



# Tauw



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

## Voorkeursalternatief beheersing grondwaterproblematiek verruiming Twentekanaal (RWS SO3-336)

30 november 2018



## Verantwoording

<b>Titel</b>	Voorkeursalternatief beheersing grondwaterproblematiek verruiming Twentekanaal (RWS SO3-336)
<b>Opdrachtgever</b>	RWS Grote Projecten en Onderhoud
<b>Projectleider</b>	Coen Riemslag
<b>Auteur(s)</b>	Roelant van Dam, Xander Tekelenburg, Auke Terlouw, Rik Bulsink, Mariska Overbeek
<b>Tweede lezer</b>	Coen Riemslag
<b>Projectnummer</b>	1265755
<b>Aantal pagina's</b>	69
<b>Datum</b>	30 november 2018
<b>Handtekening</b>	Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

## Colofon

Tauw bv  
Handelskade 37  
Postbus 133  
7400 AC Deventer  
T +31 57 06 99 911  
E info.deventer@tauw.com



## Inhoud

Managementsamenvatting .....	5
1 Introductie.....	10
1.1 Inleiding.....	10
1.2 Aanleiding .....	10
1.3 Doelstellingen.....	11
1.4 Scope.....	12
1.5 Leeswijzer .....	13
2 Samenvatting proces en resultaten.....	14
2.1 Proces om tot VKA te komen .....	14
2.2 Resultaten Voorkeursalternatief (VKA) .....	18
3 Proces naar het VKA.....	20
3.1 Omschrijving totaal proces.....	20
3.2 Inventarisatie van mogelijke maatregelen en kansrijke maatregelen.....	21
3.3 Kansrijke maatregelen .....	22
3.3.1 Algemene opbouw maatregelen .....	22
3.3.2 Maatregel overvloeien.....	23
3.3.3 Maatregel slib.....	23
3.3.4 Maatregel kleislurry .....	24
3.3.5 Maatregel vaste klei .....	25
3.3.6 Maatregel bentonietmengsel.....	26
3.3.7 Maatregel bentonietmatten .....	28
3.4 Globale verhouding investeringskosten per maatregel .....	29
3.5 Beoordelingskader .....	30
3.6 Trade-off matrix.....	31
3.6.1 Bij kwelproblematiek .....	33
3.6.2 Bij situatie drainage.....	34
3.7 Factsheets gebiedsindeling.....	35
3.8 Beslisschema .....	35
4 Onderbouwing keuze VKA .....	37
4.1 Onderbouwing VKA per deeltraject.....	37



4.2	Monitoringsplan en grondwaterbeheersing .....	41
4.2.1	Monitoringsmeetnet.....	41
4.2.2	Grondwaterbeheersing.....	42
5	Conclusie en aanbevelingen .....	43
5.1	Conclusie .....	43
5.2	Aanbevelingen voor verdere reductie van onzekerheden.....	44
5.2.1	Grootste onzekerheden.....	44
5.2.2	Nader praktische onderzoeken voorafgaand aan de aanbesteding .....	45
5.2.3	Nadere voorbereiding voorafgaand aan de aanbesteding.....	45
5.2.4	Proeven, onderzoek en monitoring voorafgaand en tijdens realisatie .....	46
5.2.5	Binnen het contract ruimte bieden voor lerend vermogen en vernieuwd inzicht.....	46
5.2.6	Met contract en EMVI/BPKV criteria sturen op de juiste partner .....	47
5.2.7	Maatwerk en optimalisaties bij de markt .....	48
	Bronnen en literatuur .....	49
	Definitielijst.....	50

## Bijlagen

- Bijlage 1: Verslag expertsessie
- Bijlage 2: Omschrijving kansrijke bronmaatregelen
- Bijlage 3: Ontwerprichting Specials
- Bijlage 4: Verificatie en validatie tijdens uitvoering
- Bijlage 5: Onzekerheden en aanbevelingen voor de kansrijke bronmaatregelen
- Bijlage 6: Verslag bodemmonsters en meetcampagne TK2
- Bijlage 7: Verslag marktreflectiesessie
- Bijlage 8: Factsheets
- Bijlage 9: Beslisschema voor kwel- en drainageproblematiek
- Bijlage 10: 2D-effectberekening verhogen bodemweerstand Twentekanaal
- Bijlage 11: Plausibiliteit uitkomsten van het grondwatermodel Twentekanaal o.b.v. ondergrondgegevens
- Bijlage 12: Effect geplande verruiming zijtak Twentekanaal en toepassen van bentonietmatten
- Bijlage 13: Monitoringsplan en grondwaterbeheersing
- Bijlage 14: Toepassing damwanden
- Bijlage 15: Trade-off matrix
- Bijlage 16: Verslagen bevoegd gezag
- Bijlage 17: Overleg ambtelijke stakeholders
- Bijlage 18: Tijdslijn werkzaamheden Twentekanaal

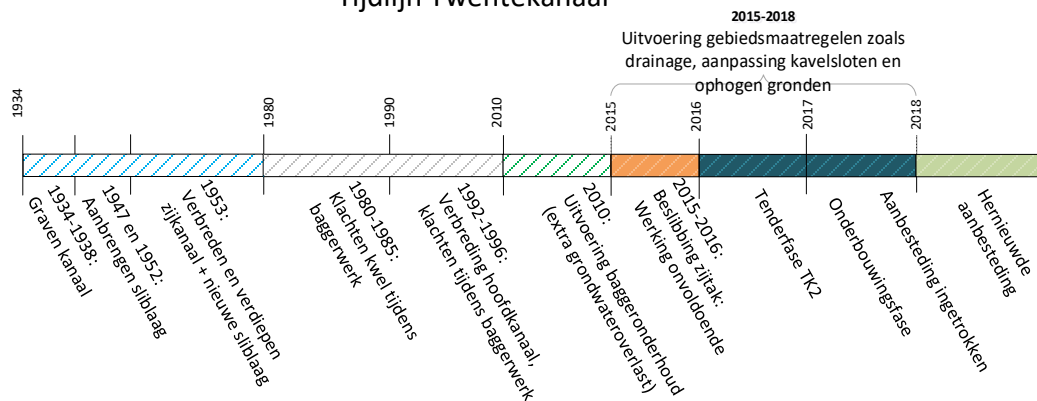


## Managementsamenvatting

### Inleiding

Vaarwegbeheerder Rijkswaterstaat is voornemens het Twentekanaal en de Zijtak richting Almelo geschikt te maken voor vaarwegklasse Va (krap profiel). Dit vraagt om vervanging van damwanden, herprofilering en verdiepen van de bestaande kanaalbodem. Bij deze werkzaamheden zal (een deel van) de waterremmende laag in de kanaalbodem worden beïnvloed. Vanaf de aanleg van de Twentekanaal in 1934 is kwel richting de omgeving een aandachtspunt. In verband met de werkzaamheden die in de nieuwe aanbesteding worden uitgevoerd, zijn mogelijke wijzigingen in de grondwaterstand bij de aanstaande verruiming ook nu niet uit te sluiten.

Tijdlijn Twentekanaal



### Projectdoelstellingen

Om te voorkomen dat bij de aanstaande verruiming het wegnemen van de waterremmende laag in de kanaalbodem, zoals meest recentelijk in 2010 in de zijtak is voorgevallen, leidt tot ongewenste kwel in of drainage van het omliggende gebied, hanteert RWS drie projectdoelstellingen ten aanzien van de grondwaterbeheersing:

- Het herstellen van de bodemweerstand in het zijkanaal als gevolg van het baggeronderhoud in 2010
- Het voorkomen van een blijvende significante grondwaterstandsverandering ten opzichte van de huidige situatie voor de overige delen van het projectgebied
- De hinder tijdens de uitvoering door tijdelijke grondwaterstandsfluctuaties zoveel mogelijk beperken

In de bestuursovereenkomst tussen Rijkswaterstaat en Waterschap Vechtstromen uit 2015 is overeengekomen dat de grondwaterbeheersing, voor de ontstane kweloverlast in 2010, primair via bronmaatregelen (binnen de kanaalgrenzen) tot stand komt en secundair via gebiedsmaatregelen.

Adviesbureau Tauw heeft van Rijkswaterstaat opdracht gekregen in de periode mei – november 2018 een Voorkeurskeursalternatief (VKA) met bronmaatregel (binnen de kanaalgrenzen) op te stellen om bovenstaande projectdoelen te realiseren.



## Doorlopen proces

Voor een transparante en herleidbare besluitvorming voor het VKA is een zogenoemd Value Engineering (VE) traject ingezet. In het onderliggende rapport kansrijke oplossingen is het gevolgde proces van dit VE traject beschreven, waaruit de inhoudelijke afweging van deeloplossingen naar kansrijke oplossingen tot uiteindelijke VKA per onderscheidend kanaaltraject is beschreven. Kort samengevat zijn de volgende fasen doorlopen.

In een expertsessie in juli 2018 (VE fase 1) hebben deskundigen van Rijkswaterstaat, Tauw, TU Delft en het Waterschap Vechtstromen mogelijke oplossingen geïnventariseerd om de grondwaterproblematiek te beheersen. Deze kwelmaatregelen zijn gewogen, wat heeft geleid tot zes gedragen kansrijke maatregelen voor de onderscheidende kanaaltrajecten. Tevens zijn er maatwerkoplossingen voor bepaalde speciale locaties in het kanaal uitgewerkt, zoals bruggen en zwaaikommen.

In oktober 2018 is een markreflectiesessie georganiseerd (VE fase 2) met vrijwel alle aannemers, adviesbureau en leveranciers actief op de Nederlandse baggermarkt om de uitvoerbaarheid van de zes kansrijke maatregelen te toetsen. Met deze partijen zijn de tussentijdse resultaten besproken en getoetst. Ook is er nagedacht over risicobeheersing en zijn praktijkervaringen gedeeld met als doel de openstaande onzekerheden verder te verkleinen. Deze markreflectiesessie gaf een bevestiging van de opgehaalde resultaten en leidde tot nuttige aanscherping van de maatregelen en zicht op de praktische uitvoerbaarheid. Een belangrijke conclusie uit het hele VE traject is dat er op grote schaal nog weinig bewezen technieken zijn voor de beheersing van grondwater. Het blijkt dat er geen pasklare oplossing is voor deze problematiek en dat nadere uitwerking en onderzoek gewenst is.

De ambtelijke stakeholders zijn eind oktober bijgepraat over het gevolgde proces en resultaten tot dan toe.

Aanvullend zijn beheersmaatregelen aangewezen voor die situaties waarin het voorkeursalternatief mogelijk onvoldoende zou functioneren. Het VKA is eind november aan Waterschap Vechtstromen en de interne stakeholders van RWS gepresenteerd en vastgesteld.

Parallel aan het proces om tot een voorkeursalternatief te komen zijn aanvullende, geohydrologische studies en modelonderzoeken verricht. Enerzijds is dit uitgevoerd met als doel het classificeren en beter kunnen beschrijven van de problematiek om tot een voorkeursalternatief te kunnen komen en anderzijds het vormen en opzetten van een monitoringsstrategie voor de grondwaterstandsbeheersing rondom het Twentekanaal voorafgaand, tijdens en na de verruiming.

Daarnaast hebben gesprekken met RWS medewerkers van baggerprojecten met grondwaterproblematiek plaatsgevonden om ervaringen uit te wisselen. Daarbij is ook ervaring uitgewisseld met Waternet en de Provincie Overijssel. Tevens is kennis en aanvullende praktijkervaring opgehaald bij leveranciers van grondstoffen van waterremmende maatregelen over uitvoeringswijze, risicobeheersing, effectiviteit van de maatregelen en de beschikbaarheid

van grondstoffen. Ook zijn in de zomer van 2018 zijn in situ monsters genomen van eerdere werken waarbij bodemweerstand-verhogende maatregelen in den natte zijn aangebracht.

Aanvullend is, mede naar aanleiding van de marktreflectiesessie, bij Deltares een laboratoriumonderzoek uitgezet gericht op het verder reduceren van onzekerheden rondom toepassing en vormgeving van de kansrijke maatregelen. Dit betreffen aanvullende onderzoeken met betrekking tot zand-bentonietmengsel en Noordse leem. Mogelijk wordt het VKA aan de hand van deze resultaten verder verfijnd.

### Conclusies

Via een uitvoerig proces is in samenspraak met experts, deskundigen en marktpartijen een zestal kansrijke maatregelen geïdentificeerd voor de grondwaterbeheersing rond het Twentekanaal. Dit betreffen:

1. Overvloeien waarbij de fijne fracties tijdens het baggeren terugvloeien in de waterkolom
2. Aanbrengen van circa 0,3 m extern slib
3. Aanbrengen van circa 0,5 m kleislurry met een 0,2 m deklaag voor consolidatie
4. Aanbrengen van circa 0,5 m stevige klei
5. Aanbrengen van 0,1 – 0,3 m zand-bentonietmengsel
6. Aanbrengen van bentonietmatten met circa 1,0 m deklaag

Deze zijn uitgewerkt tot schetsontwerp. Voor bruggen en zwaaikommen is een principe ontwerp bodembescherming vastgesteld. Met geohydrologisch onderzoek per deeltraject is het effect van de voorgenomen verruiming en de benodigde maatregel inzichtelijk gemaakt en is een passend grondwatermonitorsnet opgesteld.

De meest kansrijke maatregelen die naar voren kwamen zijn: het toepassen van een zand-bentonietmengsel, klei slurry en overvloeien. In november 2018 zijn de twaalf deeltrajecten waarin het projectgebied is opgedeeld, voorzien van een voorkeursmaatregel om het grondwater te beheersen.

*Voorkeursalternatief grondwaterbeheersing Twentekanaal*

Traject (vakindeling)	Lengte [m]	Problematiek	Voorkeursalternatief
Zijtak 1	1144	Drainage	Monitoring
Zijtak 2	4720	Kwel	Zand-bentonietmengsel 10 cm
Zijtak 3	7080	Kwel	Zand-bentonietmengsel 30 cm
Zijtak 4	2100	Kwel	Geen baggeropgaaf
Delden-Hengelo 1	1440	Kwel	Zand-bentonietmengsel 10 cm
Delden-Hengelo 2	816	Drainage	Monitoring
Delden-Hengelo 3	1584	Kwel	Zand-bentonietmengsel 30 cm
Delden-Hengelo 4	2750	Kwel / drainage	Monitoring
Delden-Hengelo 5	2276	Drainage	Monitoring

Traject (vakindeling)	Lengte [m]	Problematiek	Voorkeursalternatief
Hengelo-Enschede 1	764	Kwel	Overvloeien
Hengelo-Enschede 2	1410	Kwel	Overvloeien
Hengelo-Enschede 3	765	Drainage	Monitoring



Overzichtskartaal voorkeursalternatief grondwaterbeheersing Twentekanaal

Ondanks het uitvoerige proces blijven de kansrijke en voorkeursmaatregelen onzekerheden bevatten die vanwege de praktische aard binnen deze studie niet verder gereduceerd kunnen worden. Dit betreffen onzekerheden rond de samenstelling (lutumgehalte), de benodigde laagdiktes, de weerstand tegen erosie, de toepasbaarheid op onderwatertaluds en de verificatie en validatie. Om deze onzekerheden rond de grondwaterbeheersing verder te verkleinen, wordt voorafgaand aan de aanbesteding aanvullend laboratoriumonderzoek uitgevoerd en vindt bij realisatie een getrapte adaptieve aanpak plaats.

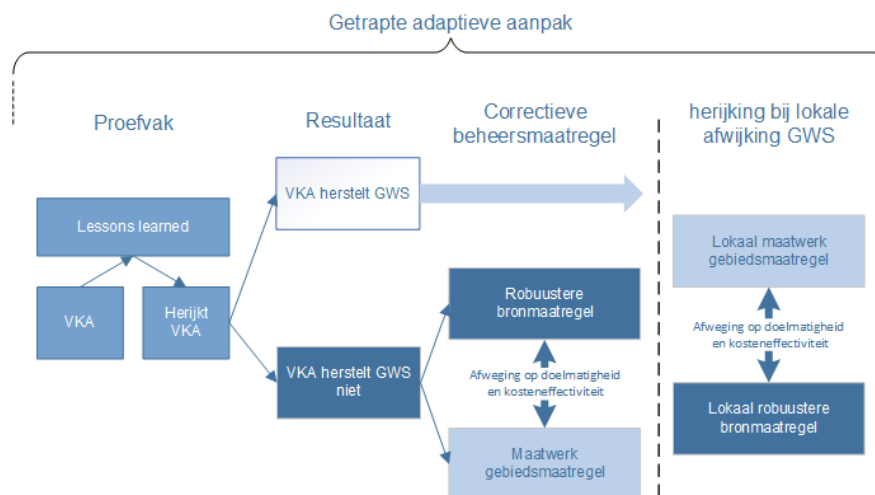
De getrapte adaptieve aanpak omvat de volgende stappen (zie ook onderstaande figuur):

1. De aanleg van de voorkeursmaatregel start binnen een vooraf gedefinieerd 'proefvak' met een representatieve bodemsamenstelling maar met een beperkt omgevingsrisico. In het proefvak worden effectiviteit, maakbaarheid, benodigde laagdiktes, aanleg onder talud en erosiebestendigheid in situ beproefd. Buiten het proefvak wordt de grondwaterstand nauwlettend gemonitord
2. Na realisatie van het proefvak vindt evaluatie van de voorkeursmaatregel plaats waarna zonedig kan worden besloten de maatregel bij te stellen of over te stappen op een andere



maatregel. Dit kan een meer robuuste bronmaatregel zijn of een maatwerk gebiedsmaatregel zoals het aanleggen van drainage, kwelstoten, het ophogen van maaiveld of het wijzigen van de gebiedsfunctie. De keuze tussen de bron- of gebiedsmaatregel wordt daarbij nader afgewogen waarbij doelmatigheid en kosteneffectiviteit de leidende principes zijn

3. Wanneer buiten het proefvak lokaal de gewenste grondwaterbeheersing niet gehaald wordt, vindt een zelfde afweging plaats en kan lokaal of over het resterende traject naar een robuustere bronmaatregel of maatwerkgebiedsmaatregel worden overgestapt



Schematische weergave van de getrapte adaptieve aanpak

### Aanbevelingen

- Tijdens de aanbesteding en in de realisatie wordt er nieuwe praktische ervaring opgedaan met de beheersing van de grondwaterproblematiek. Om van dit project en van toekomstige kanaalverruiming een succes te maken wordt geadviseerd binnen dit contract optimaal ruimte te bieden aan het lerend vermogen en het toepassen van nieuwe inzichten
- Werk voorafgaand aan de realisatie voor de situatie dat het VKA ontoereikend blijkt een beslisschema uit ter ondersteuning van de afweging opschalen met een robuustere bronmaatregel of een maatwerkgebiedsmaatregel
- Inventariseer voorafgaand aan de aanbesteding geschikte locaties voor het inrichten van proefvakken
- Verdere uitwerking / optimalisatie van de principe ontwerp bij bruggen en zwaaikommen overlaten aan de markt
- Start een monitoringsprogramma om de bodemontwikkeling als gevolg van erosie in kaart brengen via een meetprogramma. Op deze wijze wordt inzicht verkregen in de erosiebestendigheid van de maatregel, het zelf herstellend vermogen en het effect van eventuele erosie op de grondwaterstand
- Waardeer en selecteer op samenwerking, lerend vermogen en een adaptieve / flexibele werkwijze bij gegadigden door hier in de aanbestedingsfase met EMVI criteria expliciet aandacht voor de vragen
- Sluit de geschikte alternatieve kansrijke maatregelen niet volledig uit maar biedt ruimte aan de markt om gemotiveerd af te wijken van het voorkeursalternatief

## 1 Introductie

### 1.1 Inleiding

Tauw heeft van Rijkswaterstaat de opdracht gekregen om kansrijke maatregelen uit te werken en een voorkeursalternatief te selecteren om mogelijke grondwateroverlast te beheersen bij de “Verruiming Twentekanalen Fase 2”. De geplande verruiming van het Twentekanaal beïnvloedt mogelijk de grondwaterstand in de directe omgeving van het Twentekanaal. Door de geplande werkzaamheden kan de bestaande grondwaterbalans in de omgeving potentieel verstoord worden. Beheersing daarvan is daarom een cruciaal aandachtspunt bij het realisatieproject “Verruiming Twentekanalen Fase 2”. Dit rapport beschrijft het gevolgde proces en bijbehorende afwegingen bij de selectie van een voorkeursalternatief.

### 1.2 Aanleiding

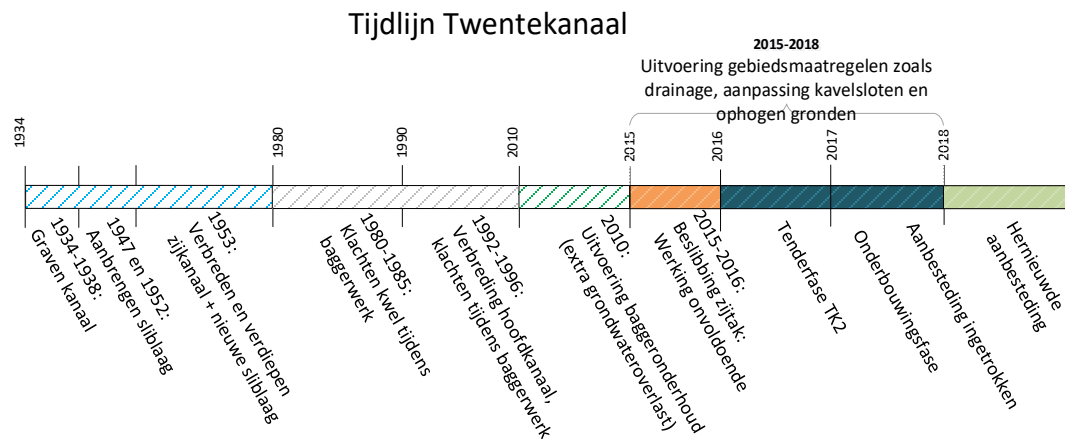
De Twentekanalen vormen een belangrijke regionale en economische ader voor Twente. De wens is om de Twentekanalen te verruimen tot Vaarwegklasse Va (krap profiel), zodat de havens en bedrijven in Twente beter bereikbaar worden voor schepen. Voor deze verruiming wordt de bodem verdiept en verbreed, worden damwanden vervangen of versterkt en zijn verder het vergroten van zwaikommen, het verlengen kades, het aanbrengen van natuurvriendelijke oevers en het ecologisch inrichten van vervallen zwaikommen voorzien. In 2010 is het traject tussen Sluis Eefde en Sluis Delden reeds aangepast.



Figuur 1.1 Projectoverzicht verruiming Twentekanalen (bron: Rijkswaterstaat)

Sinds de aanleg van de Twentekanalen in 1934 vormt kwel naar, en drainage vanuit de omgeving een aandachtspunt (zie Figuur 1.2 en Bijlage 18). Langs de zijtak van het Twentekanaal is sinds 2010 sprake van extra grondwateroverlast door kwel. De kweloverlast wordt mede veroorzaakt door het in 2010 uitgevoerde baggeronderhoud in het zijkanaal waarbij een deel van de

waterremmende lagen is weggebaggerd. Met de omgeving is overeengekomen dat de overlast aangepakt wordt en bij toekomstige werkzaamheden aan het kanaal geen nadelige wijziging van de grondwaterstand mag optreden. De aanbesteding van de verruiming Twentekanalen fase 2 is eind 2017 ingetrokken omdat bleek dat er onvoldoende zekerheid was over de mate van grondwaterbeheersing bij de voorliggende opgaven.



Figuur 1.2 Tijdslijn Twentekanalen

### 1.3 Doelstellingen

Vaarwegbeheerder Rijkswaterstaat is voornemens het Twentekanaal en de Zijtak richting Almelo geschikt te maken voor vaarwegklasse Va (krap profiel). Herprofilering en verdieping door middel van baggeren is onderdeel van deze opgave. Bij deze werkzaamheden zal (een deel van) de waterremmende laag in de kanaalbodem worden beïnvloed. Om te voorkomen dat bij de aanstaande verruiming het wegnemen van de waterremmende laag in de kanaalbodem, zoals meest recentelijk in 2010 in de zijtak is voorgevallen, leidt tot ongewenste kwel in of drainage van het omliggende gebied, hanteert RWS drie projectdoelstellingen ten aanzien van de grondwaterbeheersing: bij de aanstaande verruiming:

- Het herstellen van de bodemweerstand in het zijkanaal als gevolg van het baggeronderhoud in 2010<sup>1</sup>. Richtlijn die daarvoor kan worden gehanteerd is een kanaalbodemweerstand van grofweg 60 tot 120 infiltratieweerstand dagen voor het gehele zijkanaal<sup>2</sup> (Arcadis 2018)
- Het voorkomen van een blijvende significante grondwaterstandsverandering ten opzichte van de huidige situatie voor de overige delen van het projectgebied
- De hinder tijdens de uitvoering door tijdelijke grondwaterstandsfluctuaties zoveel mogelijk beperken

Dit document dient als onderbouwing voor de selectie van kansrijke bronmaatregelen voor bovenstaande doelen, verzameling van risico's en kansen ten aanzien van de

<sup>1</sup> Deze projectdoelstelling is een doorvertaling van de bestuursovereenkomst voor het nemen van bronmaatregelen zoals die is vastgesteld in 2015 tussen Rijkswaterstaat en Waterschap Vechtstromen

<sup>2</sup> Onderzoeken (Arcadis 2018 en Tauw 2014) tonen aan dat als gevolg van de baggerwerkzaamheden in 2010 60 tot 120 dagen aan infiltratieweerstand van de bodem is verwijderd.



grondwaterbeheersing en het bepalen van de voorkeursmaatregel per kanaaltraject. In dit document wordt de opbrengst van het totaalproces beschreven om te komen tot een voorkeursmaatregel. Hierbij wordt gestreefd om zoveel mogelijk helderheid en transparantie te geven over het gevolgde proces.

De gevolgde aanpak moet leiden tot een gedragen en maakbare maatregel voor grondwaterbeheersing door stakeholders, markt en Rijkswaterstaat. Daarnaast moet de maatregel inpasbaar zijn in de overige te verrichten werkzaamheden aan het kanaal en toepasbaar zijn binnen de kaders van de scope.

Afhankelijk van de baggeropgave en de gevoeligheid van kwel/drainage van het gebied krijgen (een combinatie van) één of meerdere oplossingsrichtingen de voorkeur. Deze oplossingen worden aangelegd waarbij de toekomstige vaarwegklasse Va (krap profiel) in acht wordt genomen.

## 1.4 Scope

Dit onderzoek richt zich op het aanwijzen van een voorkeursalternatief (VKA) voor de toepassing van een bronmaatregel (binnen het kanaal) om na de noodzakelijke baggerwerkzaamheden voor de verruiming van het vaarwegprofiel de bodemweerstand terug te kunnen brengen tot 60 tot 120 dagen. Hiervoor is een getrapte adaptieve aanpak voor opgesteld waarbij het selecteren van een VKA binnen de scope valt. Het selecteren van een correctieve beheersmaatregel als bronmaatregel of gebiedsmaatregel valt vanwege het maatwerkarakter buiten de scope van dit onderzoek. Het VKA heeft het uitwerkingsniveau van een schetsontwerp (SO).

Parallel aan dit onderzoek worden aanvullende geohydrologische studies en modelonderzoeken verricht voor enerzijds het classificeren van de problematiek en anderzijds het vormen en opzetten van een monitoringsstrategie voor de grondwaterstandsbeheersing rondom het Twentekanaal.

Het ontwerpen van nieuwe damwanden is geen onderdeel van dit onderzoek. Wel wordt verkend of er kanaaltrajecten zijn waar de bodemopbouw zich leent voor het verlengen van damwanden om de problematiek te beheersen en of deze oplossingsrichting economisch haalbaar is.

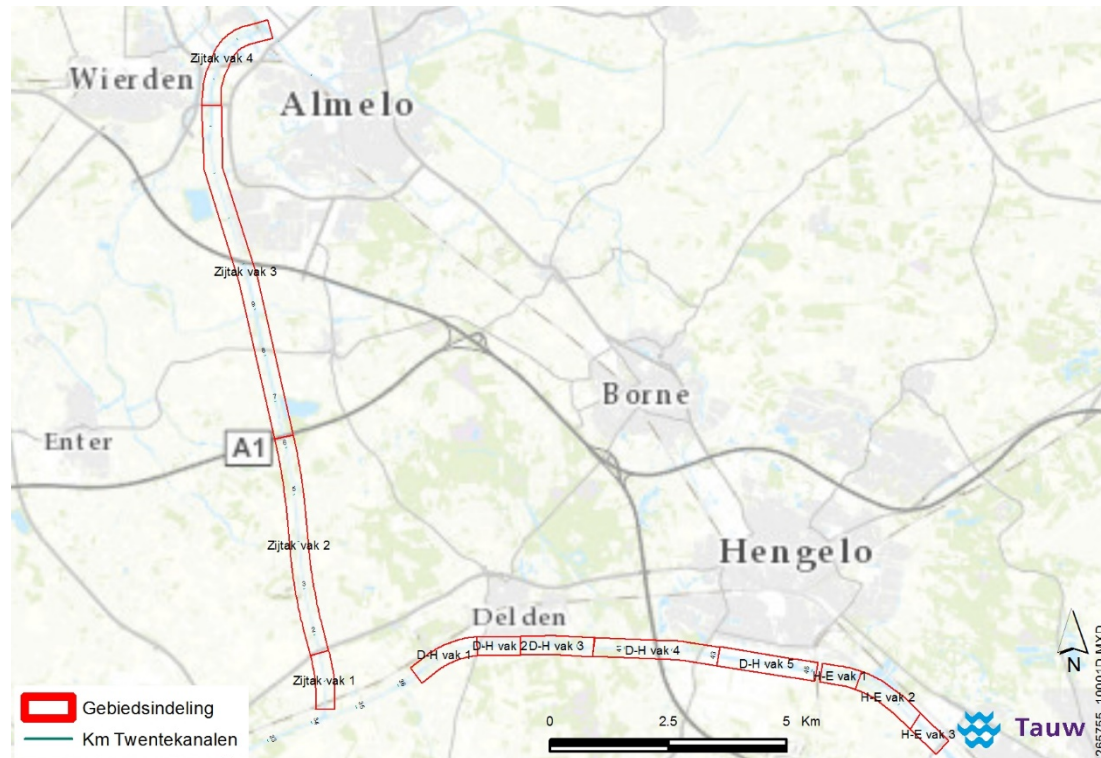
Aanlegkosten zijn een bepalend aspect in de afweging van het VKA. Het bepalen van hoeveelheden op SO niveau is onderdeel van dit onderzoek. Het ramen conform SSK is geen onderdeel van dit onderzoek (deze opgave heeft RWS intern opgepakt).

Het VKA heeft betrekking op baggerwerkzaamheden in:

- Het hoofdkanaal, traject sluis Delden - sluis Hengelo (km 36,383 tot km 45,120)
- Het hoofdkanaal, traject sluis Hengelo - havens Enschede (km 45,275 tot km 48,295)
- Het zijkanaal vanaf het splitsingspunt tot aan Almelo (km 0,456 tot km 15,725)

Het voorpand (het stuk van de IJssel naar sluis Eefde) is onderdeel van de "Verruiming Twentekanaal Fase 2" maar vormt geen onderdeel van de scope voor dit onderzoek. De

grondwaterstanden worden voornamelijk beïnvloed door de peilfluctuaties van IJssel en het op basis van de huidige grondwatersituatie (zie het geohydrologisch onderzoek van Grontmij (2013)) is het aannemelijk dat een verruiming van dit stuk niet leidt tot significante grondwateroverlast.



Figuur 1.3 Projectscope verruiming Twentekanalen fase 2

## 1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 geeft een samenvatting van het gevolgde proces en de resultaten van het voorkeursalternatief per traject. Hoofdstuk 3 gaat verder in op het gevolgde proces, beschrijft de kansrijke maatregelen die zijn uitgewerkt, toont de wijze waarop maatregelen zijn beoordeeld en toont het beslisschema om tot een voorkeursalternatief te komen per onderscheidend kanaaltraject. Hoofdstuk 4 geeft een onderbouwing het voorkeursalternatief per deeltraject en gaat in op de benodigde grondwatermonitoring en grondwaterbeheersingsstrategie. Hoofdstuk 5 presenteert de conclusies en aanbevelingen.

## 2 Samenvatting proces en resultaten

### 2.1 Proces om tot VKA te komen

In mei 2018 zijn RWS en Tauw het proces gestart om tot een set aan maatregelen te komen waarmee de bodemweerstand rond de zijtak hersteld wordt, op de overige trajecten in stand blijft en de overlast door tijdelijke wijzigingen in de grondwaterstand gedurende de realisatie beperkt blijven. Daarvoor zijn de volgende stappen doorlopen:

- Opstellen van een beoordelingskader (trade-off matrix)
- Inventarisatie van mogelijke maatregelen, aanwijzen van kansrijke maatregelen
- Inventariseren van risico's, onzekerheden en vragen bij de kansrijke maatregelen
- Ophalen van praktijkervaring, tips, do's & don'ts kansrijke maatregelen
- Reflectie op proces en kansrijke maatregelen bij marktpartijen
- Aanwijzen van een voorkeursmaatregel per traject inclusief beheersmaatregel



Figuur 2.1 Trechterproces om te komen tot VKA

#### Opstellen van een beoordelingskader (trade-off matrix)

Voor een transparante en herleidbare besluitvorming voor het VKA is een beoordelingskader opgesteld door Tauw, Value FM en Rijkswaterstaat. Dit kader beschrijft de onderscheidende aspecten waarop een maatregel wordt beoordeeld. In de trade-off matrix zijn de maatregelen per aspecten onderling op kwalitatieve wijze beoordeeld. Deze beoordeling is tot stand gekomen en getoetst via de expertsessie en de marktreflectiesessie. Zo ontstaat een overkoepelend beeld van de kansrijkheid van de maatregelen voor verschillende situaties (kwel-/drainageproblematiek, gevoelige of ongevoelige omgeving, kleine of grote baggeropgave).

Het beoordelingskader is opgenomen in paragraaf 3.6.



### *Inventarisatie van mogelijke maatregelen, aanwijzen van kansrijke maatregelen*

In juli 2018 heeft een expertsessie plaatsgevonden waarbij experts en deskundigen van Rijkswaterstaat, TU Delft, het Waterschap en diverse marktpartijen inbreng hebben geleverd in mogelijke oplossingen om de grondwaterproblematiek te beheersen. Hierbij is zowel gekeken naar bronmaatregelen in de bodem, verticale maatregelen langs het kanaal als gebiedsmaatregelen buiten het kanaal. Tevens is besproken welke maatregelen zijn te treffen rond 'specials' (bruggen, zwaaikommen, kades, NVO's et cetera).

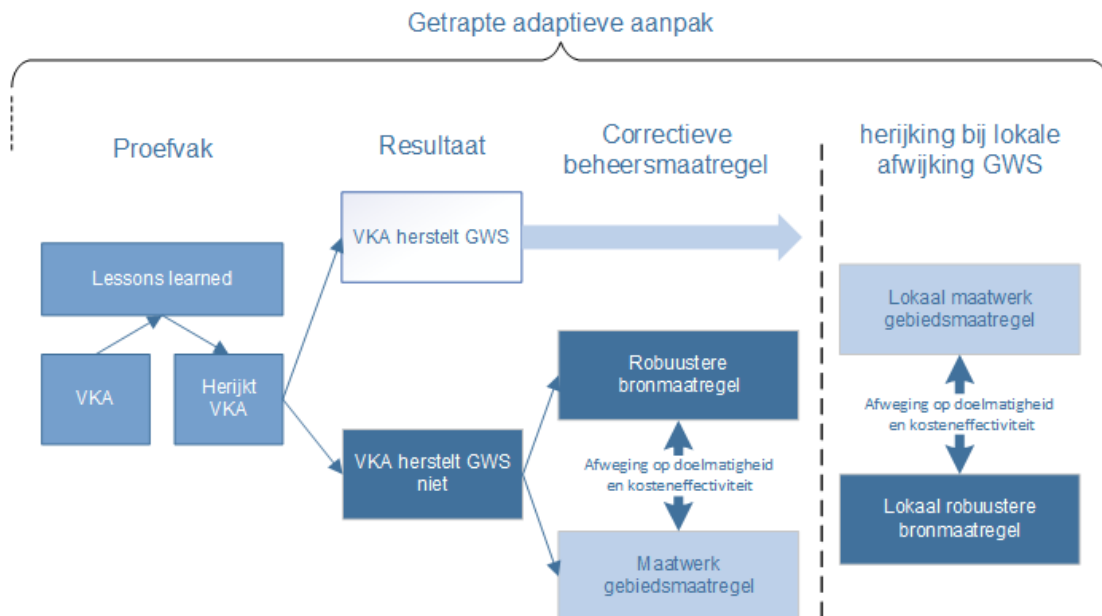
- Bijlage 1 bevat het besprekingsverslag van de expertsessie
- Bijlage 2 bevat een uitwerking van de kansrijke maatregelen
- Bijlage 3 bevat een uitwerking van de 'specials'
- geeft uitvoeringstechnische aandachtspunten voor het verificatie en validatieproces

### *Inventariseren van risico's, onzekerheden en vragen bij de kansrijke maatregelen*

Uit de expertsessie komt naar voren dat in Nederland beperkte kennis en praktijkervaring van maatregelen beschikbaar is om op de schaal van het Twentekanaal in den natte weerstand toe te voegen aan de waterbodem. Maatregelen kunnen wel worden benoemd, echter op diverse vlakken omkleed met de nodige onzekerheden (effectiviteit, uitvoerbaarheid, beheersbaarheid, et cetera). Om toch tot voorkeurmaatregelen te kunnen komen, vormt het inperken van onzekerheden en het verkleinen van risico's in deze studie een belangrijk onderdeel. In de expertsessie en marktreflectiesessie (zie hieronder) is specifiek aandacht geweest voor het identificeren van de onzekerheden en risico's en de wijze waarop deze ondervangen kunnen worden. Met projectbezoeken en aanvullende bemonstering door Rijkswaterstaat is meer inzicht verkregen in uitvoeringsrisico's en onzekerheden in de wijze van verificatie en validatie.

Om onzekerheden rond de grondwaterbeheersing verder te verkleinen wordt voorafgaand aan de aanbesteding vindt bij realisatie een getrapte adaptieve aanpak plaats. De getrapte adaptieve aanpak omvat de volgende stappen (zie ook Figuur 2.2):

1. De aanleg van de voorkeursmaatregel start binnen een vooraf gedefinieerd 'proefvak' met een representatieve bodemsamenstelling maar met een beperkt omgevingsrisico. In het proefvak worden effectiviteit, maakbaarheid, benodigde laagdiktes, aanleg onder talud en erosiebestendigheid in situ beproefd. Buiten het proefvak wordt de grondwaterstand nauwlettend gemonitord
2. Na realisatie van het proefvak vindt evaluatie van de voorkeursmaatregel plaats waarna zonodig kan worden besloten de maatregel bij te stellen of over te stappen op een andere maatregel. Dit kan een meer robuuste bronmaatregel zijn of een maatwerk gebiedsmaatregel zoals het aanleggen van drainage, kwel sloten, het ophogen van maaiveld of het wijzigen van de gebiedsfunctie. De keuze tussen de bron- of gebiedsmaatregel wordt daarbij nader afgewogen waarbij doelmatigheid en kosteneffectiviteit de leidende principes zijn
3. Wanneer buiten het proefvak de gewenste grondwaterbeheersing niet gehaald wordt, vindt een zelfde afweging plaats en kan lokaal of over het resterende traject naar een robuustere bronmaatregel of maatwerkgebiedsmaatregel worden overgestapt



Figuur 2.2 Schematische weergave van de getrapte adaptieve aanpak

Werkwijzen om openstaande onzekerheden en risico's verder te verkleinen, komen via aanvullende adviezen en aandachtspunten in de vervolgfase richting aanbesteding terecht.

- Bijlage 5 bevat de aanbevelingen bij de voorkeursmaatregelen

#### *Ophalen praktijkervaring van andere baggerprojecten*

Via gesprekken met projectteams van enkele baggerprojecten met grondwaterproblematiek en leveranciers van grondstoffen van waterremmende maatregelen is aanvullende praktijkervaring opgehaald over uitvoeringswijze, risicobeheersing, effectiviteit van de maatregelen en de beschikbaarheid van grondstoffen. In de zomer van 2018 zijn aanvullend veldbezoeken uitgevoerd om via monsternames het resultaat van eerdere werken te verifiëren. Deze informatie is verwerkt in de kansrijke maatregelen en de trade-off matrix.

- Bijlage 6 bevat het verslag van de meetcampagne die in de zomer van 2018 is uitgevoerd

#### *Reflecteren en verifiëren met marktpartijen*

In oktober 2018 is een markreflectiesessie georganiseerd met een groot aantal aannemers en adviesbureaus die actief zijn op de Nederlandse baggermarkt. Met deze partijen zijn de tussentijdse resultaten besproken en is nagedacht over de kansrijke oplossingsrichtingen. Hierbij is aandacht besteed aan het wegnemen van onzekerheden, ophalen van ervaringen en het toetsen van de resultaten uit de expertsessie. Kennis over de maatregelen was soms versnipperd aanwezig. Door de gekozen opzet konden de deelnemers elkaar goed aanvullen en aanscherpen. Deze markreflectiesessie was vooral bevestigend in het tot nu toe opgehaalde resultaat en leidde niet tot nieuwe kansrijke oplossingen. Wel leidde de sessie tot een nuttige aanscherping van de





maatregelen en zicht op de praktische uitvoerbaarheid. De resultaten zijn verwerkt in de kansrijke alternatieven en de trade-off matrix.

- Bijlage 7 bevat het besprekingsverslag van de marktreflectiesessie

#### *Indelen van kanaaltrajecten in risicoklassen*

Met modelonderzoeken (Arcadis 2018; Tauw 2014 en Bijlage 13) is inzichtelijk gemaakt hoe naar verwachting grondwaterstanden reageren op het wegbaggeren van waterremmende en ondoorlatende lagen in de kanaalbodem. Deze modeluitkomsten zijn vervolgens onderworpen aan een kwalitatieve herijking op basis van aanvullende bodemgegevens en expert judgement. Deze aanpak leidt tot een classificatie van de kwel- en drainagegevoeligheid per deeltraject. De benodigde baggeropgave om het vaarwegprofiel te realiseren, is een indicatie in hoeverre de aanwezige weerstand biedende lagen daadwerkelijk worden aangetast. De baggeropgave en kwel- en drainagegevoeligheid leiden tezamen een risicoklasse van de werkzaamheden. Hoe hoger de risicoklasse, des te effectiever en robuuster dienen de te treffen maatregel te zijn. Deze risico indeling is opgenomen in de factsheets, de redeneerlijn is opgenomen in de beslisschema's.

- Bijlage 8 bevat de factsheets per kanaaltraject
- Bijlage 9 bevat de beslisschema's voor kwel- en drainageproblematiek

#### *Toewijzen van kansrijke oplossingen aan kanaaltrajecten*

Op basis van de risicoklasse is vervolgens op basis van de trade-off matrix een kansrijke maatregel toegekend aan elk van de kanaaltrajecten. Deze voorkeursmaatregel is robuuster en effectiever naarmate 1) de risicoklasse hoger is en 2) de fysieke dan wel bestuurlijke omgeving daarom vraagt.

In hoofdstuk 3 is het proces om tot het VKA te komen in nader detail uitgewerkt.

#### *Parallelspoor geohydrologie inclusief monitoringsplan*

Parallel aan het proces om tot een voorkeursalternatief te komen zijn aanvullende, geohydrologische studies en modelonderzoeken verricht. Enerzijds is dit uitgevoerd met als doel het classificeren en beter kunnen beschrijven van de problematiek om tot een voorkeursalternatief te kunnen komen en anderzijds het vormen en opzetten van een monitoringsstrategie voor de grondwaterstandsbeheersing rondom het Twentekanaal.

- Bijlage 10 beschrijft de 2D effecten van het verhogen van de bodemweerstand op de grondwaterstand net achter de damwanden
- Bijlage 11 beschrijft de plausibiliteit van de uitkomsten van de twee grondwatermodellen die zijn gebruikt om in te schatten hoe naar verwachting de grondwaterstanden reageren op het wegbaggeren van waterremmende en ondoorlatende lagen in de kanaalbodem.
- Bijlage 12 beschrijft de potentiële effecten op de freatische grondwaterstand als een bepaalde kanaalweerstand wordt verwijderd als gevolg van de verruiming van het Twentekanaal. De resultaten zijn berekend met het meest recente model voor het zijkanaal (MIPWA 3.0).



- Bijlage 13 bevat het monitoringsplan met bijbehorende grondwaterbeheersingsstrategie
- Bijlage 14 beschrijft op welke trajecten het toepassen van (langere) damwanden mogelijk is om een bijdrage te kunnen leveren aan de kwelproblematiek

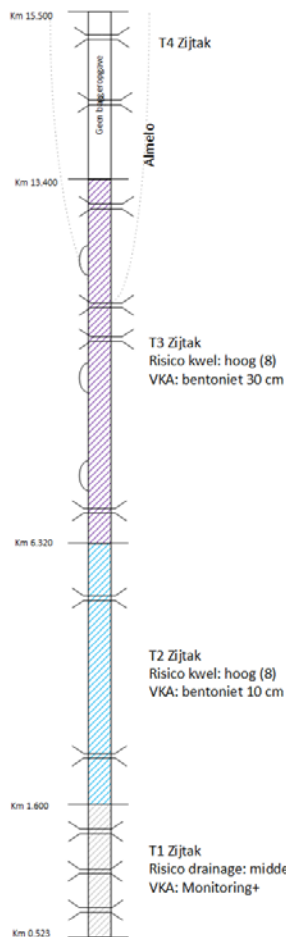
## 2.2 Resultaten Voorkeursalternatief (VKA)

Het Twentekanaal is in 12 onderscheidende deeltrajecten opgedeeld, elk met hun eigen gebiedskenmerk. Het VKA beschrijft de bronmaatregel per deeltraject. De maatregel wordt toegepast onder het te baggeren vaarwegprofiel Va krap inclusief bagger- en onderhoudstoleranties. Tabel 2.1 en Figuur 2.3 geven een overzicht van het VKA per traject.

Tabel 2.1 Overzicht Voorkeursmaatregelen en beheersmaatregel grondwaterbeheersing Twentekanaal fase 2

Traject	Lengte [m]	Problematiek	Voorkeursalternatief
Zijtak 1	1144	Drainage	Monitoring
Zijtak 2	4720	Kwel	Zand-bentonietmengsel 10 cm
Zijtak 3	7080	Kwel	Zand-bentonietmengsel 30 cm
Zijtak 4	2100	Kwel	Geen baggeropgaaf
Delden-Hengelo 1	1440	Kwel	Zand-bentonietmengsel 10 cm
Delden-Hengelo 2	816	Drainage	Monitoring
Delden-Hengelo 3	1584	Kwel	Zand-bentonietmengsel 30 cm
Delden-Hengelo 4	2750	Kwel / drainage	Overvloeien
Delden-Hengelo 5	2276	Drainage	Monitoring
Hengelo-Enschede 1	764	Kwel	Overvloeien
Hengelo-Enschede 2	1410	Kwel	Overvloeien
Hengelo-Enschede 3	765	Drainage	Monitoring

## Twentekanaal- Zijtak



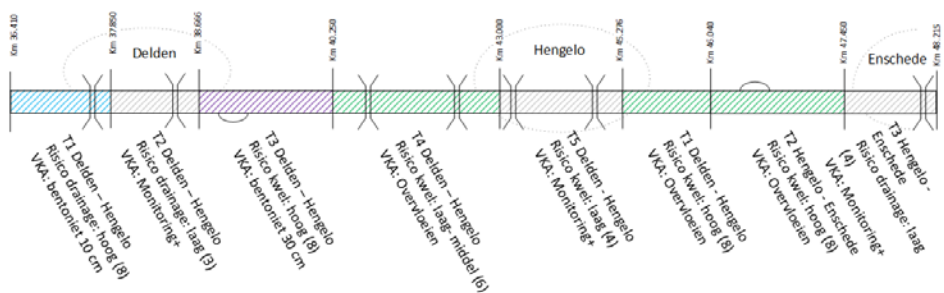
### Voorkeursalternatieven:

-  Baggeren & monitoren+
-  Aanbrengen 10 cm bentonietmengsel
-  Baggeren i.cm. overvloeien
-  Aanbrengen 30 cm bentonietmengsel

### Specials

-  Locatie brug
-  Locatie zwaaiikom

## Twentekanaal- Hoofdtak

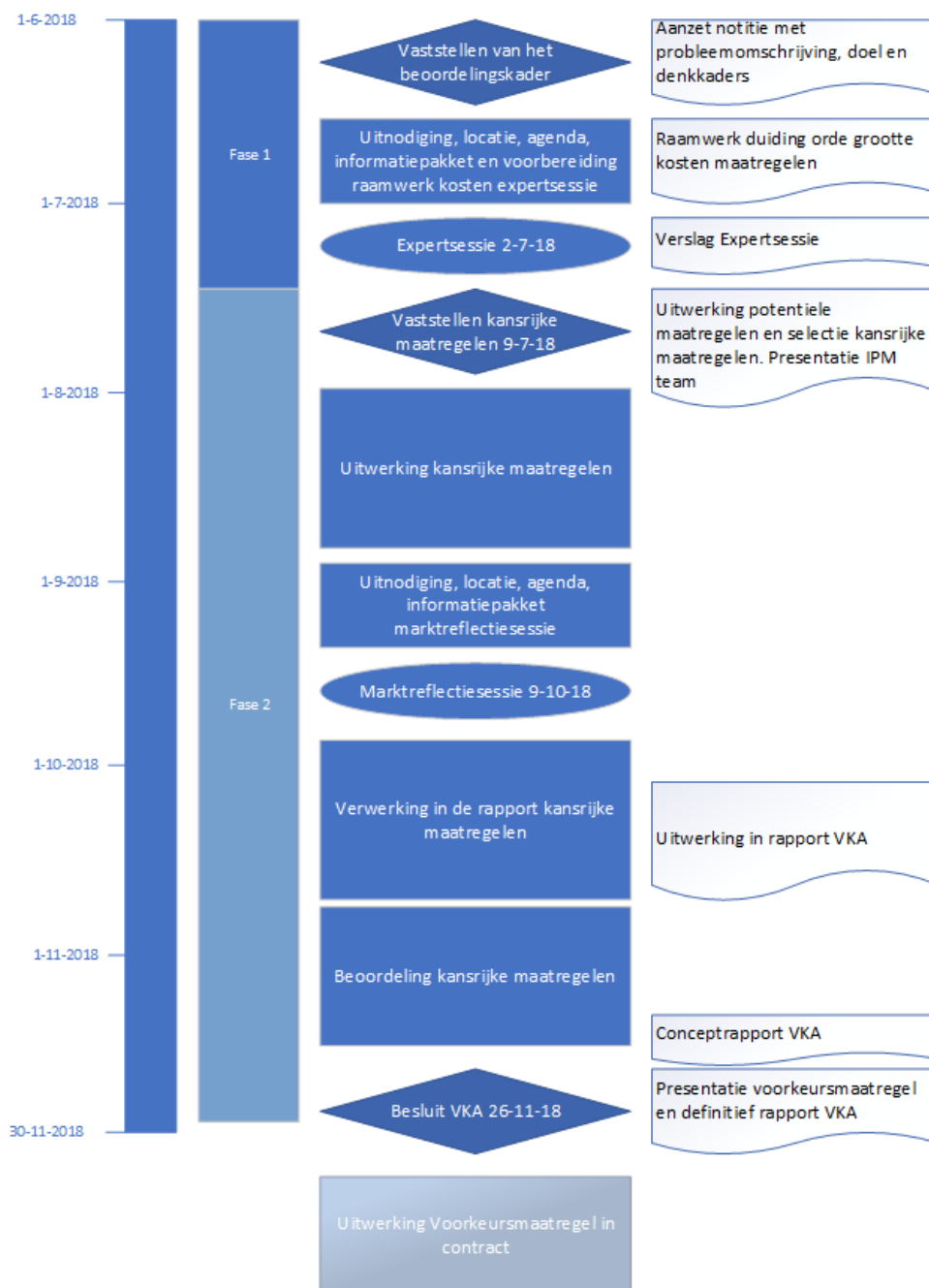


Figuur 2.3 Schematische weergave van het voorkeursalternatief grondwaterstand beheersing Twentekanaal

## 3 Proces naar het VKA

### 3.1 Omschrijving totaal proces

Onderstaand processchema geeft weer op welke wijze het voorkeursalternatief tot stand is gekomen.



Figuur 3.1 Processchema VKA



## 3.2 Inventarisatie van mogelijke maatregelen en kansrijke maatregelen

In de expertsessie zijn mogelijke maatregelen geïnventariseerd. Deze zijn op te delen in maatregelen voor kwelgebieden en voor drainagegebieden. De maatregelen zelf zijn onder te verdelen in:

- Bronmaatregelen (oplossingen in de kanaalbodem)
- Verticale maatregelen (verlengen / afsluiten van de kwelweg) en
- Maatregelen buiten het kanaal (maatwerk)

Rijkswaterstaat heeft de voorkeur dat de oplossingsmaatregel toegepast wordt in het kanaal mits dit kostenefficiënt en doelmatig is.

Onder mogelijke bronmaatregelen zijn benoemd:

Toepassen van slib, klei of bentoniet, toepassen van geotextiel/folie afgedekt met stortsteen of colloïdaal beton, een chemische bewerking, overige afdekkingen van de bodem met beton of asfalt.

Onder mogelijke verticale maatregelen zijn benoemd:

Damwanden te verlengen, bentonietmatten, Soseal of waterglasinjectie.

Buiten het kanaal kan een maatwerkoplossingen uitgevoerd worden met:

Drainage, aanleg/aanpassing kwelputten, ophogen van het maaiveld, kelders waterdicht maken, bemalen of juist water inlaten, functiewijzigingen etc.

Op basis van robuustheid, beschikbaarheid van materialen, onzekerheid in uitvoering en in de verificatie, milieubelasting zijn uit de expertsessie de volgende maatregelen uiteindelijk als kansrijk naar voren gekomen:

- Kleiig materiaal (natuurlijk en kleislurry)
- Zand-bentonietmengsel
- Bentonietmatten

Mede door het met de verkeerde fractie uitgevoerde herstelwerk (met slib) in 2015-2016 op de Zijtak is onterecht het beeld ontstaan dat toepassen van slib geen kansrijke oplossing is. In 1947 en 1952 is slib succesvol toegepast in het Twentekanaal om de grondwaterstand te beheersen (zie ook Bijlage 18 voor een historisch overzicht van maatregelen en onderzoeken die zijn uitgevoerd rondom het Twentekanaal). Na de expertsessie is 'het toepassen van slib' als kansrijke maatregel opgenomen.

De kansrijke maatregelen zijn, mede op basis van de expertsessie, verder uitgewerkt tot de volgende opties:

1. Overvloeien waarbij de fijne fracties tijdens het baggeren terugvloeien in de waterkolom;
2. Aanbrengen van circa 0,3 m extern slib
3. Aanbrengen van circa 0,5 m kleislurry met een 0,2 m deklaag voor consolidatie

4. Aanbrengen van circa 0,5 m stevige klei
5. Aanbrengen van 0,1 – 0,3 m zand-bentonietmengsel
6. Aanbrengen van bentonietmatten met circa 1,0 m deklaag

Deze zes kansrijke maatregelen zijn in de marktreflectiesessie getoetst op compleetheid, uitvoerbaarheid en kansrijkheid. De ambtelijke stakeholders zijn eind oktober bijgepraat over het gevolgde proces en resultaten tot dan toe (Bijlage 17).

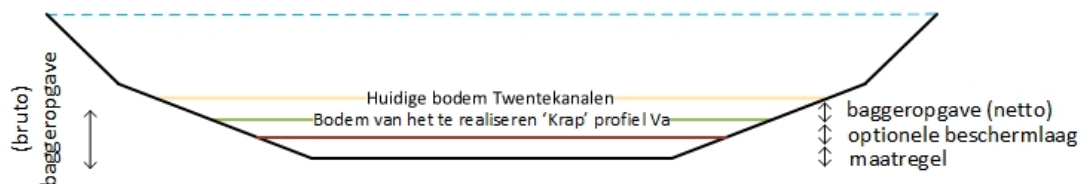
### 3.3 Kansrijke maatregelen

#### 3.3.1 Algemene opbouw maatregelen

In deze paragrafen worden de zes kansrijke bronmaatregelen beknopt toegelicht. Bijlage 2 bevat een nadere uitwerking en Bijlage 4 geeft aanwijzingen voor mogelijke verificatiemethodes. Onder bronmaatregelen vallen maatregelen die in en op de kanaalbodem worden genomen waarmee de bodemweerstand wordt verhoogd. De kansrijke maatregelen zijn geselecteerd uit de bevindingen van de expertsessie op 2 juli 2018. Op basis van een bureaustudie, projectevaluaties, gesprekken met experts en een marktreflectiesessie (9 oktober 2018) zijn deze kansrijke bronmaatregelen verder uitgewerkt.

In Figuur 3.2 is het algemene principeontwerp van de kansrijke bronmaatregelen weergegeven. Deze bestaat uit de volgende onderdelen:

- Huidige bodem Twentekanal: dit betreft de huidige waterbodem van het Twentekanaal (er heeft dus nog geen baggerwerk plaats gevonden);
- Toekomstige bodem Twentekanal: dit is de netto baggeropgave benodigd om het krappe vaarwegprofiel te realiseren inclusief onderhoudsmarge. Onafhankelijk van de gekozen ontwerp oplossing dient dit baggerwerk gerealiseerd te worden;
- Optionele slijtlaag: dit is een de laag die aangebracht wordt bovenop de ontwerp oplossing, ter bescherming of vastleggen van de ontwerp oplossing;
- Maatregel: één van de zes kansrijke varianten die in deze notitie worden beschreven.



Figuur 3.2 Principe van bronmaatregel

- Bijlage 2 geeft een uitgebreide beschrijving van de kansrijke maatregelen
- Bijlage 5 geeft een uitgebreide beschrijving van de bijhorende onzekerheden



De zes kansrijke bronmaatregelen worden in de volgende paragrafen besproken. Allereerst wordt er een algemene omschrijving van de maatregel gegeven, gevolgd door de vereiste opbouw van de maatregel.

### 3.3.2 Maatregel overvloeien

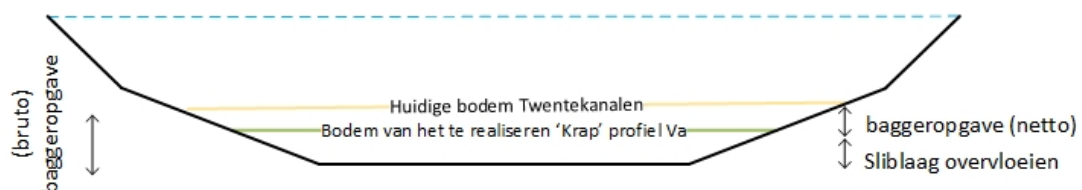
#### *Algemene omschrijving van de maatregel overvloeien*

Overvloeien gaat uit van het principe dat de huidige kanaalbodem voldoende fijne fractie bevat. De weerstandbiedende laag wordt gevormd door de aanwezigheid van fijne fractie op de kanaalbodem. Bij overvloeien wordt tijdens het baggeren de fijne fractie gescheiden van de grotere fracties. De fijne fractie wordt vervolgens teruggebracht in de waterkolom waar het zal bezinken en een waterremmende laag vormt op de bodem van het kanaal. Om ruimte te creëren voor deze 'sliblaag' wordt er 10 cm extra gebaggerd t.o.v. het wenselijke vaarwegprofiel. De fijne slibfractie kan hierdoor na het overvloeien bezinken zonder dat dit ten koste gaat van het vaarwegprofiel.

Het is onzeker of en hoe deze fijne slibfractie uiteindelijk een afsluitende laag vormt. Een deel zal in de ondergrond infiltreren (mede als gevolg van een kwelflux) en daar weerstand opbouwen. De fijne fractie slaat echter niet direct en volledig neer. De maatregel en het consolideren daarvan is gevoelig voor wervelingen en stromingen als gevolg van passerende schepen. Dit leidt tot onzekerheid of de fijne fractie voldoende homogeen over de kanaalbodem wordt verspreid en uiteindelijk een dekkende weerstand biedende laag vormt.

#### *Opbouw van de maatregel overvloeien*

Ten opzicht van de baggeropgave wordt 10 cm extra gebaggerd. Dit moet voldoende ruimte bieden voor de fijne fractie om neer te slaan. De bodem wordt als afsluitend beschouwd als de bovenste 4 cm minimaal een lutumgehalte heeft van 11% en de M50 (zandmediaan) maximaal 100  $\mu\text{m}$  is (Vermeulen WAU, 2003).



Figuur 3.3 Principe van de maatregel overvloeien

### 3.3.3 Maatregel slib

#### *Algemene omschrijving*

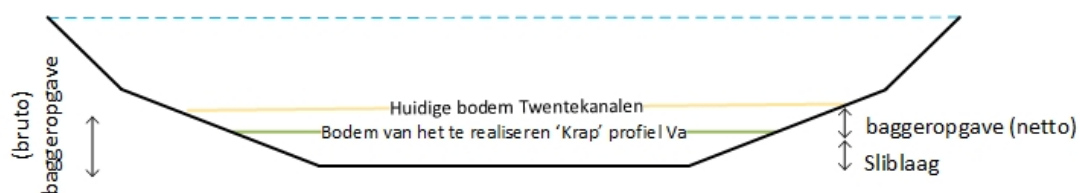
Bij de maatregel slib wordt er een weerstandbiedende laag op de bodem van het kanaal gevormd door (externe) slib aan te brengen. De sliblaag krijgt een dikte van 30 cm. In het huidige systeem is te weinig slib voorhanden om deze laagdikte te realiseren. Daarom wordt extern slib aangevoerd en aangebracht op de kanaalbodem.



De kwetsbaarheid voor ankers of spudpalen is beperkt. Vanwege de samenstelling / consistentie is de sliblaag een dynamisch systeem. Daarmee heeft het slibmateriaal een mate van zelfherstellend vermogen. Doordat er geen beschermlaag wordt aangebracht op de slib, is de laag wel gevoelig voor erosie. De fijne slibfractie kan door (schroef)belasting en stroming in suspensie worden gebracht. Door de laagdikte van 30 cm wordt dit deels ondervangen. Het is onzeker of het aangebrachte slib voldoende consolideert tot een afsluitende laag op de bodem en taluds. Daarnaast is de toepasbaarheid van de slib op de taluds een aandachtspunt.

### *Opbouw van de maatregel slib*

Op de bodem wordt een sliblaag van 30 cm gerealiseerd. De baggeropgave bestaat uit het realiseren van het vaarwegprofiel plus een aanvullende 30 cm voor de sliblaag. De wens is om een kanaalbodeweerstand van minimaal 60 tot 120 dagen te creëren bij kwelsituaties om grondwaterproblemen te voorkomen. Op basis van de modelstudies in bijlage 10 en 12 kan geconcludeerd worden dat hiermee een significante weerstand op de bodem wordt opgebouwd. Vanwege het heterogene karakter van slib wordt voor deze bronmaatregelen een wenselijke bodeweerstand van >120 dagen uitgegaan. De effectiviteit van de maatregel wordt met name door de slibsamenstelling bepaald.



Figuur 3.4 Principe van de maatregel beslibbing

### **3.3.4 Maatregel kleislurry**

#### *Algemene omschrijving*

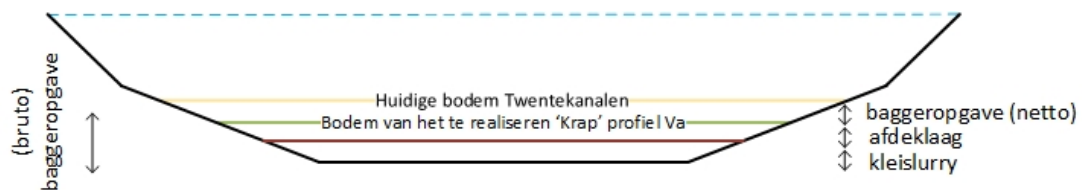
Kleislurry (kunstmatige klei) is een restproduct uit steengroeven en het brekerproces bestaande uit de fijnste fracties, eventueel aangevuld met bestanddelen om het tot een verwerkbaar klei/leemachtig materiaal te maken. Op de markt zijn onder meer producten als Noordse klei/leem en Rona®Leem beschikbaar die hier onder vallen. Noordse Leem is een homogene fijnkorrelige grond met een hoek van inwendige wrijving gelijk aan zand, een hoge volumieke massa en het heeft de doorlatendheid van verdichte klei. Noordse leem is bij een juiste verdichting te vergelijken met een categorie 3 klei volgens het TAW Technisch Rapport Klei voor dijken (Deltares, 2018).

Om dispersie en erosie van de kunstmatige kleislurry tegen te gaan, wordt er een dunne zandlaag aangebracht boven de weerstandbiedende laag. De dikte van deze slijtlaag is 20 cm. Deze zandlaag zal ook een erosie beperkende werking hebben. Tevens is de laagdikte van de kleislurry voldoende groot om enige erosie op te vangen. Voor beschadiging als gevolg van spudpalen en slepende ankers is de kleislurrylaag minder gevoelig. Vanwege de consistentie heeft het materiaal een mate van herstellend vermogen.



### Opbouw van de maatregel

Voor het toepassen van een kunstmatige gefabriceerde klei wordt in de uitwerking aangenomen dat deze, om een bepaalde weerstand op de bodem te generen, qua hoeveelheden vergelijkbaar is met natuurlijk kleiig materiaal (goed verdicht). Het principe bestaat uit het aanbrengen van laag met een dikte van 50 cm. Om voldoende mate van zekerheid in de effectiviteit te halen is het wenselijk om een bodemweerstand van >120 dagen te realiseren. Op basis van de modelstudies in bijlage 10 en 12 kan geconcludeerd worden dat hiermee een significante weerstand op de bodem wordt opgebouwd. De weerstand wordt gevormd doordat het materiaal wordt verdicht. Verdichting van de kleislurry in den natte is lastig realiseerbaar. Daarom wordt er een afdeklaag op de kleislurry aangebracht van 20 cm bestaande uit zand. Door het gewicht van deze zandlaag wordt de kleislurry verdicht. Daarnaast voorkomt deze afdeklaag dat de toplaag van de Noordse Leem na enige tijd verweekt onder water.



Figuur 3.5 Principe van de maatregel kunstmatige kleislurry



Figuur 3.6 Voorbeeld met Rona@Leem (bron: Altena Infra)

### 3.3.5 Maatregel vaste klei

#### Algemene beschrijving maatregel

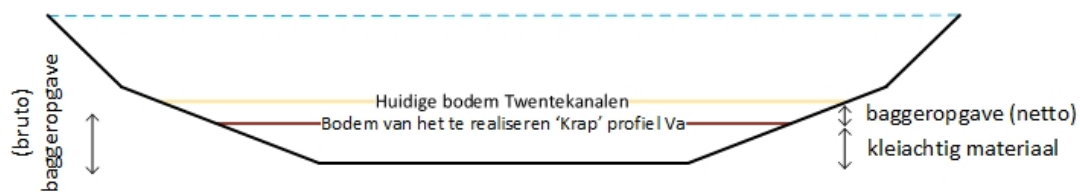
Bij deze bronmaatregel wordt de weerstandsbiedende laag gevormd door natuurlijke klei. Onder natuurlijke klei wordt verstaan het materiaal dat natuurlijk gewonnen wordt zonder dat daar een bewerkingsproces aan vooraf gaat. In den natte kan de klei op twee manieren worden aangebracht: versnijden of in blokken aanbrengen. Bij beide methoden wordt de aangebrachte klei versmeerd om het materiaal te verdichten. Als de klei in blokken wordt aangebracht, bestaat er een risico op kieren tussen de blokken waardoor de bodem niet geheel wordt afgedicht.



Een verdichte kleilaag wordt als erosiebestendig beschouwd. Vandaar dat er geen slijtlaag op de kleilaag wordt aangebracht. Het risico op erosie kan nog verder worden beperkt door de kleilaag verdiept aan te leggen. Daardoor is er ruimte om achteraf nog een slijtlaag aan te brengen zonder dat dit ten koste gaat van het minimale vaarwegprofiel.

### Opbouw van de maatregel

De dikte van de benodigde kleilaag hangt samen met de samenstelling van het materiaal. Voor de bepaling van de benodigde dikte in combinatie met de samenstelling van de weerstandbiedende laag is in het verleden een algemene formule afgeleid. Voor 30 dagen is een laagdikte tot 20 cm benodigd, voor 60 dagen tot 42 cm waarbij het lutumgehalte zeer bepalend is in de benodigde dikte. In verband met een betrouwbare maakbaarheid voor het toepassen van vlakdekkend kleiachtig materiaal op de bodem wordt een dikte van 50 cm gehanteerd. De bodemweerstand dient minimaal 60 tot 120 dagen te zijn. Op basis van de modelstudies in bijlage 10 en 12 kan geconcludeerd worden dat hiermee een significante weerstand op de bodem wordt opgebouwd. In de verfijning van de oplossingsrichtingen is het mogelijk om deze keuze beargumenteerd bij te stellen.



Figuur 3.7 Principe van de maatregel natuurlijke klei/stevig

### 3.3.6 Maatregel bentonietmengsel

#### Algemene beschrijving maatregel

Het principe bestaat uit het aanbrengen van een mengsel van een zand-bentonietmengsel van ca. 5 tot 10 cm op de kanaalbodem om een voldoende waterremmende kanaalbodem te realiseren.

Een relatief dunne laag van slechts enkele centimeters zou in theorie nodig zijn om een weerstandbiedende laag te creëren met dit materiaal.

Deze beperkte laagdikte brengt risico's met zich mee op het vlak van uitvoerbaarheid en robuustheid.



Bron: Van Heteren

In Nederland is deze methode nog niet eerder op het schaalniveau van het Twentekanaal toegepast. Een bentonietmengsel is wel succesvol toegepast in een pilotproject (circa 10.000 m<sup>2</sup>) van de provincie Overijssel bij de opwaardering van kanaal Almelo-De Haandrik. De uitkomst was dat een laagdikte van 5 tot 10 cm voldoende is om een waterremmende bodem te realiseren.

Op basis van de ervaring in dit project en expert judgement is een slijtlaag niet noodzakelijk (RWS 2018b, RWS2018c en Bijlage 7). Het bentonietmengsel lijkt op basis van de huidige ervaring voldoende erosiebestendig. Daarnaast is de verwachting dat het bentonietmengsel onvoldoende

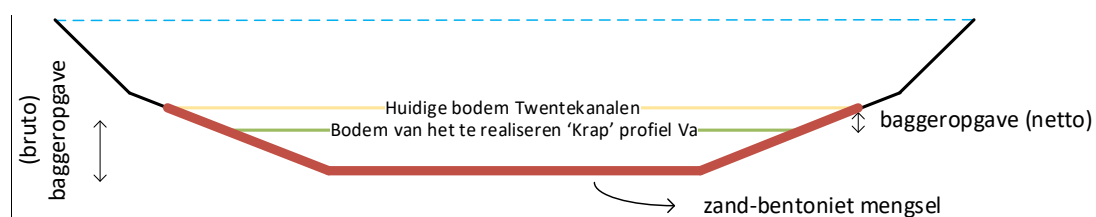
draagkracht heeft voor een slijtlaag. De daadwerkelijke erosiebestendigheid van het mengsel is een onzekerheid omdat de hydraulische belastingen verschillen met betrekking tot het Twentekanaal. Onzeker is dus de invloed van klasse Va schepen. In paragraaf 5.2 worden aanbevelingen over gedaan om deze onzekerheid te verkleinen. Voor beschadigingen als gevolg van ankers en spudpalen is het materiaal minder kwetsbaar. Het mengsel heeft een mate van zelfherstellend vermogen. Omwille robuustheid kan deze laag ook dikker (in marktreflectiesessie is 0,30 m benoemd) worden aangebracht.



Figuur 3.8 Het aanbrengen een zand-bentonietmengsel door Van Heteren (bron : Van Heteren)

### Opbouw van de maatregel

Door de onzekerheid met betrekking tot de mate van erosiebestendigheid van de oplossing is de noodzakelijke laagdikte van de oplossing niet met zekerheid vast te stellen. Bij het project in het kanaal Almelo-De Haandrik is een laagdikte van 5 tot 10 cm toegepast. Op basis van deze ervaringen is laagdikte van 10 cm voldoende om een waterremmende laag te vormen. Daarnaast is de verwachting dat met een laag van 30 cm de verwachte erosie voldoende wordt gecompenseerd. Een aanvullend risico is dat, vanwege de slechte draagkracht van het mengsel, het bentonietmengsel mogelijk uitzakt op de taluds.



Figuur 3.9 Principe van de ontwerpoplossing zand-bentonietmengsel

### 3.3.7 Maatregel bentonietmatten

#### *Algemene beschrijving maatregel*

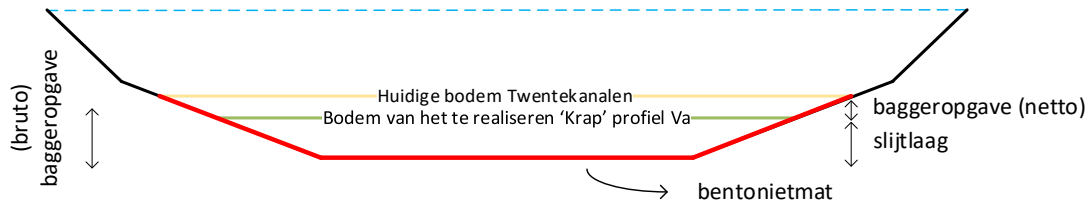
Een bentonietmat bestaat uit twee lagen geotextiel met daartussen bentoniet. Onder water zwelt bentoniet tot twaalf keer het oorspronkelijke volume. Vanwege het geotextiel is de zwelling in de hoogte tot 15 mm mogelijk. Daardoor zoekt het materiaal een uitweg naar de zijkanen. Zo wordt gegarandeerd dat de mat voldoende verdicht en nagenoeg ondoorlatend wordt. De weerstand van de bentonietmatten is meer dan 3000 dagen. Dit is significant hoger dan de benodigde weerstand van circa 60 tot 120 dagen aan infiltratieweerstand (Tauw 2014). Daarmee is deze maatregel een overdimensionering van wat nodig is om de projectdoelstellingen te halen. Een te dicht kanaal kan daarnaast mogelijk tot ongewenste verdroging leiden (Bijlage 12). De bentonietmatten zijn gevoelig voor bijvoorbeeld krabbende ankers omdat deze mogelijk de gehele mat meetrokken. Een beschermende laag om de bentonietmat op de juiste plek te houden en te beschermen tegen beschadiging is daarom vereist en onderdeel van de maatregel.



Figuur 3.10 Een voorbeeld van aanbrengen van bentonietmatten (bron: [prosegeotechniek.nl](http://prosegeotechniek.nl))

#### *Opbouw van de maatregel*

De maatregel bestaat uit een bentonietmat op de bodem van het kanaal. Ter bescherming van de constructie wordt er een slijtlaag van zand op de bentonietmatten geplaatst. De dikte van de laag ligt tussen de 0,6 m tot 1,0m. In de marktreflectiesessie van 9 oktober 2018 was er consensus over een laagdikte van 1,0 m. Deze dikte is voor de verdere uitwerking het uitgangspunt.



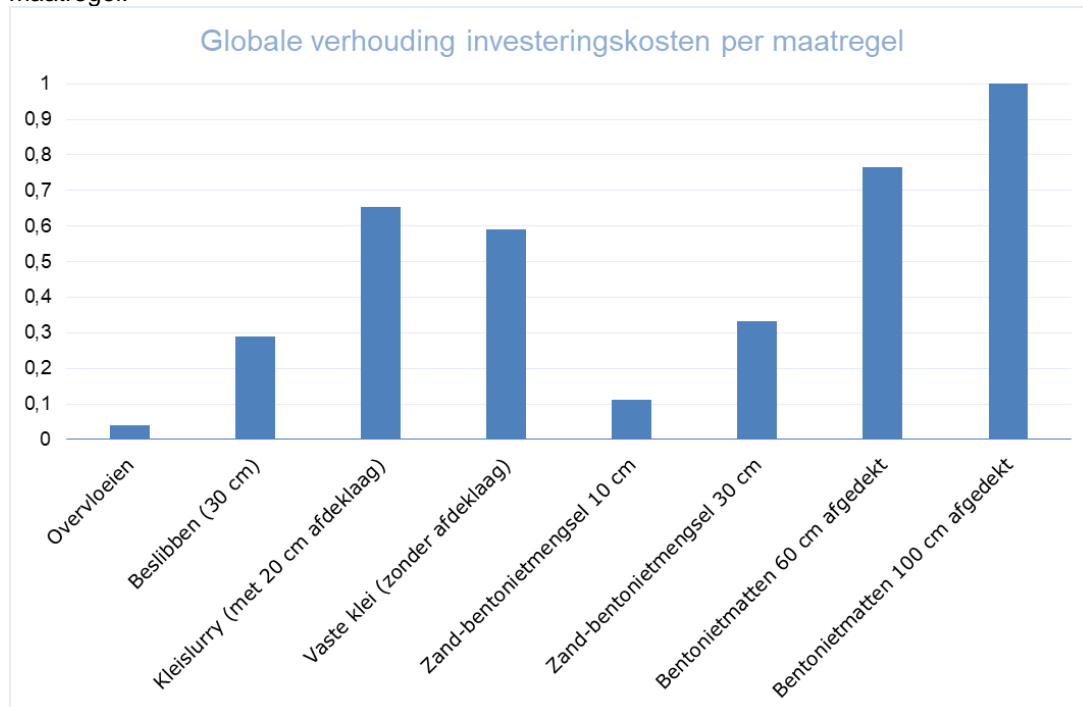
Figuur 3.11 Principe van de maatregel aanbrengen bentonietmat

### 3.4 Globale verhouding investeringskosten per maatregel

Op basis van het principe ontwerp van de maatregelen zijn de globale kosten per maatregel opgesteld. Deze kosten zijn gebaseerd op een SSK raming die door Rijkswaterstaat is opgesteld. Figuur 3.12 geeft de globale verhouding weer van de investeringskosten per maatregel. De relatieve kosten zijn afgezet tegen de duurste maatregel (bentonietmatten die met 100 cm kanaalbodem materiaal worden afgedekt). In de kosten zijn onder andere inbegrepen:

- Materiaalkosten
- Aanvullende baggeropgave om de maatregel toe te kunnen passen
- Aan en afvoeren van materialen

De reguliere baggeropgave wordt niet meegenomen in de relatieve investeringskosten per maatregel.



Figuur 3.12 Globale verhouding kosten per maatregel



## 3.5 Beoordelingskader

Het beoordelingskader beschrijft de onderscheidende aspecten waarop de mogelijke en kansrijke maatregelen beoordeeld worden. De beoordeling is kwalitatief en ten opzichte van elkaar opgezet. Het beoordelingskader is op iteratieve wijze tot stand gekomen. Een concept kader is via de expertsessie en de marktreflectiesessie doorontwikkeld en aangescherpt.

In het beoordelingskader worden zowel kwalitatieve beoordelingsaspecten gehanteerd als de investeringskosten van de maatregel. In de beoordeling van de maatregelen is dit onderscheid aangehouden (een totaalscore zonder kosten en een totaalscore met kosten). Zo ontstaat er een beeld van de best werkende oplossing en de beste keuze. De onderstaande beoordelingsaspecten zijn gehanteerd:

- Effectiviteit - Mate waarin de kwel/drainageproblemen te voorkomen of op te lossen zijn. Dit betreft de kanaalbodemweerstand (in dagen). Richtlijn weerstand van 30-60 dagen bij drainagestukken en 60-120 dagen bij infiltratiestukken. Het betreft de mate van effectiviteit indien de maatregel sluitend wordt aangelegd (inherente effectiviteit). Daarbij wordt een vierpuntschaal gehanteerd: 4= zeer effectief, 3= effectief, 2= effectief met significante onzekerheden, 1= onvoldoende effectief
- Robuustheid – Mate waarin de maatregel ongevoelig is voor fysieke invloeden in het kanaal zoals grondwaterwisselingen, ankers, spudpalen, retourstromen en schroefstraalbelasting. Daarbij wordt een vierpuntschaal gehanteerd: 4= robuust, 3= redelijk robuust, 2= redelijk kwetsbaar, 1= heel kwetsbaar
- Beschikbaarheid – Mate waarin de grondstoffen voor de maatregelen beschikbaar zijn om toegepast te worden op de schaal van het Twentekanaal. Is er schaarste, is er een exclusieve leverancier, dient er geconcurrereerd te worden met andere sectoren. Daarbij wordt een vierpuntschaal gehanteerd: 4= onbelemmerd beschikbaar, 3= beschikbaar, 2= beschikbaar onzeker, 1= nauwelijks beschikbaar
- Snelheid realisatie, herstel en onderhoud – Mate waarin de maatregel (snel) maakbaar is ten behoeve van aanleg/onderhoud/herstel. Factoren hierin zijn productiesnelheid, beschikbare aanlegtechnieken en de ervaring hierin. Daarbij wordt een vierpuntschaal gehanteerd: 4= goed en snel maakbaar, 3= redelijk snel en/of redelijk maakbaar, 2= lastig maakbaar en/of duurt wat langer, 1= moeilijk maakbaar en duurt lang
- Herkennen lekkages en herstellen – Mate waarin de maatregel en de werking ervan achteraf kan worden gemeten en aangepast kan worden (finetuning). Het herkennen, signaleren van lekkages en het herstellen ervan. Daarbij wordt een vierpuntschaal gehanteerd: 4= goed te lokaliseren en bij te stellen, 3= redelijk te lokaliseren en bij te stellen, 2= lastig te lokaliseren en bij te stellen, 1= moeilijk te lokaliseren en bij te stellen
- Vertroebeling, aantasting ecologie en milieu – Mate waarin de maatregel impact heeft op vertroebeling, ecologische- en milieuwaarden. Daarbij wordt een vierpuntschaal gehanteerd: 4= heel weinig effect, 3= een beetje effect, 2= redelijk wat effect, 1= veel effect
- Verifieerbaarheid – Mate waarin gecontroleerd en aangetoond kan worden of de aanleg van de maatregel juist is verlopen en of de maatregel de beoogde effectiviteit heeft. Daarbij wordt een vierpuntschaal gehanteerd: 4= goed verifieerbaar, 3= redelijk verifieerbaar, 2= lastig verifieerbaar, 1= moeilijk verifieerbaar

- Onderhoudbaarheid – Mate van benodigde beheerintensiteit (hoe vaak en hoe veel), de benodigde beheerinspanning en de mate van beheer-/onderhoudsmogelijkheden. Daarbij wordt een vierpuntschaal gehanteerd: 4= goed onderhoudbaar, zeer lage frequentie of zeer beperkte inspanning, 3= redelijk onderhoudbaar, 2= matig onderhoudbaar, 1= slecht onderhoudbaar
- Realisatiekosten – De investeringskosten voor de aanleg van de maatregel. Deze zijn bepaald door Rijkswaterstaat op basis van hoeveelheden uit het schetsontwerp van de maatregelen

### 3.6 Trade-off matrix

De trade-off matrix (TOM) geeft voor de zes kansrijke alternatieven weer hoe deze scoren op de beoordelingsaspecten zoals benoemd in paragraaf 0. De TOM is mede tot stand gekomen met inbreng van de expertsessie en de marktreflectiesessie<sup>3</sup>. De score is vastgesteld ten opzichte van elkaar op de eerder beschreven vier-puntschaal waarbij 4 beter is dan 1. Door de scores ook een kleur mee te geven, ontstaat ook een visueel eindoordeel van een maatregel. Tabel 3.1 geeft de onderlinge kwalitatieve scores van de maatregelen weer. Bijlage 15 geeft verder een gedetailleerde weergave van de TOM inclusief een summier onderbouwing van de scores.

Tabel 3.1 Trade-off Matrix Twentekanaal grondwaterproblematiek

Maatregel \ Aspect	Overvloeden	Toepassing slib	Toepassing kleislurry	Toepassing vaste klei	Zand-Bentonietmengsel	Bentonietmatten
Effectiviteit	2	2	3	3	3	4
Robuustheid	2	3	3	3	3	3
Beschikbaarheid	2	2	4	2	4	4
Snelheid realisatie, herstel en onderhoud	3	2	2	1	3	4
Herkennen lekkages en herstellen	2	3	2	2	4	1
Vertroebeling, aantasting ecologie en milieu	1	2	2	3	3	4
Verifieerbaarheid	1	3	3	3	2	3

<sup>3</sup> De individuele scores vertegenwoordigen het overheersende beeld van de wijze waarop een maatregel voldoet aan een criterium. Er is echter geen unaniem eenduidig beeld op gehaald uit de marktreflectiesessie omdat voor de kansrijke maatregelen de praktijkervaring op de schaal van het Twentekanaal ontbreekt.



Onderhoudbaarheid	3	4	4	4	4	3
<b>Totaalscore kwalitatief</b>	<b>16</b>	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>26</b>	<b>26</b>
Investeringskosten	4	3	2	2	3	1
<b>Totaalscore incl. investering</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>23</b>	<b>29</b>	<b>27</b>

De maatregel 'louter monitoren' is in de trade-off matrix niet opgenomen. Echter op trajecten waar de verwachting is dat de baggerwerkzaamheden beperkt effect hebben op de grondwaterstanden, is 'louter monitoren' een kansrijke maatregel en dus alternatief voor overvloeien. Dit is mede omdat overvloeien tot aanzienlijke vertroebeling leidt en het de productiesnelheid mogelijk beperkt. Met het monitoringsplan (zie paragraaf 4.2 en Bijlage 13) is snel inzichtelijk of er ongewenste wijzigingen in de grondwaterstand optreden en of op overvloeien of zelfs op maatregelen voor een hoger risicoprofiel overgestapt moet worden.

Bij het kiezen van een voorkeursalternatief zijn doorslaggevend:

- Doelmatigheid: kiezen voor de maatregel die qua kosten het meest voordelig is in relatie tot de benodigde effectiviteit en robuustheid van een traject
- Geen overdimensionering: toepassen van de maatregel waarmee wordt voldaan aan de projectdoelstellingen. Dit houdt in dat je wilt voorkomen dat er een te robuuste en effectieve maatregel op trajecten wordt gerealiseerd waar dat niet nodig is

Per traject wordt op basis van een risicoprofiel een voorkeursalternatief gekozen. Dit wordt nader toegelicht in paragraaf 3.8.

De trade-off matrix en de beschouwing om tot een doelmatige keuze te komen leidt tot de volgende conclusies:

- Bentonietmatten inclusief de deklaag scoort het best op effectiviteit en robuustheid en is daarmee de meest zekere oplossing. De grondstoffen zijn beschikbaar en de maatregel levert de minste vertroebeling op. Daarnaast is het werk goed verifieerbaar. Het is daarentegen de duurste maatregel in aanleg
- Het grootste hydrologische effect is te behalen uit het terugbrengen van een kanaalbodemweerstand van 60 tot 120 dagen infiltratieweerstand (Bijlage 12). Alle extra weerstand die wordt aangebracht heeft een beperkter hydrologisch effect op de grondwaterstanden in de omgeving van het kanaal. Het toepassen van bentonietmatten is om deze reden niet doelmatig aangezien deze maatregel meer weerstand vormt op de kanaalbodem dan nodig is. Vanuit kostenoogpunt wordt dan een veel te dure maatregel toegepast voor wat daadwerkelijk nodig is om de doelstellingen te behalen
- Het toepassen van bentonietmatten heeft mogelijk ongewenste verdroging tot gevolg





- Kleislurry, vaste klei en zand-bentonietmengsel scoren gelijkwaardig wat betreft effectiviteit en robuustheid. De beschikbaarheid van klei en de arbeidsintensieve wijze in de uitvoering maakt dat het toepassen van vaste klei overal het minst scoort van deze drie maatregelen
- Het zand-bentonietmengsel is het goedkoopst in aanleg. Vanwege de dunnere laag die wordt gehanteerd is deze maatregel lastiger te verifiëren en bestaat er een onzekerheid of de maatregel voldoende erosiebestendig is voor klasse Va schepen. Dit is te ondervangen met een dikkere laag waarbij de investeringskosten nog steeds gunstiger uitvallen dan bij kleislurry en vaste klei
- Overvloeien en het toepassen van slib scoren het minst op effectiviteit en robuustheid. Deze maatregelen zijn relatief het minst zeker. De werking van beide maatregelen is sterk afhankelijk van de beschikbare fijne fracties waarbij de laagdikte van 0,30 meter slib voor meer robuustheid en zelf herstellend vermogen zorgt dan de 0,10 meter fijne fractie bij overvloeien
- De kosten van overvloeien zijn beperkt zodat de maatregel bijna als een no-regret maatregel beschouwd kan worden. Het overvloeien leidt echter tot aanzienlijke vertroebeling. Overvloeien is daarom alleen interessant op trajecten waar dit een significant (kosten)voordeel oplevert en deze minst zekere oplossing volstaat
- De kosten van het toepassen van extern slib overtreffen de kosten van het toepassen van een zand-bentonietmengsel van 10 cm. Bij 30 cm zand-bentonietmengsel zijn de kosten ongeveer gelijk. De maatregel zandbentoniet-mengsel biedt daarbij meer zekerheid dan het aanbrengen van extern slib. Daarom prevaleert de combinatie van de maatregel overvloeien in situaties met een medium risicoprofiel en zand-bentonietmengsel in situaties met een hoog risicoprofiel boven de maatregel ‘aanbrengen extern slib’

### 3.6.1 Bij kwelproblematiek

De trade-off matrix resulteert in een voorkeursmaatregel voor 4 onderscheidende situaties bij een medium risicoprofiel, een hoog risicoprofiel, een voorkeursmaatregel voor het verder vergroten van de robuustheid en effectiviteit en een voorkeursmaatregel voor het volledig dichtzetten van het kanaal. Naast dit voorkeursalternatief zijn er maatregelen die ook toe te passen zijn maar minder goed scoren. Bijvoorbeeld doordat de grondstoffen minder goed beschikbaar zijn of de kosten hoger zijn. Deze alternatieven hoeven niet uitgesloten te worden en kunnen, mits goed onderbouwd, door de uitvoerende partij toegepast worden voor deze situatie. Dit leidt tot de volgende indeling weergegeven in Tabel 3.2. Hierbij wordt benadrukt dat deze alternatieve maatregelen niet gelijk zijn aan de beheersmaatregelen en in onderstaande tabel geen onderlinge hiërarchie tonen hebben qua voorkeur.

Tabel 3.2 Overzicht van voorkeursmaatregelen bij kwel en eventuele alternatieve opties

	Medium risicoprofiel	Hoog risicoprofiel	Vergroten effectiviteit en robuustheid	Volledig dichtzetten
Voorkeurs maatregel	Overvloeien	10 cm zand-bentonietmengsel	30 cm zand-bentonietmengsel	Bentonietmatten met 1,0 m deklaag



	Medium risicoprofiel	Hoog risicoprofiel	Vergroten effectiviteit en robuustheid	Volledig dichtzetten
Alternatieven	10 cm zand-bentonietmengsel	50 cm kleislurry met 20 cm deklaag	50 cm vaste klei	Verlengen damwanden indien kosten efficiënt
Alternatieven	30 cm extern slib	50 cm vaste klei	Verlengen damwanden indien kosten efficiënt	
Alternatieven		Verlengen damwanden indien kosten efficiënt		

### 3.6.2 Bij situatie drainage

In de situatie waarin het kanaal een drainerende werking heeft, kunnen geen fijne fracties worden toegepast omdat deze uitspoelen. Om deze reden wordt aangenomen dat de weerstand op de kanaalbodem gemiddeld lager zal liggen dan in kwelgebieden (waar fijne fracties infiltreren in de kanaalbodem). Hier moet een maatregel worden aangebracht die aan de ene kant voldoende weerstand heeft die niet uitspoelt en aan de andere kant voldoende gewicht heeft tegen opbarsten. Daarbij is van belang dat het verlagen van de grondwaterstand door de drainerende werking van het kanaal minder snel leidt tot overlast. In aanmerking komen de volgende voorkeursmaatregelen.

Tabel 3.3 Overzicht van voorkeursmaatregelen bij drainage inclusief toegestane alternatieven

	Medium risicoprofiel	Hoog risicoprofiel	Vergroten effectiviteit en robuustheid	Volledig dichtzetten
Voorkeurs maatregel	Louter monitoring	Louter monitoring	30 cm zand-bentonietmengsel	Bentonietmatten met 1,0 m deklaag
Alternatieven	30 cm zand-bentonietmengsel	30 cm zand-bentonietmengsel	Maatwerk zand-bentonietmengsel	Verlengen damwanden indien kosten efficiënt
Alternatieven	Maatwerk bentoniet	Maatwerk bentoniet	Verlengen damwanden indien kosten efficiënt	



### 3.7 Factsheets gebiedsindeling

Per deeltraject is een factsheet opgesteld waarin de resultaten van de gebiedsanalyse zijn samengevoegd. In deze factsheets zijn opgenomen:

- Een overzichtskaart van het traject
- Een analyse van de baggeropgave in m<sup>3</sup>, spreiding van de baggerdiepte en gemiddelde baggeropgaaf inclusief baggerkaart
- Een overzicht van het geotechnisch lengteprofiel (GTL), de modeluitkomsten van het geohydrologisch model en een expert judgement op deze uitkomsten
- Mogelijkheid om al dan niet de damwanden door te zetten tot in afsluitende lagen

Op basis van bovenstaande gegevens is per deeltraject een klasse toegekend aan de baggeropgaaf en een klasse toegekend aan de verwachte wijziging op de grondwaterstand. Beide indelingen resulteren in een risicoprofiel per deeltraject waarbij de verwachte wijziging van grondwaterstand meer gewicht is toegekend. Het risicoprofiel per deeltraject is vervolgens maat voor de benodigde zekerheid in de te treffen maatregel. De indeling van voorkeursmaatregelen zoals verwoord in Tabel 3.2 en Tabel 3.3 geeft vervolgens richting aan de benodigde maatregel. De redeneerlijn om tot een geschikte maatregel te komen, is opgenomen in beslisschema's voor kwel en drainage. Paragraaf 3.8 geeft een toelichting op het beslisschema.

In Bijlage 8 zijn de factsheets opgenomen.

### 3.8 Beslisschema

Het beslisschema (zie Figuur 3.13 voor een uitsnede van het beslisschema), om te komen tot een voorkeursmaatregel voor kwelgevoelige en drainage gevoelige trajecten, maakt onderscheid in:

1. Een kleine baggeropgave (gemiddeld <0,10 meter) waarbij de weerstand naar verwachting niet tot nauwelijks aangetast wordt en het berekende effect van de grondwaterstand (GWS) stijging of daling niet of slechts beperkt optreedt
2. Een grotere opgaaf waarbij de weerstand aangetast wordt dan wel geheel verdwijnt en het berekende effect van GWS stijging of daling gedeeltelijk of geheel optreedt

Er is gekozen voor bovenstaand onderscheid om de volgende 2 redenen:

- 1) De bodemweerstand is lastig te vatten en vaak niet te herleiden tot een specifieke zone in de waterbodem. Diverse factoren (fijne fracties, lenzen, laagjes en absolute dikte) dragen bij aan de uiteindelijke bodemweerstand. Verdere nuancering zou leiden tot schijnnaauwkeurigheid
- 2) Een verdere verfijning leidt niet tot een andere keuze in maatregelen

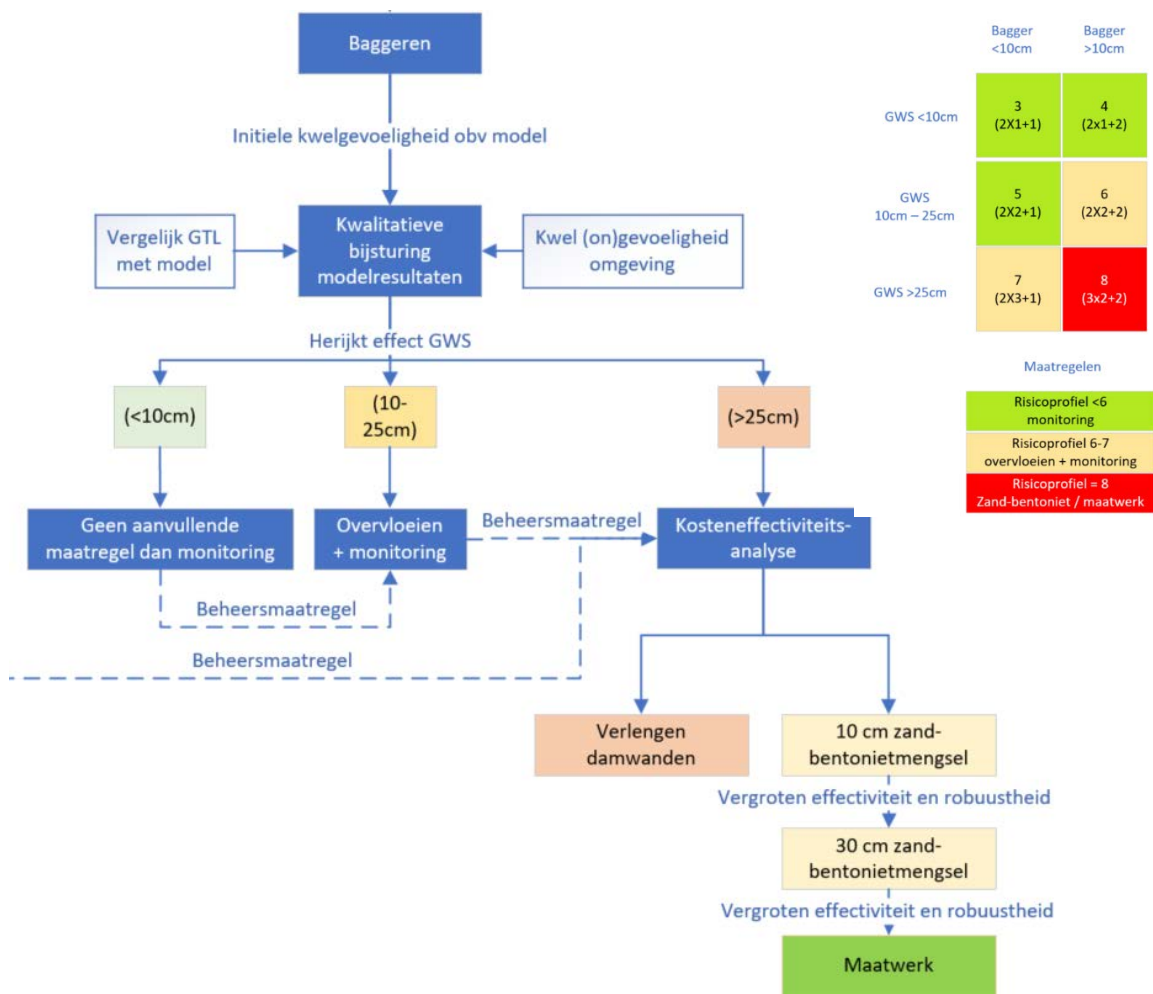
Het beslisschema onderscheidt drie categorieën van wijzigingen in de grondwaterstand. Deze verwachte wijzigingen zijn afkomstig uit het geohydrologisch model WRD2012 (hoofdtak) en MIPWA 3.0 (zijtak) en getoetst (Bijlage 11) en herijkt op basis van expert judgement:

1. Minder dan 10 cm waarbij het effect op de omgeving nihil is
2. Minder dan 25 cm waarbij het effect op de omgeving gevolgen kan hebben
3. Meer dan 25 cm is en onwenselijk is.



De baggeropgave en het verwachte effect op de grondwaterstand worden gecombineerd tot een risicoprofiel. Dit risicoprofiel wordt bepaald in de verhouding 1 x 'baggerklasse' + 2 x 'klasse GWS wijziging' en leidt tot een totale classificatie voor de te treffen maatregel. Via Tabel 3.2 en Tabel 3.3 leidt dit tot een toewijzing van de voorkeursmaatregel op het betreffende deeltraject. Bij het treffen van een bronmaatregel wordt in de afweging meegenomen of de bodemopbouw op (een deel van) het betreffende traject zich leent voor het verlengen van de damwanden tot een ondoorlatende laag (zie Bijlage 14). Op deze wijze wordt het kanaal geheel geïsoleerd van de omgeving en kan de bronmaatregel vervallen. Met een kosteneffectiviteitsanalyse wordt afgewogen of het verlengen van damwanden de voorkeur verdient boven de reguliere voorkeursmaatregel.

In Bijlage 9 zijn de beslisschema's opgenomen, Figuur 3.13 toont een uitsnede voor de beeldvorming.



Figuur 3.13 Uitsnede van het beslisschema voor kwel met een grote baggeropgave

## 4 Onderbouwing keuze VKA

### 4.1 Onderbouwing VKA per deeltraject

Deze paragraaf geeft een beknopt overzicht en onderbouwing van het VKA per deeltraject. Op basis van de factsheets (Bijlage 8) is aan de 12 deeltrajecten een risicoprofiel (drainage/kwel) toegekend. Via het beslisschema (Bijlage 9) leidt dit tot een voorkeursmaatregel. De keuze voor de desbetreffende bronmaatregel per risicoprofiel is reeds onderbouwd in Tabel 3.1, Tabel 3.2 en Tabel 3.3.

Zijtak 1. Km 0,456 – 1,600		
Lengte [m]	1135	<b>Toelichting VKA</b> Baggeropgave bodem beperkt, primair in wangen. Kleine daling van GW verwacht. Effect accepteren maar monitoren. Beheersing: Verkennen benodigde dikte ZBM van beheersmaatregel
Baggeropgave [m]	0,2 – 1,0 (klasse 2)	
Verwachte GWS wijziging [m]	0,05 – 0,30 (klasse 2)	
Problematiek	Drainage	
Risicoprofiel (2*GWS+ Baggeropgave)	6	
Voorkeursbronmaatregel	Monitoring	
Correctieve beheersmaatregel	Bronmaatregel (vb. 30 cm zand-bentonietmengsel) of gebiedsmaatregel	
Zijtak 2. Km 1,600 – 6,320		
Lengte [m]	4720	<b>Toelichting VKA</b> Baggeropgave bodem beperkt, primair in wangen. Stijging GWS verwacht. Reeds gebiedsmaatregelen getroffen aan westzijde (drainage, kwelsloot en ophogen maaiveld). Advies is bronmaatregel met zekerheid treffen i.r.t. gebied en verwachte GWS stijging.
Baggeropgave [m]	0,15 – 0,50 (klasse 2)	
Verwachte GWS wijziging [m]	> 0,25 (klasse 3)	
Problematiek	Kwel	
Risicoprofiel (2*GWS+ Baggeropgave)	8	
Voorkeursbronmaatregel	0,10 m zand-bentonietmengsel	
Correctieve beheersmaatregel	Bronmaatregel (vb. 30 cm zand-bentonietmengsel) of gebiedsmaatregel	
Zijtak 3. Km 6,320 – 13,400		
Lengte [m]	7080	<b>Toelichting VKA</b> Aanzienlijke baggeropgave met zwaartepunt in de wangen. Aanmerkelijk stijging GWS verwacht in bebouwd gebied. Reeds gebiedsmaatregelen getroffen (drainage, kwelsloot en
Baggeropgave [m]	0,20 – 0,80	
Verwachte GWS wijziging [m]	> 0,25 (klasse 3)	
Problematiek	Kwel	
Risicoprofiel (2*GWS+ Baggeropgave)	8	
Voorkeursbronmaatregel	0,30 m zand-bentonietmengsel	



## Zijtak 3. Km 6,320 – 13,400

Correctieve beheersmaatregel	Maatwerk gebiedsmaatregel	ophogen maaiveld). Advies direct een bronmaatregel met hoge zekerheid treffen (vergroten robuustheid en effectiviteit zie tabel 3.2) i.r.t. gebied en verwachte GWS stijging.
------------------------------	---------------------------	---

## Zijtak 4. Km 13,400 – 15,500

Lengte [m]	2100	<b>Toelichting VKA</b> Geen baggeropgave dus ook geen maatregel vereist. In dit gebied is tevens niet gebaggerd in 2010.
Baggeropgave [m]	0,0	
Verwachte GWS wijziging [m]	> 0,25 (klasse 3)	
Problematiek	Kwel	
Risicoprofiel (2*GWS+ Baggeropgave)	7	
Voorkeursbronmaatregel	Geen	
Correctieve beheersmaatregel	Geen	

## Delden-Hengelo 1. Km 36,410 – 37,850

Lengte [m]	1440	<b>Toelichting VKA</b> Baggeropgave bodem beperkt, primair in wangen. Stijging GWS verwacht. Advies bronmaatregel met zekerheid treffen i.r.t. gebiedsgebruik en verwachte GWS stijging. Overvloeden biedt onvoldoende zekerheid.
Baggeropgave [m]	0,1 – 1,0 (klasse 2)	
Verwachte GWS wijziging [m]	> 0,25 (klasse 3)	
Problematiek	Kwel	
Risicoprofiel (2*GWS+ Baggeropgave)	8	
Voorkeursbronmaatregel	0,10 m zand-bentonietmengsel	
Correctieve beheersmaatregel	Bronmaatregel (vb. 30 cm zand-bentonietmengsel) of gebiedsmaatregel, nader onderzoek GTL t.b.v. damwandverlenging	

## Delden-Hengelo 2. Km 37,850 - 38,666

Lengte [m]	816	<b>Toelichting VKA</b> Baggeropgave zeer beperkt. Verwachte GWS daling beperkt. Advies is geen aanvullende maatregelen te treffen, dan monitoring vanwege stedelijk
Baggeropgave [m]	0,05 – 0,40 (klasse 1)	
Verwachte GWS wijziging [m]	0,05 – 0,20 (klasse 1)	
Problematiek	Drainage	
Risicoprofiel (2*GWS+ Baggeropgave)	3	
Voorkeursbronmaatregel	Monitoring	



### Delden-Hengelo 2. Km 37,850 - 38,666

Correctieve beheersmaatregel	Bronmaatregel (vb. 30 cm zand-bentonietmengsel) of gebiedsmaatregel en Kosteneffectiviteitsanalyse damwandverlenging	gebied. Terugvaloptie bentoniet verkennen en voorbereiden. Gezien het aanwezige kleidek in kanaal is de verwachting dat hier met monitoring kan worden afgedaan
------------------------------	--	---

### Delden-Hengelo 3. Km 38,666 - 40,250

Lengte [m]	1584	<b>Toelichting VKA</b> Aanzienlijke baggeropgave met zwaartepunt in de wangen. Aanmerkelijk stijging GWS verwacht in dicht bebouwd gebied. Overvloeien en slib onvoldoende zekerheid / beeldvorming. Advies direct een bronmaatregel met hoge zekerheid treffen (vergroten robuustheid en effectiviteit zie tabel 3.2) i.r.t. gebied en verwachte GWS stijging.
Baggeropgave [m]	0,10 – 0,70 (klasse 2)	
Verwachte GWS wijziging [m]	>0,25 (klasse 3)	
Problematiek	Kwel	
Risicoprofiel (2*GWS+ Baggeropgave)	8	
Voorkeursbronmaatregel	0,30 m zand-bentonietmengsel, Kosteneffectiviteitsanalyse damwandverlenging	
Correctieve beheersmaatregel	Maatwerk gebiedsmaatregel	

### Delden-Hengelo 4. Km 40,250 - 43,000

Lengte [m]	2750	<b>Toelichting VKA</b> Kwel en drainage afhankelijk van locatie en seizoen. De baggeropgave is aanzienlijk in de wangen maar een stijging van de GWS is beperkt. Advies is een zachte maatregel met een robuustere maatregel achter de hand. Aangezien opschalen van overvloeien naar 0,10m zand-bentoniet een kleine stap is, eerst overvloeien inzetten op proefvak.
Baggeropgave [m]	0,30 – 1,0 (klasse 2)	
Verwachte GWS wijziging [m]	0,05 – 0,25 (klasse 2)	
Problematiek	Kwel en drainage	
Risicoprofiel (2*GWS+ Baggeropgave)	6	
Voorkeursbronmaatregel	Overvloeien	
Correctieve beheersmaatregel	Bronmaatregel (vb. 30 cm zand-bentonietmengsel) of gebiedsmaatregel en Kosteneffectiviteitsanalyse damwandverlenging	



## Delden-Hengelo 5. Km 43,000 - 45,276

Lengte [m]	2276	<b>Toelichting VKA</b> De baggeropgave varieert sterk. De baggerwerkzaamheden leiden naar verwachting echter tot beperkte daling van de GWS. Advies is geen aanvullende maatregelen te treffen dan intensievere monitoring. Terugvaloptie bentoniet verkennen benodigde laagdiktes en voorbereiden.
Baggeropgave [m]	0,05 – 1,75 (klasse 2)	
Verwachte GWS wijziging [m]	0,0 – 0,10 (klasse 1)	
Problematiek	Drainage	
Risicoprofiel (2*GWS+ Baggeropgave)	4	
Voorkeursbronmaatregel	Monitoring	
Correctieve beheersmaatregel	Bronmaatregel (vb. 30 cm zand-bentonietmengsel) of gebiedsmaatregel en Kosteneffectiviteitsanalyse damwandverlenging	

## Hengelo-Enschede 1. Km 45,276-46,040

Lengte [m]	764	<b>Toelichting VKA</b> Aanzienlijke baggerwerkzaamheden in een gebied waar onzekerheid is of kweleffecten optreden door de aanwezigheid van leemlagen. *Modeluitkomst 0-10 cm mogelijk onderschatting. Advies is een zachte maatregel met een robuustere maatregel achter de hand. Aangezien opschalen van overvloeien naar 0,10m zand-bentoniet kleine stap is, eerst overvloeien inzetten op proefvak.
Baggeropgave [m]	0,30 – 0,70 (Klasse 2)	
Verwachte GWS wijziging [m]	0,0 – 0,10 (klasse 3)*	
Problematiek	Kwel	
Risicoprofiel (2*GWS+ Baggeropgave)	8	
Voorkeursbronmaatregel	Overvloeien	
Correctieve beheersmaatregel	Bronmaatregel (vb. 10 cm zand-bentonietmengsel) of gebiedsmaatregel	

## Hengelo-Enschede 2. Km 46,040-47,450

Lengte [m]	1410	<b>Toelichting VKA</b> Baggeropgave bodem, primair in wangen. Aanzienlijke stijging GWS verwacht. Kristalbad vergt aandacht, niet compleet afsluiten van de bodem. Advies is een zachte maatregel met een robuustere maatregel achter de hand. Aangezien opschalen van overvloeien naar 0,10m zand-
Baggeropgave [m]	0,30 – 0,50 (klasse 2)	
Verwachte GWS wijziging [m]	>0,25 (klasse 3)	
Problematiek	Kwel	
Risicoprofiel (2*GWS+ Baggeropgave)	8	
Voorkeursbronmaatregel	Overvloeien	
Correctieve beheersmaatregel	Bronmaatregel (vb. 10 cm zand-bentonietmengsel) of gebiedsmaatregel	





Hengelo-Enschede 2. Km 46,040-47,450		
		bentoniet kleine stap is, eerst overvloeien inzetten op proefvak.
Hengelo-Enschede 3. Km 47,450-48,215		
Lengte [m]	765	<b>Toelichting VKA</b> De baggeropgave is aanzienlijk in de wangen maar het gebied is met een kleine daling van de GWS beperkt gevoelig. Het gebied heeft bestemming bedrijven en rioolwaterzuivering (RWZI) en is vrijwel volledig verhard. Advies is geen aanvullende maatregelen te treffen dan intensievere monitoring. Terugvaloptie bentoniet verkennen laagdikte en voorbereiden.
Baggeropgave [m]	0,20 – 0,70 (klasse 2)	
Verwachte GWS wijziging [m]	0,10 (klasse 1)	
Problematiek	Drainage	
Risicoprofiel (2*GWS+ Baggeropgave)	4	
Voorkeursbronmaatregel	Monitoring	
Correctieve beheersmaatregel	Bronmaatregel (vb. 30 cm zand-bentonietmengsel) of gebiedsmaatregel	

## 4.2 Monitoringsplan en grondwaterbeheersing

Voor een voorspelbare en beheerste uitvoering van de werkzaamheden is een monitoringsplan opgesteld. Dit plan bevat het ontwerp van het nieuwe meetnet en beschrijft het beoogde proces rondom de grondwaterbeheersing tijdens de verschillende fasen van het project. In Bijlage 13 is dit plan opgenomen.

### 4.2.1 Monitoringsmeetnet

Het monitoringsmeetnet is ontworpen met de volgende twee doelstellingen:

- 1) Verifiëren van de doelstellingen zoals beschreven in paragraaf 1.3
  - a. Herstellen bodemweerstand in zijkanaal
  - b. Geen blijvende grondwaterstandsveranderingen ten opzichte van de huidige situatie
  - c. Beperking van hinder als gevolg van de grondwaterstandsfluctuaties tijdens de uitvoering
- 2) Adaptief kunnen werken tijdens het uitvoeren van de werkzaamheden waarbij tijdige bijsturing mogelijk is om de bovenstaande doelstellingen te kunnen halen

Bij de inrichting van het meetnet wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de bestaande meetraaien van RWS (meetnet dat stamt uit 2013) en van waterschap Vechtstromen. Voor het verifiëren van de projectdoelstellingen worden peilbuizen gebruikt die zich in het freatische pakket bevinden (diepte 3 tot 4 m -mv). Met deze peilbuizen wordt mogelijke hinder of overlast gemeten.



Om tijdige bijsturing tijdens werkzaamheden mogelijk te maken (beslissen of de voorkeursbronmaatregel voldoet of dat een correctieve beheersmaatregel gewenst is) is het van belang dat mogelijke effecten binnen 1 à 2 dagen gemeten kunnen worden. Dit is mogelijk door diepe peilbuizen te plaatsen (10 tot 15 m-mv), zo dicht mogelijk bij het kanaal. Een belangrijke eis is dat de peilbuis in hetzelfde watervoerende pakket worden geplaatst als waar de kanaalbodem zich bevindt. Hierbij moeten zo weinig mogelijk storende leemlagen tussen de peilbuis en de kanaalbodem aanwezig zijn.

#### 4.2.2 Grondwaterbeheersing

Bij de grondwaterbeheersing worden 3 fases onderscheiden:

- Fase 1: Referentiefase: ten behoeve van verificatie.

De referentiesituatie wordt vastgesteld aan de hand van metingen over minstens 1 jaar. Deze metingen worden door middel van een tijdreeksmodellering representatief gemaakt voor een langere periode, waarmee de nulsituatie wordt vastgelegd.

- Fase 2: Realisatiefase: Doel om tijdens de uitvoering de grondwatereffecten te kunnen toetsen en beheersen.

Signalering van significante grondwaterstandsveranderingen ten op zichte van buizen in de directe omgeving (als gevolg van de werkzaamheden). Tijdens de uitvoering van de werkzaamheden dient dagelijks door middel van peilbuismetingen te worden aangetoond dat er geen ongewenste grondwaterstandveranderingen ontstaan. Indien deze plaatsvinden is het mogelijk om tijdig bij te sturen.

- Fase 3: Gebruiksfase: Monitoring na grondwaterstand beïnvloedende werkzaamheden.

In deze fase wordt vastgesteld of voldaan wordt aan de doelstellingen zoals beschreven in paragraaf 1.3.

In Bijlage 13 wordt dit proces verder toegelicht.



## 5 Conclusie en aanbevelingen

### 5.1 Conclusie

In mei 2018 zijn RWS en Tauw het proces gestart om tot een voorkeursalternatief voor bronmaatregelen te komen waarmee de bodemweerstand rond de Zijtak hersteld wordt, op de overige trajecten van het Twentekanaal in stand blijft en de overlast door tijdelijke wijzigingen in de grondwaterstand gedurende de realisatie beperkt blijft. Dit is een uitvoerig proces geweest waarbij experts van binnen en buiten Rijkswaterstaat zijn betrokken en marktpartijen hebben kunnen reflecteren op de resultaten. Dit heeft een totaalbeeld opgeleverd aan potentiële maatregelen en de effectiviteit daarvan.

Dit proces heeft geresulteerd in 6 kansrijke maatregelen:

1. Overvloeien waarbij de fijne fracties tijdens het baggeren terugvloeien in de waterkolom
2. Aanbrengen van circa 0,3 m extern slib
3. Aanbrengen van circa 0,5 m kleislurry met een 0,2 m deklaag voor consolidatie
4. Aanbrengen van circa 0,5 m stevige klei
5. Aanbrengen van 0,1 – 0,3 m zand-bentonietmengsel
6. Aanbrengen van bentonietmatten met circa 1,0 m deklaag

Uit de trade-off matrix (Tabel 3.1) volgt per risicoprofiel een voorkeursmaatregel per onderscheidend kanaaltraject (hoofdstuk 4.1). De voorkeursmaatregel per kanaaltraject dient te worden beschouwd als de meest doelmatige maatregel voor het betreffende risicoprofiel op basis van de Trade-off matrix.

Uit deze studie en uitgebreide consultatie van specialisten en marktpartijen blijkt dat alle maatregelen inclusief geselecteerde voorkeursmaatregelen op verschillende aspecten onzekerheden blijven bevatten (zie paragraaf 3.3 en Bijlage 5). Dit betreffen onzekerheden ten aanzien van benodigde laagdiktes en samenstelling voor een goed functionerende maatregel, de wijze van praktische realisatie en de wijze van verifiëren en valideren van de maatregelen (zie ook Bijlage 4). Dit is enerzijds het gevolg van beperkte ervaring met de maatregelen en anderzijds het gevolg van de schaalgrootte waarop deze in de Twentekanalen worden toegepast. Een passende beheersing is daarom een getrapte en adaptieve aanpak te hanteren waarbij opties beschikbaar zijn voor het geval dat het voorkeursalternatief niet voldoende effectief is om de grondwaterstanden in de omgeving te beheersen. Deze adaptieve aanpak bestaat uit de volgende stappen:

De getrapte adaptieve aanpak omvat de volgende stappen (zie ook Figuur 2.2):

1. De aanleg van de voorkeursmaatregel start binnen een vooraf gedefinieerd 'proefvak' met een representatieve bodemsamenstelling maar met een beperkt omgevingsrisico. In het proefvak worden effectiviteit, maakbaarheid, benodigde laagdiktes, aanleg onder talud en erosiebestendigheid in situ beproefd. Buiten het proefvak wordt de grondwaterstand nauwlettend gemonitord



2. Na realisatie van het proefvak vindt evaluatie van de voorkeursmaatregel plaats waarna zonodig kan worden besloten de maatregel bij te stellen of over te stappen op een andere maatregel. Dit kan een meer robuuste bronmaatregel zijn of een maatwerk gebiedsmaatregel zoals het aanleggen van drainage, kwelsloten, het ophogen van maaiveld of het wijzigen van de gebiedsfunctie. De keuze tussen de bron- of gebiedsmaatregel wordt daarbij nader afgewogen waarbij doelmatigheid en kosteneffectiviteit de leidende principes zijn
3. Wanneer buiten het proefvak de gewenste grondwaterbeheersing niet gehaald wordt, vindt eenzelfde afweging plaats en kan lokaal of over het resterende traject naar een meer robuuste bronmaatregel of maatwerkgebiedsmaatregel worden overgestapt

Met de insteek op deze getrapte, adaptieve aanpak houdt het projectteam vrijheid om, ondanks de aanwezige onzekerheden, invulling te kunnen geven aan optimale beheersing van de grondwaterproblematiek in de aanloop naar en gedurende de realisatiefase.

Voor een gericht beeld van eventuele opties in het geval de gekozen voorkeursmaatregel onvoldoende effectief blijkt zijn in Tabel 3.2 en Tabel 3.3 alternatieve opties gegeven die te zijner tijd overwogen kunnen worden.

Gebiedsmaatregelen zoals het aanleggen van drainage of kwelsloten, het ophogen van maaiveld of het wijzigen van functies is vanwege het maatwerk-karakter niet verder uitgewerkt in deze studie. Dergelijke maatregelen dienen te zijner tijd echter wel meegenomen te worden in de integrale afweging zodra wordt overwogen over te stappen op een andere dan de gekozen voorkeursmaatregel.

## 5.2 Aanbevelingen voor verdere reductie van onzekerheden

### 5.2.1 Grootste onzekerheden

Dit onderzoek heeft geleid tot meer inzicht in de wijze waarop bodemweerstand na baggeren teruggebracht kan worden in de Twentekanalen. Tijdens het onderzoek is echter duidelijk geworden dat rond deze maatregelen sprake blijft van kennisleemtes en gebrek aan praktische ervaring. Bijlage 5 gaat hier uitgebreid op in. Hieronder staan de belangrijkste onzekerheden:

- Onzekerheid over de vereiste samenstelling (lutumgehalte, fijne fractie etc.) en benodigde verdichting van het toe te passen materiaal om de gewenste weerstand te realiseren
- Onzekerheid in de benodigde laagdikte om de gewenste weerstand te realiseren
- Onzekerheid in de benodigde laagdikte om voldoende erosiebestendig te zijn en zo de gewenste laagdikte te behouden
- Onzekerheid over de wijze van aanbrengen en realiseren van de benodigde verdichting
- Onzekerheid over de toepasbaarheid van de maatregel op taluds
- Onzekerheid in de wijze van verificatie en validatie van de maatregelen

In de opvolgende fasen tot en met de realisatie is er gelegenheid deze kennisleemtes en onzekerheden te reduceren door:

- Nader praktisch laboratoriumonderzoek voorafgaand aan de aanbesteding
- Nadere voorbereiding voorafgaand aan de aanbesteding



- Opnemen van praktijkproeven, onderzoek en monitoring bij aanvang en gedurende de realisatie
- Binnen het contract optimaal ruimte bieden voor lerend vermogen en voortschrijdend inzicht ten aanzien de maatregel voor grondwaterbeheersing
- Contractvorm te kiezen waar een gezamenlijke (OG/ON) zoektocht naar beperking van onzekerheden voorop staat. EMVI-criteria kunnen daarbij zodanig worden ingericht dat marktpartijen worden geprikkeld om enerzijds vooraf plannen te maken om onzekerheden in te perken en anderzijds gelegenheid te geven de samenwerking/zoektocht naar optimale beheersing van de grondwaterstand gezamenlijk te beheersen (flexibiliteit ON)
- Verdere uitwerking en optimalisaties van onzekere onderdelen aangaande de praktische realisatie bij de markt te leggen
- Toepassen van de getrapte en adaptieve aanpak (reeds benoemd in het VKA)

### 5.2.2 Nader praktische onderzoeken voorafgaand aan de aanbesteding

Gedurende dit onderzoek is geconstateerd dat ervaring met grondwaterbeheersing op de schaal van het Twentekanaal beperkt is. Een deel van deze onzekerheden kan gereduceerd worden met gerichte praktijk- en laboratoriumproeven voorafgaand aan de aanbesteding. Geadviseerd wordt de volgende onzekerheden reeds nader te verkennen / reduceren met laboratoriumonderzoek. Via Deltares zijn een deel van deze onderzoeken reeds in gang gezet:

- Doorlatendheidsproeven kleislurry/Noordse leem en zand-bentonietmengsel bij diverse laagdiktes om onzekerheid rond minimaal benodigde laagdiktes te reduceren
- Stroom/wervel proeven slib, kleislurry/Noordse leem en zand-bentonietmengsel om onzekerheid rond erosiebestendigheid (als gevolg van passerende schepen) te reduceren
- Nader onderzoek naar de relatie fijne fracties / lutumgehalte op doorlatendheid overvloeisel, beslibben, Noordse leem en zand-bentonietmengsel
- Onderzoek naar de toepasbaarheid en geschiktheid van kleislurry/Noordse leem en zand-bentonietmengsel op onderwatertaluds 1:3

### 5.2.3 Nadere voorbereiding voorafgaand aan de aanbesteding

- Aanbevolen wordt om voorafgaand aan de aanbesteding een besliskader te ontwikkelen ter ondersteuning van de keuze van een passende beheersmaatregel per situatie en per traject indien in de praktijk blijkt dat de voorkeursmaatregel onvoldoende effectief blijkt te zijn. Dit stelt ON en OG gezamenlijk in staat op korte termijn een afweging te maken over de te nemen stappen
- Het is aan te bevelen om een processchema op te zetten voor het melden en adequaat afhandelen van grondwateroverlast ervaren door de omgeving
- Aanbevolen wordt om per deeltraject te bepalen welke locaties geschikt zijn om proefvakken in te richten. Bij voorkeur wordt gekozen voor een proefvakken met een representatieve bodemsamenstelling (gekoppeld aan een specifiek risicoprofiel) maar met een beperkt omgevingsrisico



## 5.2.4 Proeven, onderzoek en monitoring voorafgaand en tijdens realisatie

Een deel van de onzekerheden is niet of niet volledig in een laboratoriumomgeving te onderzoeken doordat het projectgebied/bodemsamenstelling bepalend zijn in het resultaat of het onderzoek op werkelijk schaal dient plaats te vinden. Geadviseerd wordt hiervoor de volgende aspecten onderdeel te maken van de opdracht van de uitvoerende partij:

- Werkzaamheden per deeltraject starten in een vooraf gedefinieerd proefvak lengte circa 250 meter<sup>4</sup>, halve kanaalbreedte. Dit proefvak is een relatief 'veilige' locatie om de baggerwerkzaamheden te starten en de maatregel full-scale toe te passen. Dit proefvak dient een representatieve bodemopbouw te hebben zodat het effect van baggeren en het effect van maatregel op de grondwaterstand indicatief is voor vrijwel het hele deeltraject. Daarbij is het van belang dat directe omgeving een laag risicoprofiel heeft zodat eventuele ongewenste grondwaterstandswijzigingen niet direct tot overlast leiden. Binnen het proefvak dient peilbuismonitoring binnen 100 meter van het vak aanwezig te zijn. Het proefvak heeft tot doel:
  - Ervaring op de te doen met de aanleg van de maatregel en de verificatie ervan
  - In de praktijk de stabiliteit van aangebrachte onderwatertaluds te beproeven
  - De werking van de maatregel te beproeven
  - De erosiebestendigheid van de maatregel te beproeven
  - Bijstellen van de maatregel en het toepassen van lessons learned
  - Indien nodig als go no go voor het opschalen naar een correctieve beheersmaatregel
- Gedurende de realisatieperiode meermaals de bodemontwikkeling erosie in kaart brengen via een meetprogramma. Op deze wijze wordt inzicht verkregen in de erosiebestendigheid van de maatregel, het zelf herstellend vermogen en het effect van eventuele erosie op de grondwaterstand. Geadviseerd wordt de kanaalbodem direct na realisatie in te meten (als onderdeel van het verificatieproces) en 6, 12 en 24 maanden later. Dit geeft inzicht in de benodigde beheerintensiteit van de getroffen maatregel en eventuele noodzaak voor aanvullende maatregelen om erosie te beperken. Hierin dienen de resultaten van afstudeer onderzoek van Niels Nijborg (TU Delft) meegenomen te worden

## 5.2.5 Binnen het contract ruimte bieden voor lerend vermogen en vernieuwd inzicht

De verruiming van de Twentekanalen is bij uitstek een project waarop geïnnoveerd en ontwikkeld kan worden ten behoeve van grondwaterbeheersing. Gedurende de aanbesteding en in de realisatie wordt er bovendien nieuwe praktische ervaring opgedaan met de beheersing van de grondwaterproblematiek. Om van dit project en van toekomstige kanaalverruiming een succes te maken wordt geadviseerd binnen dit contract optimaal ruimte te bieden aan het lerend vermogen en het toepassen van nieuwe inzichten door:

- Tijdens het aanbestedingsproces ruimte te laten voor aanpassingen aan de werkwijze als gevolg van nieuwe inzichten
- Opdrachtnemer de ruimte te bieden optimalisaties in de maatregelen door te laten voeren
- Opdrachtnemer de ruimte te bieden werkwijze en werkvolgorde te wijzigen
- Opdrachtnemer de mogelijkheid te bieden om over te kunnen schakelen op andersoortige maatregelen per kanaaltraject of maatwerk te leveren

<sup>4</sup> Minimale grootte van een werkvak (twee scheepslengtes)



- Opdrachtnemer de ruimte te bieden in het projectgebied (binnen kaders) aanvullende proeven / onderzoeken te laten verrichten omwille van een verbetering van maatregel of werkproces
- Opdrachtnemer kennis te laten nemen van de mogelijke alternatieve opties naast de voorkeursmaatregel binnen een zelfde risicoprofiel. De kansrijke bronmaatregelen beslibbing, kleislurry, vaste klei en bentonietmatten zijn niet vastgesteld als voorkeursalternatief. Dit houdt niet in dat deze bronmaatregelen ongeschikt zijn om toe te passen. In de realisatie kan ruimte worden geboden om alsnog een andere geschikte bronmaatregel toe te passen. Daarbij dient de alternatieve bronmaatregel wel een gelijkwaardige zekerheid te bieden als het gekozen VKA (zie Tabel 3.2 en Tabel 3.3). Beslibbing kan bijvoorbeeld ook worden toegepast op trajecten waar overvloeien het VKA is. Bij het toepassen van een bronmaatregel, anders dan het VKA, dient de keuze onderbouwd te worden en zal opnieuw worden bepaald welke onzekerheden hierbij moeten worden beheerst

## 5.2.6 Met contract en EMVI/BPKV criteria sturen op de juiste partner

Gedurende deze studie is geconstateerd dat een adequate grondwaterbeheersing gebaat is bij een uitvoerende partij / partner die kan en wil leren binnen het project, kan en wil meedenken over een slimme fasering en zich voldoende flexibel opstelt om lessons learned in zijn werkwijze op te nemen. Aanbevolen wordt om EMVI criteria op te nemen die hier specifiek op selecteren. Te denken valt aan:

- Hoe de gegadigde zijn werkproces flexibel houdt zodat ingesprongen kan worden op nieuwe inzichten en werkwijzen en hoe omgegaan wordt met een wijziging van maatregel;
- Hoe gegadigde omgaat met de financiële consequenties die wisseling van maatregel en werkwijze met zich meebrengt
- Hoe gegadigde bijdraagt aan het optimaliseren van maatregelen en het verkleinen van onzekerheden
- Hoe gegadigde de samenwerking en kennisdeling met OG invult
- Hoe gegadigde het proefvak inzet om de onzekerheden verder te verkleinen en op welke wijze resultaten uit de proefvakonderzoeken verwerkt worden in de aanpak

Door de aanwezige onzekerheden en adaptieve aanpak blijft er een risico op overschrijding van planning en budgetten indien stringent wordt uitgegaan van de gekozen voorkeursmaatregelen. Zo kan voortschrijdend inzicht immers leiden tot grotere of kleinere laagdiktes met de bijkomende gevolgen voor de baggeropgave of differentiatie binnen trajecten of op taluds. Ook de werkvolgorde kan hiermee ter discussie komen te staan. Dit bemoeilijkt prijsvorming en leidt mogelijk tot ongewenste strategische aanbiedingen. Hierdoor gaan andere motieven dan een doelmatige grondwaterbeheersing een rol spelen in de keuze van maatregelen en het verdere verloop van het project. Beide partijen zijn erbij gebaat om de administratieve lasten te minimaliseren en zich te richten op 'de bedoeling'. Om bovenstaande werkbaar te houden wordt daarom geadviseerd te werken met volledige openheid en transparantie ten aanzien van de prijsvorming. Hiermee hoeft de opdrachtnemer er niet voor te vrezen dat optimalisaties en wijzigingen zijn marges onder druk zetten en heeft Rijkswaterstaat de zekerheid dat gedurende het project de projectdoelen voorop blijven staan en publieke middelen doelmatig worden ingezet.



## 5.2.7 Maatwerk en optimalisaties bij de markt

Diverse onderdelen van het Twentekanaal met raakvlakken aan de grondwaterbeheersing zijn in deze studie niet of op slechts op hoofdlijnen uitgewerkt. Naar verwachting is voor deze onderdelen in de markt voldoende kennis en ervaring aanwezig om, in lijn met het VKA tot een maatregel te komen die voldoet aan de doelstellingen van het VKA. Geadviseerd wordt de nadere uitwerking van onderstaande onderdelen te beleggen bij de opdracht-nemende partij:

- Uitwerking van de bodembescherming rondom de specials (bruggen en zwaaikommen). In deze studie zijn principeoplossingen voor de bodembescherming opgesteld. Hierin zijn optimalisaties van dimensionering en materialisatie denkbaar
- Het ontwerp van de natuurvriendelijke oevers (nvo) te worden uitgewerkt. Belangrijk daarbij is dat deze oevers in kwelgevoelige trajecten ondoorlatend worden aangelegd
- Nadere detaillering van de trajecten en aansluitingen. De zijtak en hoofdtak zijn ingedeeld in trajecten en per traject is een VKA vastgesteld. Onderzocht kan worden of heroverweging van de begrenzing nodig is op basis van voortschrijdend inzicht. Ook de overgangen tussen twee trajecten en daarmee de overgang tussen maatregelen dient uitgewerkt te worden. Beide vervolgvragen kunnen via de juiste aanbestedingsvorm aan de markt overgelaten worden
- Uitwerken en afwegen optie “verlagen puntniveau van de damwanden”.  
Het verlagen van het puntniveau van damwanden is een andere optie om de grondwaterstanden te beheersen. Deze maatregel is op hoofdlijnen onderzocht en is mogelijk toepasbaar op het traject Delden - Hengelo, zie Bijlage 14. Op deze trajecten zou een afweging tussen het verlengen van damwanden of het toepassen bronmaatregel door middel van een kosteneffectiviteitsanalyse onderdeel kunnen zijn van het vervolg. Aanbevelingen voor de verdere uitwerking zijn:
  - Traject D-H 1: aanvullende en diepere boringen zetten zodat meer duidelijkheid ontstaat of de ondergrond om te bepalen of het verlagen van de damwanden een geschikte maatregel tegen kwel is
  - Traject D-H 3: maatregel is effectief. Echter, vanwege de overlappende met de bronmaatregel blijft een relatief beperkte afstand over waarin verlenging van de damwanden effectief zal zijn
  - Trajecten D-H 4 en 5: de maatregel lijkt haalbaar maar uitgezet tegen de voorkeursmaatregel monitoren (+ eventueel overvloeien) is het verlagen van de damwanden weinig kansrijk
- Er is grote zorg besteed aan het terugbrengen van voldoende weerstand in de kanaalbodem. Echter, nu duidelijk is dat een groot deel van de damwanden vervangen moet worden, is ook de waterdichtheid van de damwandsloten een punt van aandacht. Geadviseerd wordt een uitvoeringsmethode of maatregel uit te vragen die resulteert in een waterdichte verbinding tussen de te plaatsen damwanden onderling





## Bronnen en literatuur

- Arcadis (2018). Hydrologische modelstudie de Doorbraak en zijtak Twentekanalen, beoordeling van de veranderingen in het grond- en oppervlaktewatersysteem. 079762760
- CSO (2013). Waterdoorlaatbaarheidonderzoek Twentekanalen Fase II. 13JO64.R001
- Delft (1996). Technisch rapport klei voor dijken.
- Deltares (2018). Specificaties voor het toepassen van Noordse Leem in Weg- en Waterbouwwerken in Nederland
- Deltares (2015). Stabiliteitsproeven Julianakanaal 2014. 1210294-000-ZWS-0018
- Deltares (2014). Measuring ship-induced currents in a canal
- De Vries & van de Wiel (2015). Verruimen Julianakanaal ontwerp bodem- en oeverbescherming Bocht Elsloo, Stein, Haven Stein. 4839-TM-ONN-006-C
- GEO.XYZ (2013). Slibmetingen Twentekanaal. 1451-088
- Graniet Import (2018). Noordse Leem als oplossing voor kwelproblematiek Twentekanalen
- Grontmij (2013). Geohydrologisch onderzoek uitbreiding sluis Eefde. GM-0114509.
- HKV (2015). Hydraulische randvoorwaarden voor regionale keringen in beheer bij het Rijk. PR2871.10
- Nijborg, N. (2016). Influence of ship-induced currents on the erosion and permeability of sand-mud mixtures in the Twentekanalen. Master thesis
- Periplus Consultancy (2018). Volumeberekeningen en taludcontroles t.b.v. verruiming van het Twentekanaal. 18C074-01
- RWS (2018a). Verslag overleg Noordse Leem Waternet 6 september 2018
- RWS (2018b). Verslag overleg RONA Provincie Overijssel 30 augustus 2018
- RWS (2018c). Verslag overleg RONA Van Heteren 25 juli 2018
- RWS (2018d). Bodemonsters en meetcampagne TK2
- RWS (2018e). Concept Maatregelenkaart.
- RWS (2018f). Memo kweloplossingen en toegepaste bodembeschermingen bij RWS referentieprojecten.
- RWS (2003). Twentekanalen Baggeren, onderzoek en maatregelen kwel en verdroging.
- RWS (1990). Twentekanalen Zijkanaal; Historisch overzicht opbouw kanaalbodem en relevante informatie. WBA-R-90057
- RWS (1988). Kwelbeperkende oplossingen Twentekanalen. WBA-M-88149
- Tauw (2017). Monitoringsplan effecten verruiming Twentekanalen fase 2. R002-1248431XWT-kmi-V02-NL
- Tauw (2016). Slibdiktemetingen zijkanaal Twentekanaal richting Almelo. R001-1239089HJS-nva-V02-NL
- Tauw (2014). Oorzaken en oplossingen kweloverlast omgeving Twentekanaal. R001-1220264JLY-mdg-V04-NL
- Wareco (2018). Grondwatermodel Almelo. BZ90 RAP20180507
- WAU (2003). Twentekanalen baggeren: kwelproblematiek profielverruiming, uitwerking maatregelen in het kanaal. WAU.TKB-3-03018
- Van Heteren (2018). RONA bodemdicht als bodemafdichting



## Definitielijst

Adaptieve aanpak maatregelen grondwater-beheersing Baggeren	Sturende aanpak voor het beheersen van de grondwaterstanden waarbij met de inzet van proefvakken en gedegen monitoring geverifieerd wordt of het VKA per traject voldoet of dat een correctieve bronmaatregel of gebiedsmaatregel nodig is Werkzaamheden die nodig zijn bij het weghalen van zand, slib en andere lagen van de waterbodem om het gewenste vaarwegprofiel te realiseren.
Bentonietmatten	Bronmaatregel bestaande uit twee lagen geotextiel met daartussen bentoniet. Onder water zwelt het bentoniet op en vormen de matten een weerstandsbiedende laag.
Beslibbing	Bronmaatregel waarbij extern slib op de kanaalbodem wordt aangebracht om de weerstandsbiedende laag te vormen.
Beslisschema	Proces om per traject te komen tot een voorkeursmaatregel op basis van de baggeropgave en te verwachten grondwaterstandverandering.
Bronmaatregel	Maatregelen die in en op de kanaalbodem worden genomen waarmee de bodemweerstand wordt verhoogd.
Correctieve maatregel	Terugvalmaatregel indien het VKA niet tot het gewenste resultaat leidt. Dit kan een meer robuuste bronmaatregel zijn of een maatwerk gebiedsmaatregel
Damwand	Een damwand is een verticale grond- en/of waterkerende constructie, die bestaat uit een rij losse, de grond in gedreven wandelementen (planken of panelen) die door middel van een verbinding grond-dichte en waterdichte met elkaar zijn verbonden.
Drainage	Stroming van grondwater uit de omliggende percelen naar het kanaal.
Erosie	Proces van slijtage van de bronmaatregel of kanaalbodem als gevolg van stromingen en wervelingen in het water.
Expertsessie	Bijeenkomst met stakeholders, marktpartijen en RWS om de kansrijke maatregelen voor het vergroten van de kanaalbodemweerstand vast te stellen.
Gebiedsmaatregel	Maatregelen die buiten de kanaalbegrenzing worden genomen om (lokale) grondwateroverlast te voorkomen. Gedacht kan worden aan het aanleggen van drainage, kwel sloten, het ophogen van maaiveld of het wijzigen van de gebiedsfunctie.
Geohydrologie	Vakgebied dat de stroming van water in de ondergrond bestudeerd
Grondwater	Water dat vrij onder het aardoppervlak voorkomt.
Grondwaterstand (GWS)	Het peil van het water wat zich in de bodem bevindt.
Geotechnisch lengteprofiel (GTL)	Schematisering van de bodemopbouw langs het kanaal.
Kleislurry (kunstmatige klei)	Restproduct uit steengroeve en het brekerproces bestaande uit de fijnste fractie, eventueel aangevuld met bestanddelen voor de verwerkbaarheid. Gezamenlijk vormen deze fracties een weerstandsbiedende laag op de kanaalbodem.
Kunstwerk	Een constructie of installatie die in het waterbeheer één of meer functies vervult. Voorbeelden zijn sluizen en gemalen, die als functie water keren, water beheren en scheepvaart begeleiden.
Kwel	Grondwater dat vanuit het kanaal richting de omliggende percelen stroomt.
Markreflectiesessie	Bijeenkomst met kennisdragers en ervaringsdeskundigen uit de markt om de kansrijkheid van de voorkeursoplossingen te toetsen.
MIPWA 3.0	Geohydrologisch model van Noord-Nederland. Het gebruikte model is door Arcadis aangepast en verbeterd voor het zijkanaal.
Monitoringsmeetnet	Een verzameling van peilbuizen om de grondwaterstand en -stroming over een groter gebied in beeld te brengen.
Monitoringsplan	Een plan voor het opzetten van een monitoringsmeetnet om voor, gedurende en na realisatie van de maatregelen de verandering van grondwaterstanden in beeld te brengen.
No-regret maatregel	Maatregelen die met minimale middelen genomen kunnen worden en die andere (toekomstige) maatregelen niet belemmeren.
Natuurvriendelijke oevers (NVO)	Oevers waarbij naast de waterkerende functie vooral rekening gehouden wordt met natuur en landschap.



Overvloeien	Het terugbrengen van de fijne fractie in de waterkolom tijdens het baggeren waarbij de fijne fracties neer slaan op de kanaalbodem en een weerstandbiedende laag vormen.
Peilbuis	Een buis die in de bodem is geplaatst om de grondwaterstanden te meten.
Slijtlaag	Zandlaag die boven de bronmaatregel wordt geplaatst met het doel om erosie van de onderliggende laag te voorkomen of consolidatie van de onderliggende laag te bevorderen.
Schets ontwerp (SO) Specials	Ontwerp per traject waarin de baggeropgave en bronmaatregel vast liggen. Locaties waar het vaarwegprofiel afwijkt van het standaard profiel. Hieronder vallen zwaaikommen, bruggen, kades en natuurvriendelijke oevers.
Standardsystematiek voor Kostenramingen (SSK) Talud	Een eenduidige wijze om de investerings- en/of levensduurkosten inclusief bandbreedtes van een project te bepalen. De schuine aflopende zijden aan de binnenzijde van het kanaal.
Trade-off matrix (TOM)	Een beoordelingskader om de verschillende bronmaatregelen te scoren op criteria.
Vaarwegklasse Va (krap profiel)	Het verkeerstechnisch minimale profiel van het kanaal om toegankelijk te zijn voor een Groot Rijnschip. Deze klasse en bijbehorende afmetingen vallen onder de Europese CEMT-classes voor vaarwegen.
Vaste klei	Bronmaatregel waarbij de weerstandbiedende laag wordt gevormd door natuurlijke klei.
Verticale maatregel	Maatregelen die langs het kanaal in de bodem worden geplaatst om de kwelweglengte te vergroten.
Voorkeursalternatief (VKA)	Alternatief dat na afweging van de effecten op de omgeving en vanuit kosteneffectiviteit de voorkeur heeft.
Wangen	De zijanten van het kanaal(in de lengterichting).
WRD2012	Geohydrologisch model van het Waterschap Vechtstromen.
(zand-)Bentonietmengsel	Bronmaatregel waarbij zandkorrels ingekapseld worden door bentoniet. Dit mengsel slaat neer op de kanaalbodem en vormt een weerstandbiedende laag.
Zwaaikom	Plaatselijke verbreding in het kanaal waar schepen in het kanaal kunnen keren.



## Bijlage 1

## Verslag expertsessie



## Bijlage 2

## Omschrijving kansrijke bronmaatregelen



## Bijlage 3

## Ontwerprichting Specials



## Bijlage 4

## Verificatie en validatie tijdens uitvoering



## Bijlage 5

## Onzekerheden en aanbevelingen voor de kansrijke bronmaatregelen





## Bijlage 6

## Verslag bodemonsters en meetcampagne TK2



## Bijlage 7

## Verslag marktreflectiesessie



## Bijlage 8

## Factsheets



## Bijlage 9

## Beslisschema voor kwel- en drainageproblematiek



## Bijlage 10

## 2D-effectberekening verhogen bodemweerstand Twentekanaal



## **Bijlage 11**

## **Plausibiliteit uitkomsten van het grondwatermodel Twentekanaal o.b.v. ondergrondgegevens**



## **Bijlage 12**

## **Effect geplande verruiming zijtak Twentekanaal en toepassen van bentonietmatten**



## Bijlage 13

## Monitoringsplan en grondwaterbeheersing





## Bijlage 14      Toepassing damwanden



## Bijlage 15

## Trade-off matrix



## **Bijlage 16**

## **Verslagen bevoegd gezag**



## Bijlage 17

## Overleg ambtelijke stakeholders



## Bijlage 18

## Tijdslijn werkzaamheden Twentekanaal