzeker. Daarom is het zinvol voor onzekere ontwikkelingen scenario's met bandbreedtes op te stellen. Over de omgang met onzekerheden in gevoeligheidsanalyses is in paragraaf 2.5 het een en ander gezegd.

#### 2.6.3 *Koppeling met andere faalmechanismen*

Het al dan niet samenvallen van een veiligheidsopgave voor piping met opgaven voor andere mechanismen is medebepalend voor de aard van de versterkingsopgave en de selectie van maatregelen. Zo ligt het voor de hand om in geval van het samenvallen van een veiligheidsopgave voor piping en macrostabiliteit binnenwaarts, te kiezen voor één maatregel voor beide mechanismen. Dat kan een beperkende factor zijn bij de inventarisatie en selectie van mogelijke maatregelen voor piping, zoals beschreven in hoofdstuk 3.

Het is hoe dan ook belangrijk dat voor het veiligheidsontwerp onderdelen van de waterkering in samenhang worden ontworpen en niet volledig onafhankelijk van elkaar. Dit lijkt voor de hand liggend, maar in de ontwerppraktijk is het toch soms noodzakelijk om de ontwerpopdracht op te splitsen per functioneel onderdeel of per faalmechanisme vanwege de toegenomen complexiteit van analyses en de omvang van het werk door de toegenomen grootte van dijkversterkingsprojecten. Denk bijvoorbeeld aan het ontwerp van langsconstructies ter verbetering van de stabiliteit of het ontwerp van pipingmaatregelen. Het is goed denkbaar dat deze functionele onderdelen door verschillende teams worden uitgewerkt. Het is dan belangrijk om deze werkzaamheden goed op elkaar af te stemmen en het functioneren van de waterkering als geheel te beschouwen. Denk bijvoorbeeld aan een stabiliteitsscherm dat tevens dienst doet als pipingmaatregel. Het is ook mogelijk dat het ene functionele onderdeel een ongewenst effect uitoefent op het ander functionele onderdeel. Denk daarbij bijvoorbeeld aan een pipingmaatregel waarbij erosiepijpontwikkeling onder een deel van de waterkering plaats vindt. Wanneer deze erosiepijpontwikkeling effect kan hebben op de macrostabiliteit zou daardoor bij het ontwerp op macrostabiliteit ook rekening mee gehouden moeten worden.

#### 2.6.4 *Ruimtelijke ontwikkelingen*

Ook ruimtelijke factoren kunnen van (grote) invloed zijn op de aard en timing van versterkingsmaatregelen. Het ruimtelijke karakter en de gebruiksfuncties van een gebied zijn in sterke mate bepalend voor de ruimte die beschikbaar is voor een dijkversterkingen. Daarnaast kan het doelmatig zijn om het treffen van een maatregel te versnellen of juist te vertragen om aan te sluiten bij een ruimtelijke ontwikkeling.

Een voorbeeld hiervan zijn de KRW-maatregelen die RWS in de uiterwaarden wil realiseren. Die maatregelen kunnen bestaan uit bijvoorbeeld nevengeulen of verlagingen van het maaiveld om overstromingsvlaktes te vergroten. Deze maatregelen kunnen de grondwaterhuishouding veranderen en daarmee de opgave beïnvloeden en uiteindelijk de keuze voor een pipingmaatregel mede bepalen.

Ook kunnen dergelijke maatregelen synergie met een dijkverbeteringsproject opleveren. Er kan bijvoorbeeld bruikbare gebiedseigen grond vrijkomen die benut kan worden in de waterkering, of aan- en afvoer van materialen kan gecombineerd worden om overlast voor de omgeving te voorkomen.

## 3 Inventarisatie en selectie mogelijke maatregelen

### 3.1 Inleiding

De HWBP waaier geeft een overzicht van innovatieve maatregelen [5]. De waaier is te vinden op de WIKI van De Innovatieversneller.

Met het in beeld brengen van de veiligheids- en ontwerpogave ontstaat onder andere een beeld bij de belangrijkste faalmechanismen in het project, waaronder het faalmechanisme piping. In dit hoofdstuk worden concrete handvatten gegeven voor projectteams om vanuit de opgave te trechteren naar relevante maatregelen op een projectlocatie. Aan de hand van deze eerste trechtering wordt op een efficiënte manier naar maatregelen geconvergeerd die opgenomen kunnen worden in de afweging.

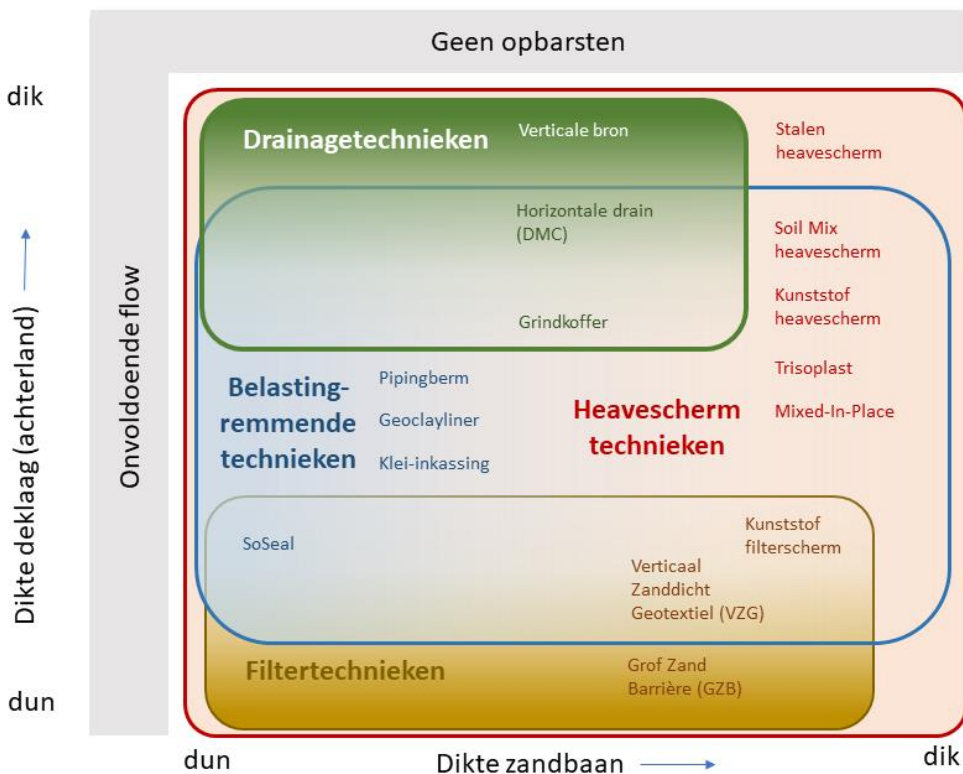
Een eerste stap in het komen tot alternatieven is het selecteren van geschikte maatregelen. Op basis van locatiespecifieke karakteristieken in beeld zijn gebracht bij het komen tot een veiligheids- en ontwerpogave, voert een projectteam een eerste zeef uit, waarna een shortlist van enkel relevante maatregelen voor de projectspecifieke omstandigheden overblijft.

Die eerste zeef bestaat uit de toepassing van het model zoals weergegeven in Figuur 3-1. Daarin zijn de nu beschikbare pipingmaatregelen ingedeeld aan de hand van:

1. Het toepassingsbereik van de verschillende groepen van pipingmaatregelen aan de hand van de dikte van de deklaag en dikte van de zandbaan, en
2. De relatieve doelmatigheid van de verschillende groepen van pipingmaatregelen is weergegeven doordat de bovenop of voorliggend afgebeelde maatregelen globaal gezien doelmatiger zijn dan onderop of onderliggende maatregelen.

### 3.2 Inventariseren maatregelen

Op basis van relatieve doelmatigheid van de groepen van pipingmaatregelen kan een eerste selectie van mogelijke maatregelen worden gemaakt. Figuur 3-1 geeft een verdringing van maatregelen weer. De 'bovenop' zichtbare maatregelen (de belastingremmende of kwelwegverlengende maatregelen) zijn vanuit kosteneffectiviteit meestal meer doelmatig, heaveschermen zijn relatief het minst doelmatig. Met de doelmatigheid wordt hier 'tegen relatief lagere kosten' bedoeld. Heaveschermen zijn per strekkende meter relatief duur ten opzichte van de andere groepen van technieken. Wel is het zo dat de verschillen binnen de groepen ook aanzienlijk kunnen zijn. Zo is een stalen heavescherm veel duurder dan kunststof heavescherm.



*Figuur 3-1 Overzicht pipingmaatregelen gegroepeerd naar gebiedseigenschappen. De meer doelmatigere maatregelen staan 'op de voorgrond' in de figuur, de minder doelmatige maatregelen verder 'op de achtergrond'.*

Op basis van bovenstaande figuur kan een eerste inventarisatie worden gemaakt van geschikte maatregelen. Om de verdringing nader te onderbouwen kunnen de vragen in Tabel 3-1 worden doorlopen. Deze eerste inventarisatie is op hoofdlijnen en dus vooral gebaseerd op toepassingsbereik en economische doelmatigheid, andere criteria (zoals duurzaamheid, conditionering of het voorkomen van omgevingseffecten) binnen een project kunnen tot andere keuzes leiden.

De volgorde van de reeks hangt af van de uitkomsten uit Figuur 3-1 en van de doelmatigheidsvolgorde. De best-passende (groep van) maatregelen bij de specifieke locatie vormt de eerste vraag in het selecteren van maatregelen. Als bijvoorbeeld een filterconstructie het best past bij de verhouding deklaag/achterland van de projectlocatie, dan wordt vraag 3 als eerst beantwoord uit Tabel 3-1. Daarna dienen de overige vragen in de weergegeven volgorde beantwoord te worden. De volgorde is gebaseerd op doelmatigheid, dat aansluit bij de doelstellingen van het HWBP. Zodoende worden heaveschermen als laatst in de verdringingsreeks opgenomen, deze schermen kunnen in veel gevallen als oplossing gelden, maar vanuit het oogpunt van 'sober en doelmatig' niet de voorkeur krijgen.

Tabel 3-1 Overzicht met vragen en ten behoeve van de bepaling van doelmatigheid

<b>Hoofdvraag</b> , met toelichting	
Belastingremmende technieken	<p style="text-align: center;"><b>Is horizontale kwelwegverlenging mogelijk binnen het project?</b></p> <p>Voor belastingremmende maatregelen (klei-inkassing, Bentonietmatten of geoclayliner) is voldoende ruimte in het voorland nodig. In deze processtap beoordeelt een projectteam of er binnen het project over het algemeen genoeg ruimte in het voorland is om voorlandverbeteringsmaatregelen mee te nemen in de afweging.</p>
Drainagetechnieken	<p style="text-align: center;"><b>Is het verlagen van de belasting effectief?</b></p> <p>Het doel van drainagetechnieken is om waterspanningen te reduceren en grondwaterstanden te verlagen. Hierdoor vermindert het risico op opbarsten, heave en/of terugschrijdende erosie. De vraag die bij deze stap centraal staat is of het waardevol is om een extra techniek in de grond in te brengen, dus of het een voordeel heeft om te draineren ten opzichte van het inbrengen van een filtertechniek versus het nadeel dat er meer beheer en onderhoud nodig is.</p>
Filtertechnieken	<p style="text-align: center;"><b>Is een filterconstructie maakbaar?</b></p> <p>In [6] staan enkele afwegingen beschreven over de maakbaarheid en uitvoerbaarheid van filterconstructies (Verticaal Zanddicht Geotextiel, Grof Zand Barrière). Zo wordt een filterconstructie globaal gezien rond de binnenteen of onder de binnenberm geplaatst, moet er worden voorkomen dat er interferentie optreedt met het uittredepunt en moet de afstand tot de watergang groot genoeg zijn om te voorkomen dat onderhoudswerkzaamheden de functionaliteit gaan beïnvloeden. Anderzijds is de uitvoerbaarheid dichterbij de kruin moeilijker, door de diepte onder het binnentalud. Als een balans kan worden gevonden tussen de afstand tot de watergang en de kruin en er geen hinder wordt verwacht van dierlijke graverij, dan kunnen filterconstructies meegenomen worden in de afweging. Eventueel kan een projectteam de voor- en nadelen van GZB's en VZG's al ten opzichte van elkaar afwegen.</p>
Heavescherm technieken	<p style="text-align: center;"><b>Zijn heaveschermen de enige optie op deze locatie?</b></p> <p>Indien stap 1, 2 en 3 elk geen geschikte oplossingsrichting bieden, dan lijkt een heavescherm het enige doelmatige alternatief. Hierbij is de oplossing alleen nog afhankelijk van de dimensies van de maatregel (lengte en diepte) en richt de afweging van maatregelen zich op het onderscheiden tussen de karakteristieken van verschillende heaveschermen (staal, Soil Mix, kunststof, trisoplast en Mixed-In-Place).</p>



Met de beschreven verdringing uit Figuur 3-1 en vragen uit Tabel 3-1 kan een projectteam tot een eerste selectie van maatregelen komen. Hieronder staat een beschrijving van de pipingmaatregelen. In dit overzicht zijn alleen maatregelen meegenomen die zo ver zijn ontwikkeld dat ze daadwerkelijk in een versterkingsproject kunnen worden toegepast. In onderstaande paragrafen worden per groep de maatregelen beschreven met een korte toelichting. Voor een uitgebreidere toelichting wordt verwezen naar achterliggende OBOR's, publicaties en de POV Piping.

### 3.2.1 Heavescherm technieken

Bij deze techniek wordt aan de binnendijkse zijde van de dijk een waterdichte wand verticaal in de watervoerende zandlaag aangebracht. Eventuele zandmeevoerende wellen lopen dood tegen de wand, waarna de positie van de wand het optreden van heave en dus piping voorkomt [7]. Zie Tabel 3-2 voor de een niet-limitatief overzicht van de verschillende vormen van een heavescherm zoals die de laatste jaren zijn onderzocht (zie ook de Innovatiewaaijer van het HWBP).

Tabel 3-2 Heavescherm maatregelen

Heavescherm techniek	Toelichting
Stalen heavescherm	Waterdichte wand van staal, verticaal in de watervoerende zandlaag aangebracht [7].
Kunststof heavescherm	Waterdichte wand van kunststof, verticaal in de watervoerende zandlaag aangebracht [8].
Trisoplast	Waterdicht mengsel van zand, bentoniet en polymeer dat tot 8 meter diep als kwelscherm aangebracht wordt [9].
Soil Mix	Bestaande grond wordt met een freestechniek gemengd met een toeslagmateriaal, waardoor er een slecht waterdoorlatende wand in de grond ontstaat [5].
Mix-In-Place	Bestaande grond wordt met een bindmiddel zoals cement gemengd, waardoor een slecht doorlatende wand in de grond ontstaat .

### 3.2.2 Filtertechnieken

Bij deze techniek wordt aan de binnenzijde van de dijk een constructie met een waterdoorlatende filter toegepast. Hierbij is het doel het water door te laten en zand/grond tegen te houden, waardoor pipes niet verder richting de dijk kunnen doorgroeien. De maatregelen worden veelal ter plaatse van de bovenzijde van de pipinggevoelige zandlaag aangebracht, onder de ondoorlatende deklaag [6]. Zie Tabel 3-3 voor de verschillende vormen van filtertechnieken.

Tabel 3-3 Filtertechniek maatregelen

Filtertechniek	Toelichting
Verticaal Zanddicht Geotextiel	Het verticaal geotextiel wordt geplaatst op de overgang tussen de deklaag (klei) en de waterdoorlatende laag (zand). Het textiel laat water door, maar blokkeert zandkorrels. Hierdoor kan er wel een kwelstroom op gang komen, maar kan er geen pipe onder de dijk ontstaan [10].
Grof Zand Barrière	Sleuf onder de deklaag gevuld met grof zand, waardoor een ontwikkelende pipe zal stoppen. Sleuf gevuld met grof zand op de overgang tussen de deklaag (klei) en de waterdoorlatende laag (zand). De barrière laat water door maar niet de zandkorrels. Er ontstaat een zandmeevoerende wel maar de ontwikkeling van de pipe stopt bij de barrière [9].
Kunststof filterscherm	Wand van kunststof met holle kokers waarin filterconstructies zijn opgenomen. Het water kan het filter passeren, maar zandkorrels kunnen dit niet. Het scherm wordt verticaal in de watervoerende zandlaag aangebracht [6].

### 3.2.3 Drainagetechnieken

Drainagetechnieken richten zich op het reduceren van waterspanningen en grondwaterstanden, waardoor het risico op opbarsten, heave en/of terugschrijdende erosie wordt verminderd [11]. In Tabel 3-4 worden de drainagemaatregelen toegelicht.

Tabel 3-4 Drainagemaatregelen

Drainagetechniek	Toelichting
Verticale bron	Een verticale bron (relief well) onttrekt grondwater uit een diepe zandlaag, om de waterdruk in een zandlaag te verlagen [9]. Dit kan zowel op passieve wijze, waarbij water onder vrij verval uit de drain stroomt en op actieve wijze met een pomp [5].
Horizontale drain	In een horizontale drain wordt water opgevangen en afgevoerd door een horizontale filterbuis [11]. Ook deze maatregel kan passief en actief worden aangelegd. Een voorbeeld is het Dijk Monitoring Conditionering (DMC)-systeem dat continu de stijghoogte meet, en de stijghoogte autonoom verlaagd als er sprake is van overtollig water [12].
Grindkoffer	Een grindkoffer maakt gebruik van een geotextiel in combinatie met grind of een granulair filter. Dit filter is grond dicht waardoor geen uitspoeling van zand kan plaatsvinden [9].

### 3.2.4 Belastingremmende technieken

Bij belastingremmende (of kwelwegverlengende) technieken wordt de weerstand tegen piping vergroot door de doorlatendheid van het zandpakket te verlagen, het intredepunt verder buitendijks of het uittredepunt verder binnendijks te dwingen. Tabel 3-5 geeft de belastingremmende maatregelen die in het voorland toepasbaar zijn.

Tabel 3-5 Belastingremmende maatregelen

Belastingremmende techniek	Toelichting
Geoclayliner	De Geoclayliner bestaat uit 2 lagen geotextiel met daartussen bentoniet [13], deze werkt als een waterdichte laag die de kwelweg verlengt [5].
Klei-inkassing	De klei-inkassing bestaat uit een klei die wordt aangebracht in het voorland en die werkt als een waterdichte laag die de kwelweg verlengt.
SoSeal	Injectietechniek waarbij neerslagproducten van aluminiumverbindingen en organisch materiaal de waterdoorlatendheid van zandlagen sterk verminderen [9].

## 4 Afwegen maatregelen

### 4.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk is een overzicht gegeven van mogelijke maatregelen en handvatten om tot een eerste selectie te komen. In deze inleiding bespreken we eerst een aantal praktijkervaringen, waarna we in het vervolg van het hoofdstuk dieper ingaan op het (iteratieve) proces van afweging van geselecteerde pipingmaatregelen en de belangrijke aandachtspunten die daarbij spelen.

#### **Ervaringen uit de praktijk**

*Uit interviews met verschillende waterkering beheerders blijkt dat de afweging van pipingmaatregelen op veel verschillende manieren plaatsvindt. Het doel van het DIV is derhalve om richting te geven aan het afwegingsproces en gebruikers een handvat te bieden voor dit proces.*

*De belangrijkste in de interviews genoemde ervaringen zijn:*

1. **Uitlegbaarheid:** De uitkomsten van de afweging dienen goed uitlegbaar en onderbouwd te zijn. Dit is essentieel voor het draagvlak en de herleidbaarheid van de gemaakte keuzes in het proces.
2. **Team:** Bij de afweging dienen minimaal de disciplines TM/OM en de (watergang)beheerder te zijn aangesloten. Hierdoor worden de aspecten vanuit ervaringen beoordeeld, wat leidt tot een beter inzicht in de haalbaarheid van de maatregelen. Ook kennisleemtes kunnen zo snel worden gesignaleerd zodat hierop kan worden ingespeeld.
3. **Gelijkwaardige uitwerking alternatieven:** Alle maatregelen dienen te worden beoordeeld op de beoogde effecten. Dit geldt in het bijzonder voor nieuwere technieken. De risico's voor het niet halen van de beoogde effecten wordt separaat opgenomen in de onderbouwing, samen met de beheersmaatregelen.
4. **Risicotolerantie:** Uit de interviews blijkt dat de risicotolerantie van het waterschap of projectteam van invloed is op de selectie van maatregelen. Wees je hier als team van bewust en bespreek dit zodat dit een gelijkwaardige weging niet in de weg staat. Dit kan bijvoorbeeld door risico's vanuit de verschillende IPM-disciplines te beschouwen.
5. **Risico-allocatie:** Aan sommige maatregelen zijn meer risico's voor het project verbonden dan andere. Bedenk vooraf waar deze risico's komen te liggen. Bij innovatie kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van het Kennis en Innovatie Agenda (KIA) budget van het HWBP. Ook de allocatie is belangrijk. Elke partij draagt een deel van de risico's (HWBP/waterschap/markt), geen partij kan het risico van een innovatieve maatregel financieel alleen dragen.
6. **Bepalende criteria:** Vanuit de interviews zijn een aantal criteria als bepalend naar voren gekomen. Deze zijn hieronder opgenomen:
  - o **Financierbaarheid**
  - o **Tevredenheid stakeholders**
  - o **Duurzaamheid**
  - o **Omgevingseffecten**
  - o **Omvang van onzekerheden**

*'Waterveiligheid' werd hierbij als randvoorwaarde beschouwd waar alle maatregelen aan moesten voldoen. 'Beheerbaarheid' en 'maakbaarheid' werden onder 'waterveiligheid' geschaard.*

### 4.2 Inventariseren maatregelen

Bij het inventariseren van de relevante maatregelen voor een projectlocatie is het van belang om een overzicht te creëren van alle mogelijke maatregelen voor de pipingopgave. Op basis van bijvoorbeeld het karakter van de locatie en samenhang van de opgave met andere faalmechanismen kunnen sommige opties logischerwijs al afvallen, zie hoofdstuk 2. Bij een nadere beschouwing van de bodemopbouw en

beschikbare ruimte kunnen maatregelen daarna ook nog afvallen. Deze beschouwing kan worden uitgevoerd op basis van expert judgement. De handvatten uit paragraaf 3.2 kunnen hierbij helpen. Leg hierbij de onderbouwing voor het afvallen van de maatregel vast.

Bij de inventarisatie is het belangrijk dat aannames expliciet worden gemaakt, gemotiveerd en vastgelegd en dat deze gebaseerd zijn op feiten. De ervaring leert dat bij deze stap sommige maatregelen afvallen door een onderbuikgevoel of kennisgebrek "het zal wel erg duur zijn", "de risico's zijn te groot", etc.

Er zijn ook veel nieuwere technieken beschikbaar waarbij de mogelijkheid bestaat dat de toepasbaarheid voor de projectlocatie nog niet bekend is. Dit is geen reden om een maatregel uit te sluiten. De techniek wordt meegenomen als een maatregel met een hoger risicoprofiel.

### 4.3 Vaststellen afweegcriteria

Het vaststellen van de afweegcriteria is een cruciale stap in het proces. Hierbij wordt bepaald welke aspecten het meest relevant zijn bij het evalueren van de maatregelen en welke criteria hiervoor gelden. De projectdoelstellingen worden hiervoor als basis gebruikt. Dit zijn vaak globale doelstellingen waar het project aan dient te voldoen en zijn voor elk project anders. Door deze te specificeren naar toetsbare criteria ontstaat een Trade-Off Matrix (TOM) die de essentiële aspecten van de opgave weerspiegelen.

Als voorbeeld waarin projectdoelstellingen zijn vertaald naar specifieke thema's en criteria nemen we het thema Duurzaamheid. Binnen dit thema zijn er vijf specifieke factoren en criteria geïdentificeerd waarop de maatregelen worden beoordeeld. Dit zijn:

- (mate van) Emissieloze uitvoering
- CO<sub>2</sub> en circulariteit
  - In de Productiefase
  - Circulariteit en Herbruikbaarheid van de maatregel
- Effect op natuurwaarden:
  - tijdelijk
  - permanent

Door alle maatregelen te scoren aan deze criteria worden waardevolle inzichten gegenereerd over de mate van duurzaamheid per maatregel. Dit ondersteunt het nemen van geïnformeerde beslissingen en het waarborgen van de projectdoelstellingen van de organisatie.

De precieze invulling van criteria kan ook verschillen tussen projecten en waterschappen. Voor duurzaamheid bijvoorbeeld kan ook in plaats van bovenstaande indeling de berekende MKI-waarde benut worden.

*Op de website van het Hoogwaterbeschermingsprogramma is informatie te vinden over de Roadmap Duurzaam HWBP. Hieronder vallen voorbeelden van projecten waarin MKI is toegepast in het ontwerpproces, implementatie van circulariteit in het ontwerpproces en kentallen en LCA's uit DuboCalc etc.*

### 4.4 Definiëren wegingsfactoren

Na het vaststellen van de afweegcriteria kunnen (optioneel) wegingsfactoren bepaald worden. Deze factoren geven aan hoe belangrijk elk criterium is ten opzichte van de andere. We kunnen deze wegingsfactoren zowel kwantitatief (bijvoorbeeld in percentages) als kwalitatief (bijvoorbeeld op een schaal van 1 tot 5) definiëren. Het is essentieel om de wegingsfactoren te baseren op de doelstellingen van het project en de prioriteiten van de belanghebbenden.

### 4.5 Scoren maatregelen

Met de vastgestelde criteria (en wegingsfactoren), kunnen de maatregelen gescoord worden op basis van deze parameters. Elk criterium wordt zorgvuldig geëvalueerd voor elke maatregel. Er dient voldoende

informatie beschikbaar zijn om de maatregel te beoordelen. In het geval van innovatieve maatregelen worden deze gescoord op de beoogde werking. Hierbij worden de bijkomende risico's meegenomen in de risicoafweging.

Ook dient de beoordeling te worden uitgevoerd door een divers team bestaande in elk geval (maar niet uitsluitend) uit: OM/TM & dijkbeheerder. Er moet voldoende kennis aanwezig zijn over de vergunbaarheid en inpasbaarheid van de maatregelen. Het resultaat is een matrix van scores die de relatieve prestaties van elke maatregel weergeeft. Hierdoor ontstaat een selectie van de meest kansrijke maatregelen om de pipingopgave op te lossen.

Een afweging kan ook zonder getalsmatige exercitie met criteria en scores, maar meer met een redeneerlijn op basis van diezelfde beslisinformatie. In dat geval wordt een meer kwalitatieve afweging gemaakt aan de hand van de onderscheidende criteria.

*Voorbeeld redeneerlijn onderbouwing VKA op 1 deeltraject van IJsselwerken*



**Voorkeursalternatief (VKA)**  
*Alternatief B is het VKA.*

**Onderbouwing:** Alle alternatieven leiden op dit traject tot veel sterk negatieve effecten en vergunbaarheidsrisico's. Alternatieven C en D met name door ruimtebeslag in Natura 2000 (vergunningrisico) en alternatief B door ruimtebeslag in het rabattenbos bij Harculo en grote impact op de woonfunctie. Om de effecten te beperken zijn de alternatieven in de noordelijke helft verder doorontwikkeld, met een combinatie van binnen- en buitendijkse maatregelen. Alternatief B en D zijn in het noordelijke deel daarom nagenoeg aan elkaar gelijk tot de aansluiting Fabrieksweg/Jan van Arkelweg en hebben geen binnendijks ruimtebeslag ter hoogte van de woningen Fabrieksweg 9 t/m 15.

Alternatief C kent de meeste sterk negatieve effecten op natuur, grootste technische nadelen en is het duurste alternatief. De effecten en kosten van alternatieven B en D zijn niet onderscheidend door het kleine verschil tussen de alternatieven. Vanwege de betere aansluiting op deeltraject 10.2 is alternatief B het VKA.

#### 4.6 Onderbouwen uitkomsten

Tot slot dienen de uitkomsten van de analyse onderbouwd te worden. Dit betekent dat we de scores en resultaten interpreteren en verklaren en toetsen of het proces goed is doorlopen. De volgende vragen kunnen daarbij worden gesteld:

1. Heb ik alle kennis en informatie gebruikt? Zou meer informatie of aanvullende analyse tot een ander resultaat leiden?



2. Heb ik de informatie op een goede manier geïnterpreteerd. Is het resultaat logisch en verklaarbaar? Vaak is een eenvoudige uitleg al voldoende.
3. Heb ik niet vanuit een tunnelvisie geredeneerd? Ben ik voldoende gechallenged, bijvoorbeeld vanuit kwaliteitsborging en 'vierogenprincipe' of een check door de Innovatieversneller?

In de onderbouwing komen in iedere geval de volgende zaken aan bod:

- Teamsamenstelling waaruit blijkt dat de juiste kennis en vaardigheden is gemobiliseerd;
- Uitwerking van het proces op hoofdlijnen waarmee de maatregelen zijn geselecteerd;
- De afwegcriteria die hebben geleid tot de uiteindelijke keuze;
- Gevoelighedsanalyses die de robuustheid van de gekozen maatregelen ondersteunen;
- De belangrijkste risico's en beheersmaatregelen van de gekozen maatregel en de allocatie hiervan.

Het kan voorkomen dat de uitkomsten niet behoorlijk onderbouwd kunnen worden. In dat geval dient de afweging aangepast te worden en opnieuw doorlopen. Het afwegingsproces is dus niet zonder meer lineair, maar in veel gevallen iteratief.

#### **4.7 Risico's & Financierbaarheid**

Het is belangrijk om de risico's expliciet in het proces af te wegen en afspraken te maken over het dragen van deze risico's. Hierbij is het van belang om rekening te houden met de investeringskosten versus de beheerkosten.

Een innovatie wordt daarnaast doorgaans gezien als een risicovol proces. Door deze werkzaamheden op te nemen als een separaat werkpakket kunnen de risico's los beheerst worden. Hiermee wordt voorkomen dat de inpassing van de innovatie sporen op het kritieke pad kunnen beïnvloeden.

Vanuit de interviews komt naar voren dat een open dialoog voeren met het HWBP en betrokken marktpartijen de beste optie is om met risico's om te gaan. Sommige innovaties kunnen worden gefinancierd vanuit de Kennis en Innovatie Agenda (KIA) van het HWBP. Bij deze regeling wordt 100% van de innovatie door het HWBP gefinancierd.

Over het algemeen geldt dat geen partij de risico's van innovaties alleen kan dragen. Hierover dienen afspraken gemaakt te worden tussen HWBP, waterschap en uitvoerder. Ook is het van belang om stil te staan bij de contractvorm met de aannemer aangezien sommige contractvormen de risico's bij de aannemer alloceren. Hierdoor kan het risico ontstaan dat de aannemer deze (innovatieve) maatregel te risicovol vindt.

*Bij de projectbegeleider van het HWBP of De Innovatieversneller kan meer informatie worden over het Risicovangnet van het HWBP*

#### **4.8 Handelingsperspectief**

Tijdens de afweging is het van belang steeds vooruit te kijken naar welke vervolgstappen en activiteiten nodig zijn na eventuele keuze voor de betreffende maatregel, in de verdere uitwerking in het ontwerp, de realisatie en de beheerfase: het handelingsperspectief. De aspecten binnen de handelingsperspectieven worden tevens meegenomen in de afweging.

Relevante aspecten bij het opstellen van een handelingsperspectief voor een maatregel zijn:

1. Zorgplicht waterkeringen, consequenties en inspanning voor:
  - a. Beheer en onderhoud  
*Hoe houd ik de maatregel in goede conditie? Welke monitorings- (zie volgende punt) en onderhoudsinspanning vraagt dat?*
  - b. Monitoring  
*Welke onzekerheden zijn er? Welk type monitoring is geschikt? Wat is de inspanning? Bij welke interventiewaarde tref ik welke maatregel?*

- c. Wettelijke beoordeling  
*Hoe borg en ontsluit ik de kennis over de maatregel voor volgende beoordelingsrondes?*
  - d. Crisisbeheersing  
*Bij welke waterstanden verwacht ik mogelijk een probleem en wanneer sowieso niet? Wanneer en hoe moet ik ingrijpen?*
  - e. Legger en Waterschapsverordening  
*Welk type landgebruik en activiteiten kan ik toestaan op of rond de maatregel? Op welke afstand? Welke aanpassingen in Legger, Waterschapsverordening vraagt dat?*
  - f. Vergunningverlening en Handhaving  
*Samenhangend met het vorige punt: welke beleidsregels en vergunningsvoorwaarden gelden bij activiteiten in de buurt van de maatregel? Welke aanpassingen in het beleid vraagt dat?*
2. Borging besluitvorming  
*Wie neemt welke besluiten over de maatregel? Welke beslisinformatie is daarbij nodig?*
  3. Communicatie omgeving  
*Wat vertel ik wanneer over de afweging en keuze voor maatregelen aan de omgeving? Voor wie is welk verhaal van belang?*

Een voorbeeld van een handelingsperspectief is opgenomen in de Handreiking Beslisboom Piping [14].

Link naar de Beslisboom Piping:

[https://publicwiki.deltares.nl/display/HWBPPiping/Aanpak+en+afweegkader?preview=/210371281/274334317/factsheet%20Beslisboom%20piping%20Meer%20nuance%20in%20de%20pipingopgave%20is%20onderdeel%20van%20het%20Hoogwaterbeschermingsprogramma\(1\).pdf#Aanpak+en+afweegkader-FactsheetBeslisboom+Piping\(2019\)](https://publicwiki.deltares.nl/display/HWBPPiping/Aanpak+en+afweegkader?preview=/210371281/274334317/factsheet%20Beslisboom%20piping%20Meer%20nuance%20in%20de%20pipingopgave%20is%20onderdeel%20van%20het%20Hoogwaterbeschermingsprogramma(1).pdf#Aanpak+en+afweegkader-FactsheetBeslisboom+Piping(2019))

## 5 Referenties

- [1] Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium, „Handreiking Veiligheidsontwerp“.
- [2] Hoogwaterbeschermingsprogramma, Programmabureau, „Handreiking Verkenning,” 2017.
- [3] Hoogwaterbeschermingsprogramma, Programmabureau, „Handreiking Planuitwerking,” 2017.
- [4] Deltares, Beslisondersteunend raamwerk piping. Stap 1: overzicht en begrip, versie 0.1 Concept, Delft, 2023.
- [5] DIV Piping, „Publicatie Filtertechnieken,” HWBP - De Innovatieversneller | Piping, 2023.
- [6] DIV Piping, „Publicatie Heaveschermen,” HWBP - De Innovatieversneller | Piping, 2024.
- [7] DIV Piping, „Ontwerp en Beoordelingsrichtlijn Kunststof heaveschermen,” HWBP - De Innovatieversneller | Piping, 2023.
- [8] A. Wiggers, M. Sanders, H. Niemeijer en M. Tonneijck, „POV Pipingportaal,” 2020.
- [9] HWBP, „Innovatiewaaier,” 2023.
- [10] Waterschap Drents Overijsselse Delta, „OBOR - VZG,” 2023.
- [11] Antea Group, „Ontwerp- en beoordelingsrichtlijn - Drainagetechnieken (groene versie),” 2022.
- [12] J. Rinsema, C. ter Brake, H. Bos, H. Wiering en R. Rothuizen, „Ontwerp- en beoordelingsrichtlijn DMC,” 2018.
- [13] Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, „Bentonietmat,” November 2022. [Online]. Available: [https://www.hdsr.nl/publish/pages/160261/st-22-023\\_hdsr\\_infographic\\_bentonietmat\\_design\\_versie\\_nov\\_2022\\_vdef.pdf](https://www.hdsr.nl/publish/pages/160261/st-22-023_hdsr_infographic_bentonietmat_design_versie_nov_2022_vdef.pdf). [Geopend 13 Juni 2024].
- [14] Sterke Lekdijk, Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, „Handreiking Beslisboom Piping,” 2023.