


# POVM Beter benutten actuele sterkte

Activiteit 5 – Haalbaarheid actuele  
sterkte  
Definitief

POV

MACRO  
STABILITEIT



Auteur: A. Rozing  
Datum: augustus 2016

Versie: 2



**Project**  
1220518-005

**Pagina's**  
26

### **Samenvatting**

Doel van het POVM-onderzoek 'Beter benutten actuele sterkte' is om de bestaande rekentechnieken verder te ontwikkelen in combinatie met gerichte monitoring, zodat er met minder onzekerheden ontworpen kan worden. Hierdoor is er kans op verkleining van de versterkingsopgave (scope verkleining), dan wel het beperken van de versterkingsmaatregel (ontwerp optimalisatie).

Omdat het onderzoek kostbaar is en omdat niet op voorhand kan worden gesteld dat een vervolgfase zinvol is, is afgesproken om aan het einde van elke fase de technische en economische haalbaarheid van het vervolg in te schatten. Dit geeft dus input voor een gefundeerde keuze van een eventueel vervolg van het POVM onderzoek

Dit rapport betreft het haalbaarheidsonderzoek op basis van de uitgevoerde activiteiten 1 t/m 5 zoals weergegeven in het PVA Beter benutten actuele sterkte (Rozing, 2015).

De haalbaarheid betreft met name de toepassing van bewezen sterkte methode voor de macro-stabiliteit van het binnentalud. Het onderzoek naar de overige actuele sterkte technieken loopt nog en zal naar verwachting eind juli 2016 worden afgerond. Dit betekent dat voor deze technieken de haalbaarheid minder nauwkeurigheid kan worden geschat.

Bovenal is het resultaat van de haalbaarheid van dit onderzoek van belang voor het dijkversterkingsproject KIJK. Vooralsnog is binnen het dijkversterkingsproject KIJK gepland om medio 2018 een besluit te nemen over het voorkeursalternatief (VKA). Vooruitlopende hierop zal ten behoeve van het project KIJK medio oktober/november 2016 een beslissing worden genomen of en zo ja welke actuele sterkte technieken (waaronder Bewezen Sterkte) zullen worden meegenomen in het dijkversterkingsproject.

De haalbaarheid is op basis van eenvoudige analyses ingeschat. Het economisch voordeel bij een positief actuele sterkte resultaat voor dijkversterking KIJK is hierbij afgezet tegen de kosten van het onderzoek dat in het kader van de POVM nodig wordt geacht. Daarbij is met een veilige inschatting van de kans op een positief resultaat van het actuele sterkteonderzoek rekening gehouden.

De bepaalde potentiële kostenbesparing is een zeer grove inschatting die met eenvoudige analyses is becijferd en alleen bedoeld is om gefundeerd een beslissing te kunnen nemen over het vervolg van het actuele sterkteonderzoek binnen de POVM dan wel dijkversterking KIJK.

Uit het haalbaarheidsonderzoek volgt dat het verantwoord is om het POVM onderzoek te vervolgen. De reductie van de versterkingskosten voor macro-stabiliteit van het binnentalud is ook bij een geringe kans van slagen van het actuele sterkteonderzoek aanzienlijk, terwijl de kosten voor de eerstvolgende vervolfgactiviteit binnen de POVM (activiteit 6) relatief gering zijn. Als blijkt dat het toepassen van de actuele sterkte technieken voor de 3 dwarsprofielen binnen de POVM, succesvol is (activiteit 6), zal een besluit kunnen worden genomen om dit al dan niet voor het dijkversterkingsproject KIJK uit te werken/ toe te passen.



**Project**  
1220518-005

**Pagina's**  
26

Hierbij wordt opgemerkt dat voor een aantal andere faalmechanismen (dan stabiliteit van het binnentalud) het oordeel onvoldoende is. Versterking kan dus niet in alle gevallen worden voorkomen bij een score 'voldoende' voor macro-stabiliteit van het binnentalud. Omdat versterking voor die andere mechanismen over het algemeen onafhankelijk is van versterking voor macro-stabiliteit van het binnentalud wordt verwacht dat toch aanmerkelijk op versterkingskosten kan worden bespaard.

Aanbevolen wordt o.a. om na afronding van de activiteit 6 (medio november 2016) een update van de haalbaarheid uit te voeren. Na het uitvoeren van het volledige actuele sterkteonderzoek, (naar verwachting eind 2017) zal pas met zekerheid kunnen worden geconcludeerd of en zo ja welke actuele sterkte technieken zinvol/haalbaar zijn.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2	augustus 2016	ing. A.P.C. Rozing		dr.ir. C. Zwanenburg		ir. L. Voogt	

**Status**  
Definitief

## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Algemeen	1
1.2 Doel haalbaarheidsonderzoek	3
1.3 Opzet van het onderzoek	3
<b>2 Haalbaarheid actuele sterkteonderzoek</b>	<b>4</b>
2.1 Algemeen	4
2.2 Werkwijzer bewezen sterkte	4
2.3 (Historische) gegevens	5
2.4 Economisch voordeel bij een positief actuele sterkte resultaat	7
2.5 Kosten van het actuele sterkte onderzoek (POVM en KIJK)	9
2.6 Haalbaarheid	10
<b>3 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>13</b>
<b>4 Referenties</b>	<b>15</b>
<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A Voorgenomen activiteiten POVM Beter benutten actuele sterkte</b>	<b>A-1</b>
A.1 Activiteiten 2015	A-1
A.2 Voorstel activiteiten 2016 en 2017	A-5
<b>B Inschatting kostenbesparing KIJK door actuele sterkte</b>	<b>B-1</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen

De Project Overstijgende Verkenning Macrostabiliteit (POV-M) heeft tot doel nieuwe ontwikkelingen in het versterken van dijken te ondersteunen en waar nodig verder te ontwikkelen. Een belangrijke factor in het ontwerpen van een dijkversterking is het omgaan met onzekerheden in de sterkte-eigenschappen van de ondergrond en het dijklichaam.

Doel van het POV-M-onderzoek 'Beter benutten actuele sterkte' is om de bestaande rekentechnieken verder te ontwikkelen in combinatie met gerichte monitoring, zodat er met minder onzekerheden ontworpen kan worden. Hierdoor is er kans op verkleining van de versterkingsopgave (scope verkleining), dan wel het beperken van de versterkingsmaatregel (ontwerp optimalisatie). Met deze verder te ontwikkelen werkwijze wordt meer recht gedaan aan de werkelijke sterkte van dijken.

Dit onderzoek richt zich op twee zaken, namelijk bewezen sterkte en andere actuele sterkte technieken.

- **Bewezen sterkte (BS) of 'Reliability Updating with Past Performance' (RUPP):**  
Binnen het HWBP zijn te versterken dijken opgenomen die in het verleden belastingen (denkende aan o.a. hoge buitenwaterstanden) hebben weerstaan hoger dan of vergelijkbaar met de ontwerpbelastingen (ontwerp waterstanden) waarop die dijken dienen te worden ontworpen. Hoewel een dijk zodanig moet worden ontworpen dat de ontwerpbelasting met voldoende zekerheid kan worden opgenomen, leidt dit soort observaties toch tot de vraag of er bij het ontwerp niet noodgedwongen teveel onzekerheden worden meegenomen. Vraag is of er gebruik kan worden gemaakt van het feit dat de dijk bij deze hoge belastingen net onder de ontwerpbelasting, niet is bezweken. De hiervoor uit te voeren probabilistische analyses voor de toets situatie vormen een van de eerste stappen binnen de BS methode. Opgemerkt wordt dat dit resultaat al tot goedkeuren zou kunnen leiden.
- **Andere actuele sterkte technieken:**  
In de nabije toekomst zullen de normen veranderen (van overschrijdingskans naar overstromingskansbenadering) en er zal van ongedraineerd materiaal gedrag worden uitgegaan omdat dit het grondgedrag beter beschrijft. Met al ontwikkelde rekentechnieken en nog te ontwikkelen technieken/kennis kan in combinatie met gerichte monitoring (waaronder aanvullend terrein- en labonderzoek en monitoring van de waterspanningen), de actuele sterkte van dijken beter worden bepaald.

Het onderzoek wordt 'gedemonstreerd' aan de hand van een proeftraject binnen de case Hollandse IJssel. Aanvankelijk waren 5 dwarsprofielen geselecteerd voor dit onderzoek. Tijdens het uitvoeren van het onderzoek bleek het niet mogelijk om in een van de vijf profielen onderzoek te verrichten waardoor dit profiel (profiel 3) is afgefallen. Uit (Hoven, A van, 2016) volgt dat voor een van de resterende vier dwarsprofielen wordt verwacht dat het BS-onderzoek weinig kans op succes heeft gezien de aanwezigheid van een keermuur in het binnentalud. Dit betekent dat er vooralsnog van wordt uitgegaan dat het onderzoek in 3 van de 4 dwarsprofielen kan worden uitgevoerd. Het resterende actuele sterkteonderzoek zal wel in alle 4 dwarsprofielen worden uitgevoerd.

Binnen de POV-M zijn een paar referentieprojecten opgenomen die langs de Hollandse IJssel zijn gelegen (zie figuur 1.1). Dit betreft de primaire waterkeringen tussen de Stormvloedkering

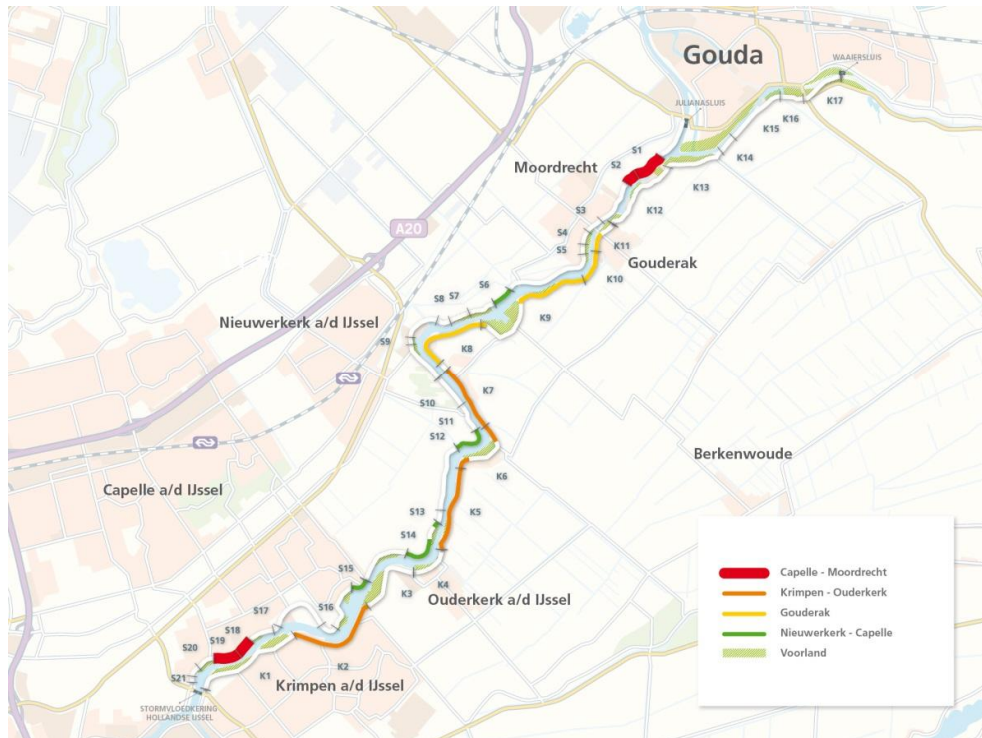
Hollandsche IJssel (SVK) en de Julianasluis (JS) te Gouda. Deze waterkering wordt hierna aangeduid als IJsseldijk.

Link met het Markermeerdijk onderzoek:

Het mogelijk gebruik van BS is in 2015 in een stroomversnelling geraakt door een verkenning van de mogelijke toepassing van BS op de Markermeerdijken (MMD) door Schweckendiek en van der Krogt(2015). De dijkversterking van deze MMD is tevens een van de referentieprojecten binnen de Project Overstijgende Verkenning Macro stabiliteit (POVM). In navolging van deze studie is door Rijkswaterstaat een meerjarig ontwikkeltraject voor de toepassing van BS opgezet, waaronder in 2016 een nadere uitwerking van BS voor de Markermeerdijken.

Dit onderzoek richt zich vooral op het ontwikkelen en operationaliseren van de methode voor de Markermeerdijken, gebaseerd op enkele 'fictieve cases' kenmerkend voor de te versterken Markermeerdijken.

Het POVM onderzoek richt zich op 4 werkelijke dwarsprofielen van de dijk langs de Hollandse IJssel in de Krimpenerwaard, waarvoor specifiek terrein- en laboratoriumonderzoek is uitgevoerd. Specifiek voor deze situatie zal ook naar de hoogwatersituatie van 1953 worden gekeken. Tevens is het voornemen om analyses uit te voeren met inbegrip van de mogelijkheid van het genereren van extra observaties door het toepassen van een proefbelasting.



*Figuur 1.1 Dijkversterking KIJK langs de Hollandse IJssel in de Krimpenerwaard (oranje en gele deeltrajecten)*

## 1.2 Doel haalbaarheidsonderzoek

Omdat het onderzoek kostbaar is en omdat niet op voorhand kan worden gesteld dat een vervolgfase zinvol is, is afgesproken om aan het einde van elke fase de technische en economische haalbaarheid van het vervolg in te schatten. Dit geeft dus input voor een gefundeerde keuze van een eventueel vervolg van het POVM onderzoek

Dit rapport betreft het haalbaarheidsonderzoek op basis van de uitgevoerde activiteiten 1 t/m 5 zoals weergegeven in het PvA Beter benutten actuele sterkte (Rozing, 2015). Voor de volledigheid zijn alle voorgenomen activiteiten uit het PvA in Bijlage A weergegeven. De haalbaarheid betreft met name de BS methode. Het onderzoek naar de overige actuele sterkte technieken loopt nog en zal naar verwachting eind juli 2016 worden afgerond. Dit betekent dat op dit moment voor deze technieken de haalbaarheid minder nauwkeurigheid kan worden geschat.

Bovenal is het resultaat van de haalbaarheid van dit onderzoek van belang voor het dijkversterkingsproject KIJK. Vooralsnog is binnen het dijkversterkingsproject KIJK gepland om medio 2018 een besluit te nemen over het voorkeursalternatief (VKA). Vooruitlopende hierop zal ten behoeve van het project KIJK medio oktober/november 2016 een beslissing worden genomen of en zo ja welke actuele sterkte technieken (waaronder BS) zullen worden meegenomen in het dijkversterkingsproject.

## 1.3 Opzet van het onderzoek

Zoals in paragraaf 1.1 is aangegeven, worden de te ontwikkelen technieken gedemonstreerd aan de hand van vier dwarsprofielen (dijkvakken) van de dijk langs de Hollandse IJssel in de Krimpenerwaard. Drie van de vier dwarsprofielen vallen binnen de scope van het dijkversterkingsproject KIJK (Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard). Uiteindelijk streven van het onderzoek is dat dit een werkwijze zal opleveren die Nederland-breed toepasbaar is.

Het POVM onderzoek Beter benutten actuele sterkte zal geruime tijd zal vergen. Het is gestart in 2015 en verwachting is dat het eind 2017 wordt afgerond. Het onderzoek is opgedeeld in verschillende fasen. Elke fase bestaat uit diverse activiteiten zoals in bijlage A weergegeven). Voor de activiteiten 1 tot en met 5 is al opdracht gegeven en deze zijn bijna afgerond

In het kader van het POVM-onderzoek 'Beter benutten actuele sterkte' is een haalbaarheidsonderzoek voor het vervolg uitgevoerd. Dit betreft activiteit 6. Tevens is een doorkijk gegeven naar de haalbaarheid van de activiteiten 7 t/m 9).

De haalbaarheid is op basis van eenvoudige analyses geschat. De resultaten hiervan zijn in hoofdstuk 2 weergegeven. Het economisch voordeel van een succesvol actuele sterkte resultaat is hiervoor geschat. De kosten van het uit te voeren POVM onderzoek 'Beter benutten actuele sterkte' zijn al eerder geschat. Mede op basis hiervan kan een grove inschatting worden gemaakt van de extra kosten voor onderzoek voor dijkversterking KIJK.

Het economisch voordeel van een mogelijk succesvol actuele sterkte resultaat is vervolgens afgezet tegen de kosten van het onderzoek. Hieruit volgt de afweging of het verantwoord is om het onderzoek te vervolgen. Dit is in paragraaf 2.6 weergegeven.

In hoofdstuk 3 zijn de conclusies van het onderzoek en de aanbevelingen voor het vervolg aangegeven.

## 2 Haalbaarheid actuele sterkteonderzoek

### 2.1 Algemeen

Het POVM onderzoek Beter benutten actuele sterkte zal geruime tijd zal vergen. Het is gestart in 2015 en verwachting is dat het eind 2017 wordt afgerond. Het onderzoek is opgedeeld in verschillende fasen (elke fase bestaat uit diverse activiteiten).

Zoals in de inleiding aangegeven betreft dit rapport het haalbaarheidsonderzoek op basis van de uitgevoerde activiteiten 1 t/m 5 zoals weergegeven in het PvA Beter benutten actuele sterkte (Rozing, 2015). Voor de volledigheid zijn alle voorgenomen activiteiten uit het PvA in Bijlage A weergegeven.

Ten behoeve van het uitvoeren van een haalbaarheidsstudie is de volgende informatie benodigd:

1. Werkwijze waarmee de analyses kunnen worden uitgevoerd.
2. Gegevens voor toepassing van de methode.
3. economisch voordeel bij een positief actuele sterkte resultaat.
4. kosten van het actuele sterkte onderzoek (POVM en KIJK).

Als een werkwijze (1) beschikbaar is en er voldoende betrouwbare gegevens voorhanden zijn (2), kunnen analyses worden uitgevoerd.

Uit BS analyses kan volgen dat een bepaald dijkvak wordt goedgekeurd (op macro-stabiliteit van het binnentalud) dat daarvoor in de 3<sup>e</sup> toetsronde was afgekeurd. Anderzijds kan uit toepassing van de andere actuele sterkte technieken (zie bijlage A, activiteit 4) volgen dat de versterking in een bepaald dijkvak kan worden geoptimaliseerd.

Vervolgens kan het economisch voordeel van dit positieve actuele sterkte resultaat worden bepaald (3). De kosten van het uit te voeren POVM onderzoek 'Beter benutten actuele sterkte' zijn al eerder geschat (4). Mede op basis hiervan kan een grove inschatting worden gemaakt van de extra kosten voor onderzoek voor dijkversterking KIJK.

De bovengenoemde punten 1 t/m 4 worden in paragraaf 2.2 t/m 2.5 behandeld.

Dit economische voordeel (3) kan tenslotte worden afgezet tegen de kosten van het onderzoek (4) met daarbij een veilige inschatting van de kans op een positief resultaat van het actuele sterkteonderzoek. Hieruit volgt of het verantwoord is om het onderzoek te vervolgen. Dit is in paragraaf 2.6 weergegeven.

Op voorhand wordt vermeld dat bovengenoemde haalbaarheid op basis van eenvoudige analyses is geschat. Reden hiervan is dat zal blijken dat zelfs op basis van deze eenvoudige analyses de haalbaarheid met voldoende zekerheid kan worden onderbouwd.

### 2.2 Werkwijzer bewezen sterkte

In het kader van activiteit 5, conform het PvA (Rozing, 2015), is mede op basis van het Technisch Rapport Actuele Sterkte (TRAS) een werkwijzer (Kanning dr.ir. W., 2016) opgesteld waarmee de macrostabiliteit middels BS analyses (RUPP) kan worden berekend.

Deze concept werkwijzer richt zich op BS analyses van primaire waterkeringen voor het faalmechanisme macrostabiliteit van het binnentalud (STBI). De concept werkwijzer dient ter ondersteuning voor het goed opzetten van het POVM project 'Beter benutten actuele sterkte' en mogelijke proefbelastingen binnen dit project. De concept werkwijzer is (nog) niet bedoeld voor het maken van volwaardige BS analyses.



Het concept BS doelt op het gebruik van overleefde belastingen om de sterkte en de veiligheid van een dijk beter in te schatten. Het mogelijk gebruik maken van BS is in 2015 in een stroomversnelling geraakt door een verkenning van de mogelijke toepassing van BS op de Markermeerdijken (MMD door Deltares (zie Schweckendiek en van der Krogt, 2015). In navolging van deze studie is door Rijkswaterstaat een meerjarig ontwikkeltraject voor de toepassing van BS opgezet, waaronder in 2016 een nadere uitwerking van BS voor de Markermeerdijken.

Tegelijkertijd is binnen het POVM project 'Beter benutten actuele sterkte' (met referentie project Hollandsche IJssel) gewerkt aan een Actuele Sterkte onderzoek welke veel raakvlakken heeft met de RWS studie en vooral een grote component voor proefbelastingen heeft. De werkwijzer heeft als doel de gebruiker te ondersteunen in het maken van BS analyses, vooralsnog in onderzoeksprojecten.

In het kader van het eerdergenoemde Markermeerdijken onderzoek (MMD) zijn in mei 2016 twee cases uitgewerkt en gerapporteerd (Schweckendiek et al., 2016). Hiermee is de methode succesvol getest en geïllustreerd. Opgemerkt wordt dat voor deze studie nog een internationale review moet plaatsvinden. Vooralsnog wordt geconcludeerd:

- Met de BS aanpak wordt de faalkans gereduceerd.
- Bovendien volgt uit het onderzoek dat door het uitvoeren van probabilistische stabiliteitanalyses conservatisme wordt voorkomen die noodzakelijkerwijze wordt geïntroduceerd met de (gangbare) semi probabilistische veiligheids aanpak. Dijken die zijn afgetoetst gebaseerd op berekeningen met een stabiliteitsfactor kunnen worden goed getoetst op basis van een berekende faalkans.
- De dijkstabiliteit blijkt voor de 2 beschouwde gevallen gevoeliger voor de verkeersbelasting dan voor de buitenwaterstand.

Aanbevolen wordt onder andere om meerdere case studies uit te voeren voor gevallen waarbij wordt verwacht dat stabiliteit gevoeliger is voor de buitenwaterstand (opdrijven). Mede gezien de gevoeligheid voor verkeersbelasting wordt aanbevolen cases te beschouwen waarbij aanvullende observaties worden gecreëerd door proef belastingen toe te passen. Voor de uitgebreide conclusies en aanbevelingen wordt verwezen naar Hoofdstuk 1 van het betreffende rapport.

Uit (Rozing, 2016) volgt dat de in het kader van de POVM beschouwde 4 dwarsprofielen ook gevoelig zijn voor de verkeersbelasting. Verwachting is dat de werkwijzer in de nabije toekomst zal worden uitgebreid met het toepassen van proefbelastingen in relatie tot macro-stabiliteit.

In het kader van het POVM onderzoek zullen in het kader van activiteit 6 (zie bijlage A) daadwerkelijke BS analyses worden uitgevoerd voor 3 dwarsprofielen van de dijken langs de Hollandse IJssel in de Krimpenerwaard. De werkwijzer zal op termijn ook worden aangevuld met de uitgewerkte cases (POVM).

Het vervolgtraject binnen het Markermeerdijken onderzoek tot begin oktober bestaat uit een internationale review en een ENW-adviestraject dat uiteindelijk de beslissing moet ondersteunen of de methode rijp is voor toepassing, in eerste instantie voor de Markermeerdijken en de IJsseldijken.

### 2.3 (Historische) gegevens

Voor het uitvoeren van een actuele sterkte-onderzoek moet er voor de te onderzoeken dijktrajecten (in dit geval de 4 dwarsprofielen langs de Hollandse IJssel in de

Krimpenerwaard), voldoende betrouwbare informatie beschikbaar zijn van alle aspecten die de macro-stabiliteit van het binnentalud bepalen. Dit betreft o.a. de actuele geometrie, ondergrondopbouw, volumegewichten, sterkte- en stijfheidsparameters, waterspanningen. Ten behoeve van dit onderzoek zijn deze aspecten uitvoerig onderzocht. O.a. door middel van een uitvoerig terrein- en laboratoriumonderzoek inclusief monitoring. Daarnaast zijn door HHSK actuele dwarsprofielen en situatietekeningen aangeleverd en is al uitgevoerd terrein- en laboratorium onderzoek beschikbaar gesteld. Tevens is een uitgangspunten notitie voor de Consequentieanalyse Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard (Fugro/RHDHW, 2016) door het HHSK ter beschikking gesteld.

Voor het uitvoeren van een actuele sterkte-onderzoek moet er ook voldoende betrouwbare informatie over de overleefde belastingsituaties voorhanden zijn. Ofwel de beschikbaarheid en kwaliteit van historische gegevens is bepalend voor het succes van een bewezen-sterkte-analyse. Daarom is een inventarisatie van de benodigde en beschikbare gegevens uitgevoerd en zijn deze gegevens vervolgens verzameld en gerapporteerd (Hoven, A. van, 2016).

In het kader van de POVM (Project overstijgende verkenning macrostabiliteit) is onderzoek gedaan naar historische gegevens van de Oostelijke Hollandse IJsseldijk tussen Krimpen aan den IJssel en Gouda. Er is gezocht naar hoge belastingen die de dijk eerder bewezen heeft te kunnen weerstaan. Door de hoge belastingen op de dijk na te rekenen kunnen onzekerheden in de huidige schematisering worden gereduceerd. Combinaties van ongunstige parameters waarmee in de huidige schematisering rekening wordt gehouden, maar die bij de historische belasting zouden hebben moeten leiden tot falen, kunnen worden uitgesloten. Daarmee kan de betrouwbaarheidsberekening van de dijk worden bijgewerkt (bekend als BS).

Het onderzoek heeft zich vooral gericht op de stormvloed van 1953, extreme neerslag en zware transporten over de kruin van de dijk. Na kort onderzoek bleek dat van de stormvloed in 1916 niet voldoende gegevens over de toenmalige toestand van de dijk bekend zijn om deze situatie betrouwbaar genoeg na te rekenen en dat de maximale waterstand ca. 0,4 m lager was dan in 1953. De historische gegevens zijn digitaal verzameld. In het eerdergenoemde rapport is een samenvatting van de gegevens weergegeven.

De gegevensverzameling heeft zich gericht op vier geselecteerde profielen die in het kader van het POVM onderzoek nader zullen worden onderzocht. Echter voor zover mogelijk zijn de gegevens dijk-dekkend vastgelegd vooruitlopende op een evt. BS onderzoek voor dijkversterking KIJK (Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard).

Voor drie van de vier geselecteerde profielen (nl. Dp 26.2+75m, Dp 36.9+51m en Dp 40.5+50m) wordt verwacht dat de verzamelde gegevens voldoende zijn om een BS-analyse uit te voeren. Hierbij kunnen de volgende 3 overleefde situaties worden beschouwd.

1. Hoogwater van 1953 NAP +3,75 m, waarschijnlijk gepaard met golfoverslag en overloop.
2. Extreme neerslag, bijvoorbeeld 403 mm in 7 dagen gemeten bij Gouda in 1975.
3. Extreme verkeersbelasting, vergunning 2013: 100 ton, 36 kN/m' over 27 m. (vooralsnog alleen geldig voor dwarsprofiel 4 en 5; nog onvoldoende details beschikbaar, bv route).

Bij één profiel (profiel 2: profiel 33.462 of Dp 33.4+62m) blijkt een constructie aanwezig, waarover momenteel nog onvoldoende bekend is.

## 2.4 Economisch voordeel bij een positief actuele sterkte resultaat

### Consequentieanalyse:

Uit BS analyses kan volgen dat een bepaald dijkvak wordt goedgekeurd, op macro-stabiliteit van het binnentalud, dat daarvoor in de 3e toetsronde of de uitgevoerde consequentieanalyse (RoyalHaskoningDHV, 2016) was afgekeurd. Hiermee kan dijkversterking worden voorkomen, als het betreffende dijkvak alleen op macro-stabiliteit van het binnentalud zou zijn afgetoetst.

Uit de consequentieanalyse (RoyalHaskoningDHV, 2016) volgt dat naast macrostabiliteit van het binnentalud ook de volgende geotechnische faalmechanismen zijn beoordeeld van in totaal 7,95 km dijk:

- Overloop en overslag: 7350 m onvoldoende en 600 m goed.
- Opbarsten en piping; resultaat beoordeling: geheel goed.
- Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU); resultaat beoordeling: 7550 m onvoldoende 400 m goed.
- Voorlandstabiliteit (STVL); resultaat beoordeling: 500 m onvoldoende, 1050 m voldoende en 6400m goed.
- Microstabiliteit (STMI); resultaat beoordeling: geen oordeel.
- Bekleding-Steenzettingen: resultaat beoordeling: geheel goed.
- Bekleding Gras: resultaat beoordeling: geheel onvoldoende.
- Bekleding Asphalt: resultaat beoordeling: geheel voldoende.

Uit de analyses volgt dus dat voor een aantal andere faalmechanismen (dan stabiliteit van het binnentalud) het oordeel onvoldoende is. Versterking kan dus niet in alle gevallen worden voorkomen bij een score 'voldoende' voor macro-stabiliteit van het binnentalud.

Versterking voor STBU en STVL zal buitenwaarts moeten plaatsvinden en zal min of meer onafhankelijk zijn van versterking voor STBI. Gezien de relatief hoge versterkingskosten voor STBI wordt verwacht dat bij goedkeuring op STBI en afkeuring op een ander mechanisme, minimaal 50% op versterkingskosten kan worden bespaard voor het betreffende dijkvak.

Uit hetzelfde onderzoek volgt dat 7350 m dijk onvoldoende scoort op overloop en overslag. Voor 600m is de dijk goed. Voor dit dijktraject geldt dat de bekleding slecht tot matig is, waardoor het kritieke overslagdebiet circa 1,0 l/s/m is. De Hollandse IJsseldijken hebben op deze dijkvakken een hoogte tekort tot 0,8 m, uitgaande van de PC-overslagberekeningen, een overslagdebiet van 1 l/m/s en een zichtperiode tot 2035 (RoyalHaskoningDHV, 2016). Als het hoogtetekort gering is, stel < 0,5m, en daardoor de taluds niet of nauwelijks aanpast hoeven te worden, kan mogelijk worden volstaan met een kruinverhoging (zie kader).

*BS kan niet zondermeer worden toegepast in het versterkingsontwerp. De ligging van het maatgevende glijvlak bij de BS-analyses zal voor de (historische) observatie over het algemeen anders zijn dan bij een versterkingsontwerp. De faalmodus is hierdoor niet gelijk en BS kan niet worden toegepast. Als de versterking slechts bestaat uit een geringe kruinverhoging zal de ligging van het maatgevende glijvlak voor de (historische) observatie en de toetsituatie waarschijnlijk niet wijzigen (gelijke faalmodus) en mag de BS methode wel worden toegepast. Omdat deze kruinverhoging tijdens de observatie uiteraard niet aanwezig was zal de kans dat met een BS-analyse goedkeuring volgt afnemen naarmate de kruinverhoging hoger is. Door het toepassen van een proefbelasting op de kruin van de dijk kan dit probleem naar verwachting voor een deel worden opgelost. De proefbelasting heeft hierdoor een dubbele rol; het simuleren van verkeersbelasting en het simuleren van toekomstige kruinverhogingen.*

Gezien bovengenoemde wordt er in dit stadium van het onderzoek van uitgegaan dat BS analyses alleen succesvol kunnen zijn op de dijkvakken met een beperkt hoogtetekort. Uit de resultaten van (RoyalHaskoningDHV, 2016, paragraaf 5.2.2, tabel 5-3) kan worden opgemaakt dat voor circa 50% van de totale scope van KJK (4 km) het hoogtetekort minder is dan 0,5 m.

Door toepassing van de andere actuele sterkte technieken (dan BS) (zie bijlage A, activiteit 4), inclusief het uitvoeren van probabilistische macrostabiliteit analyses) kan volgen dat de versterking voor macrostabiliteit van het binnentalud in een bepaald dijkvak kan worden geoptimaliseerd. De optimalisatie zal over het algemeen niet zodanig zijn dat versterking kan worden voorkomen. Met huidige inzichten is voor deze haalbaarheidsstudie van een mogelijke besparing van 10% uitgegaan.

#### **Kosten dijkversterking:**

Door het HHSK is in 2014/2015 een eerste inschatting van de totale projectkosten van het project KJK gemaakt ter hoogte van € 220.000.000,-. Dit ging destijds uit van 10 km te versterken dijken. Voor de trajecten met hoog en breed voorland (circa 2km) is naderhand gesteld dat deze vooralsnog niet worden versterkt. Er wordt door HHSK vooralsnog vanuit gegaan dat deze voorlanden positief worden beoordeeld als de resultaten van het onderzoek POV-Voorlanden beschikbaar zijn.

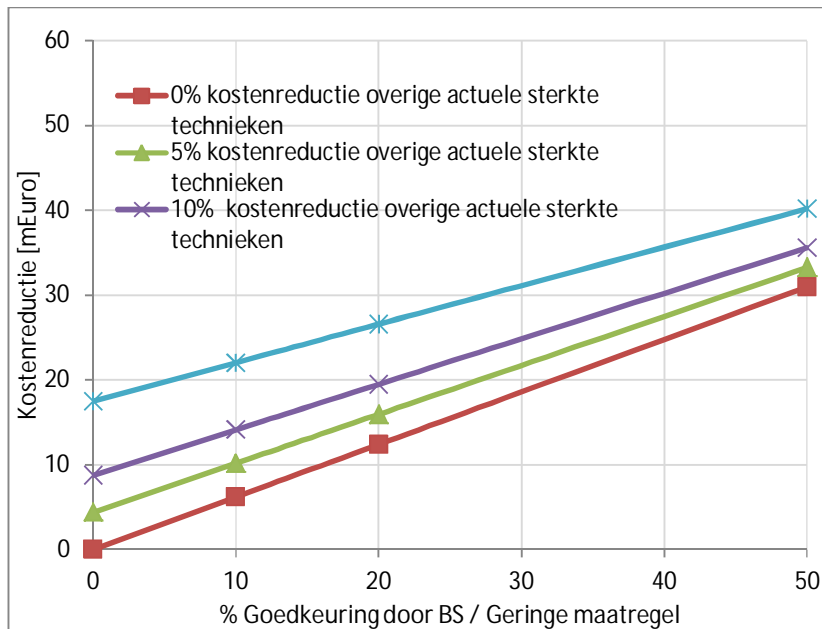
Ook wordt opgemerkt dat ten tijde van het maken van deze inschatting het hoogteprobleem nog niet bekend was, waardoor ervan mag worden uitgegaan dat de versterkingskosten hoger zullen uitvallen dan hierboven weergegeven. Ter bepaling van het economisch voordeel is hiervan niet uitgegaan.

#### **Economisch voordeel:**

In deze paragraaf is op basis van bovengenoemde de kostenbesparing voor de versterking geschat. De details hiervan zijn in bijlage B weergegeven. Hieruit volgt dat uitgaande van 8 km te versterken dijken (i.p.v. 10 km) de versterkingskosten voor alleen macrostabiliteit van het binnentalud naar schatting circa 88 m€ bedragen (=  $220\text{m€} \cdot 8\text{km}/10\text{km} \cdot 50\%$ ).

Gezien bovengenoemde wordt ervan uitgegaan dat BS analyses alleen succesvol kunnen zijn op de dijkvakken met beperkt hoogtetekort (circa 4 km).

Op dit moment is het nog lastig een goede inschatting te maken in hoeveel procent van de gevallen met bewezen sterkte tot goedkeuring wordt gekomen en in hoeveel procent van de gevallen met een geringe maatregel (in combinatie met bewezen sterkte technieken) kan worden volstaan. Om deze reden zijn een aantal analyses uitgevoerd, waarbij met dit percentage is gevarieerd (zie bijlage B en Figuur 2.1).



Figuur 2.1 Inschatting kostenbesparing KIJK door actuele sterkte onderzoek.

Uit deze analyse volgt dat, uitgaande dat van deze circa 4 km in slechts 10% van de gevallen met BS tot goedkeuring wordt gekomen voor macrostabiliteit van het binnentalud en dat voor 10% met een geringe maatregel (in combinatie met BS-technieken) kan worden volstaan, de kostenbesparing door het actuele sterkteonderzoek **10 m€** bedraagt. Hierbij is ervan uitgegaan dat de kostenreductie door toepassing van de overige actuele sterkte technieken slechts 5% is. (De reductie door toepassing van BS is hierbij 6 m€ en de reductie door de overige technieken 4m€).

Met een geringe maatregel wordt hierbij gedacht aan het plaatsen van een licht scherm in de kruin van de dijk om te voorkomen dat het freatisch vlak stijgt tijdens MHW.

## 2.5 Kosten van het actuele sterkte onderzoek (POVM en KIJK)

### POVM (4 dwarsprofielen):

De totale kosten voor het actuele sterkteonderzoek binnen het POVM om te komen tot een gedragen en goedgekeurde werkwijze waarmee deze technieken door de adviespraktijk kunnen worden toegepast voor dijversterking bedragen 2,1 m€ (zie Rozing, 2015).

Mogelijke vervolgfases na het afronden van de huidige activiteiten 1 t/m 5 medio juli (vallende onder de huidige opdracht) betreft de activiteiten 6 t/m 9 (zie ook bijlage A). Hiervoor is een bedrag geraamd van circa 1,6m € (excl. BTW).

Deze kosten zijn grofweg als volgt op te delen:

- Activiteit 6: Toepassen BS-technieken in 3 dwarsprofielen van KIJK: 300 k€.
- Activiteit 7: Proefbelasten van de waterkeringen waar op basis van activiteit 6 niet tot goedkeuren kan worden gekomen: 1100 k€.
- Activiteit 8 en 9: Ontwerpen van een alternatieve principe dijkversterkingsmaatregel en Implementatie van de werkwijze in de adviespraktijk 200 k€.

### KIJK (8km):

Als blijkt dat de actuele sterkte technieken succesvol zijn, zal een besluit kunnen worden genomen om dit al dan niet voor het dijkversterkingsproject KIJK uit te werken/toe te passen.

Daar waar BS-technieken onvoldoende optimalisatie geven om de macro-stabiliteit van het binnentalud goed te keuren kan (zoals het er nu naar uitziet) de toepassing van proefbelastingen de kans op succes vergroten

Er wordt op dit moment vanuit gegaan dat het voor circa 50% van het dijktraject van KIJK zinvol is om bovengenoemde activiteiten te doorlopen (zie ook paragraaf 2.4). Dit zou dan naar schatting, 10 tot 20 dijkvakken betreffen, uitgaande van een dijkvaklengte van 200 tot 400m.

Bovengenoemd onderzoek zou dan een geschatte investering vergen van:

1. Actuele sterkteonderzoek voor 10 á 20 dijkvakken: Dit geeft een benodigde investering van 1 tot 2 m€
2. Proefbelasten van de waterkeringen waar op basis van hierboven genoemde actuele sterkteonderzoek (1) niet tot goedkeuren kan worden gekomen: Er wordt vanuit gegaan dat van deze 4 km in 20% van de gevallen met BS tot goedkeuring wordt gekomen voor macrostabiliteit van het binnentalud en voor 20% met een geringe maatregel (in combinatie met BS-technieken). Hieruit volgt dat dus voor 40% van de vakken versterking wordt voorkomen, zijnde 4 tot 8 vakken). Uitgaande van 300 k€ per vak aan onderzoekskosten geeft dit een benodigde investering van 1,2 á 2,4 m€
3. Ontwerpen van een alternatieve principe dijkversterkingsmaatregel. Geschat wordt dat dit voor 20% van de vakken nodig is. Hiervoor wordt de benodigde investering geschat op 200 k€.

Opgemerkt wordt dat grootse onzekerheid op dit moment de noodzaak en kosten van het toepassen van een proefbelasting betreft. Door het uitvoeren van de BS analyses in de betreffende dijkvakken zal duidelijk worden of een proefbelasting nodig is en zo ja, hoe groot de proefbelasting dient te zijn. Na het daadwerkelijk toepassen van een proefbelasting (binnen de POVM) zal duidelijk zijn welke kosten zijn gemoeid met het toepassen van een proefbelasting.

## 2.6 Haalbaarheid

### **Samenvatting beschikbare informatie:**

Ten behoeve van het uitvoeren van een haalbaarheidsstudie is informatie nodig. In de paragrafen 2.2 t/m 2.5 is dit uitgewerkt. Het betreft:

1. Werkwijze waarmee de analyses kunnen worden uitgevoerd.
2. Gegevens voor toepassing van de methode.
3. economisch voordeel bij een positief actuele sterkte resultaat.
4. kosten van het actuele sterkte onderzoek (POVM en KIJK).

ad 1: Werkwijzer BS.

Uit paragraaf 2.2 volgt dat de werkwijzer voor het toepassen van BS in concept beschikbaar en bruikbaar is. Met de BS aanpak wordt de faalkans significant gereduceerd. Uit (Schweckendiek et al., 2016) en (Rozing, 2016) volgt dat de daar beschouwde profielen gevoelig zijn voor de verkeersbelasting. Verwachting is dat deze werkwijzer in de nabije toekomst met het toepassen van proefbelastingen in relatie tot macrostabiliteit zal worden uitgebreid, als de proefbelastingen binnen de POVM daadwerkelijk worden toegepast. De werkwijzer zal op termijn ook worden aangevuld met de uitgewerkte cases (POVM).

Er is dus nog enig werk nodig om de werkwijzer te vervolmaken. Daarnaast volgt een ENW-adviestraject dat uiteindelijk de beslissing moet ondersteunen of de methode rijp is voor toepassing, in eerste instantie voor de Markermeerdijken en de dijken langs de Hollandse IJssel.

Ad 2: (Historische) gegevens.

Voor het uitvoeren van een actuele sterkte-onderzoek moet er voldoende betrouwbare informatie over alle aspecten die de macrostabiliteit van het binnentalud bepalen en de overleefde belastingsituaties voorhanden zijn. Daarom is o.a. naast een uitgebreid terrein- en labonderzoek een inventarisatie van de benodigde en beschikbare gegevens uitgevoerd en zijn deze gegevens vervolgens verzameld en gerapporteerd (Hoven, A. van, 2016).

Voor drie van de vier geselecteerde profielen wordt verwacht dat de verzamelde gegevens voldoende zijn om een BS-analyse uit te voeren. Voor de rest van de dijk, vallende onder de scope van KIJK, zijn ook de nodige gegevens verzameld, zij het met wat minder detail. Indien blijkt dat de BS methode succesvol is wordt verwacht dat met enige extra inspanning voldoende betrouwbare gegevens beschikbaar zullen komen voor het uitvoeren van deze analyses.

Ad 3: Economisch voordeel bij een positief actuele sterkte resultaat.

Op dit moment is al duidelijk dat vooral aan de zijde van de Krimpenerwaard een eventuele binnenwaartse versterking van de IJsseldijk hoge kosten met zich mee zal brengen vanwege de binnendijkse bebouwing. In paragraaf 2.4 is een inschatting gemaakt van de reductie van de versterkingskosten door het toepassen van actuele sterkte technieken (waaronder BS) voor macrostabiliteit van het binnentalud. Uitgaande van 8 km te versterken dijken (KIJK) wordt geschat, dat de reductie van de versterkingskosten 10 m€ is, ervan uitgaande dat in slechts 10% van de gevallen met BS tot goedkeuring wordt gekomen en dat voor 10% met een geringe maatregel (in combinatie met BS-technieken) kan worden volstaan. De kostenreductie door toepassing van de overige actuele sterkte technieken is hierbij slechts 5%.

Ad 4: Kosten van het actuele sterkte onderzoek (POVM en KIJK).

De kosten voor de eerstvolgende vervolgactiviteit binnen de POVM (activiteit 6) bedragen naar schatting 300 k€. Voor het totaal aan vervolgactiviteiten, inclusief het toepassen van proefbelastingen, is een bedrag geraamd van 1,6 m€ (dus activiteiten 6 t/m 9).

KIJK:

Als blijkt dat de actuele sterkte technieken succesvol zijn kan HHSK een besluit nemen om dit al dan niet voor het dijkversterkingsproject KIJK uit te werken. De totale investering voor het uitvoeren van het actuele sterkteonderzoek (zonder proefbelastingen) wordt geschat op 1 tot 2 m€. Na afronding van dit onderzoek zal pas blijken voor welke dijkvakken proefbelastingen nodig zijn. In deze haalbaarheidsstudie is ervan uitgegaan dat dit zinvol is voor 40% van de dijkvakken (4 à 8 dijkvakken). De benodigde investering hiervoor is geschat op 1,2 à 2,4 m€.

#### **Haalbaarheid actuele sterkteonderzoek voor de POVM:**

Het economische voordeel (ad 3) kan worden afgezet tegen de kosten van het onderzoek (ad 4) waarbij al met een veilige inschatting van de kans op een positief resultaat van het actuele sterkte onderzoek rekening is gehouden.

De reductie van de versterkingskosten is geschat en afhankelijk van de kans op goedkeuren met actuele sterkte technieken. Dit is eerder weergegeven in Figuur 2.1.

Ervan uitgaande dat in slechts 10% van de gevallen met BS tot goedkeuring wordt gekomen voor macrostabiliteit van het binnentalud en dat voor 10% met een geringe maatregel (in



combinatie met BS-technieken) kan worden volstaan, bedraagt de kostenbesparing door het **10 m€**

De kosten voor de eerstvolgende vervolgactiviteit binnen de POVM (activiteit 6) bedraagt naar schatting 400 k€. Hieruit volgt dat het verantwoord is om het onderzoek te vervolgen met activiteit 6.

Na afloop van activiteit 6 zal nut en noodzaak van de proefbelastingen (in een volgende fase) duidelijk worden waardoor over het uitvoeren van dit onderzoek een besluit kan worden genomen. Voor de activiteiten 7, 8 en 9, inclusief het toepassen van proefbelastingen, is een bedrag geraamd van circa 1,2 m€.

**Haalbaarheid actuele sterkteonderzoek voor dijversterkingsproject KIJK:**

De haalbaarheid van het actuele sterkteonderzoek voor KIJK hangt af van het succes van activiteit 6 binnen de POVM. Als blijkt dat het toepassen van de actuele sterkte technieken voor de 3 dwarsprofielen binnen de POVM, succesvol is (activiteit 6), zal een besluit kunnen worden genomen om dit al dan niet voor het dijversterkingsproject KIJK uit te werken.



### 3 Conclusies en aanbevelingen

#### **Algemeen:**

Het POVM-onderzoek 'Beter benutten actuele sterkte' richt zich op twee zaken namelijk BS (Bewezen Sterkte) en andere actuele sterkte technieken. Het onderzoek wordt gedemonstreerd op 4 werkelijke dwarsprofielen van de dijk langs de Hollandse IJssel in de Krimpenerwaard.

Omdat het onderzoek kostbaar is en omdat niet op voorhand kan worden gesteld dat een vervolgfase zinvol is, wordt aan het einde van elke fase een inschatting gemaakt van de technische en economische haalbaarheid van het vervolg. Dit geeft dus input voor een gefundeerde keuze van een eventueel vervolg van het POVM onderzoek. In dit geval de 2<sup>e</sup> fase betreffende activiteit 6, zie bijlage A.

Bovenal is het resultaat van dit haalbaarheidsonderzoek van belang voor het dijkversterkingsproject KIJK.

Vooralsnog is binnen het dijkversterkingsproject KIJK gepland om medio 2018 een besluit te nemen over het voorkeursalternatief (VKA). Vooruitlopende hierop, zal ten behoeve van het project KIJK, medio oktober/november 2016 een beslissing worden genomen of en zo ja welke actuele sterkte technieken (waaronder BS) zullen worden meegenomen in het dijkversterkingsproject.

#### **Conclusies:**

In het kader van het POVM-onderzoek 'Beter benutten actuele sterkte' is een haalbaarheidsonderzoek uitgevoerd. De haalbaarheid is op basis van eenvoudige analyses ingeschat. De resultaten hiervan zijn in hoofdstuk 2 weergegeven.

Het economisch voordeel bij een positief actuele sterkte resultaat (zie paragraaf 2.4) is hierbij afgezet tegen de kosten van het onderzoek dat in het kader van de POVM nodig wordt geacht.

De bepaalde potentiële kostenbesparing is een zeer grove inschatting die met eenvoudige analyses is becijferd en alleen bedoeld is om gefundeerd een beslissing te kunnen nemen over het vervolg van het actuele sterkteonderzoek binnen de POVM dan wel dijkversterking KIJK.

Uit het haalbaarheidsonderzoek volgt dat het verantwoord is om het POVM onderzoek te vervolgen. De reductie van de versterkingskosten is namelijk ook bij een geringe kans van slagen van het actuele sterkteonderzoek aanzienlijk (zie paragraaf 2.4), terwijl de kosten voor de eerstvolgende vervolfgactiviteit binnen de POVM (activiteit 6) relatief gezien zeer gering is (naar schatting 300 k€). Dit is in paragraaf 2.6 weergegeven.

Hierbij wordt opgemerkt dat voor een aantal andere faalmechanismen (dan stabiliteit van het binnentalud) het oordeel onvoldoende is. Versterking kan dus niet in alle gevallen worden voorkomen bij een score 'voldoende' voor macrostabiliteit van het binnentalud. Omdat versterking voor de andere mechanismen over het algemeen onafhankelijk is van (lees: niet wordt beïnvloed door) versterking voor macrostabiliteit van het binnentalud, wordt verwacht dat toch aanmerkelijk op versterkingskosten kan worden bespaard.

Na afloop van activiteit 6 zal nut en noodzaak van de proefbelastingen (in een volgende fase) duidelijk worden waardoor over het uitvoeren van dit POVM onderzoek een besluit kan worden genomen.

De haalbaarheid van het actuele sterkteonderzoek voor KIJK hangt af van het succes van activiteit 6. Als blijkt dat het toepassen van de actuele sterkte technieken voor de 3 dwarsprofielen binnen de POVM, succesvol is (activiteit 6), zal een besluit kunnen worden genomen om dit al dan niet voor het dijkversterkingsproject KIJK uit te werken/toe te passen.

**Aanbevelingen:**

Aanbevolen wordt om na afronding van de activiteit 6 (medio november 2016) een update van de haalbaarheid uit te voeren. Op dat moment zal naar verwachting namelijk het ENW-adviestraject zijn doorlopen dat uiteindelijk de beslissing moet ondersteunen of de methode rijp is voor toepassing, in eerste instantie voor de Markermeerdijken en de Hollandse IJsseldijken. Tevens zijn op dat moment de resultaten van de BS-analyses voor de 3 dwarsprofielen van het POVM onderzoek beschikbaar en is de kans op succes, al dan niet met het toepassen van een proefbelasting, beter in te schatten.

Mede op basis hiervan kan project KIJK een besluit nemen om vanaf dat moment met haar onderzoek voor te sorteren op een positief eindresultaat van het actuele sterkteonderzoek.

Parallel aan de ontwikkeling van het voorkeursalternatief zou op basis van de resultaten van het 'beter benutten actuele sterkte'- onderzoek voor alle relevante trajecten binnen KIJK, een actuele sterkte onderzoek (waaronder BS) kunnen worden uitgevoerd. Dit met het doel om eind 2017 uitsluitsel te kunnen geven waar scope-verkleining dan wel ontwerp optimalisatie kan worden bereikt.

Na het uitvoeren van het volledige actuele sterkteonderzoek 'beter benutten actuele sterkte' (dus activiteiten 1 t/m 9 conform (Rozing, 2015)) dat naar verwachting eind 2017 wordt afgerond, zal pas met zekerheid kunnen worden geconcludeerd of en zo ja welke actuele sterkte technieken zinvol/haalbaar zijn.

## 4 Referenties

Rozing (2015). POVM, PvA Beter benutten actuele sterkte', Deltares kenmerk 1220518-000-GEO-0007, 25 juni 2015

Kanning dr.ir. W. (2016). POVM Beter benutten actuele sterkte, Activiteit 5 - Concept Werkwijzer 1 Bewezen Sterkte, Deltares rapport (concept), mei 2016 versie 1

Hoven, A. van (2016). POVM Beter benutten actuele sterkte KIJK, activiteit 5 – deel Historische gegevens. Deltares rapport 1220518-005

Schweckendiek, T. en M. van der Krogt (2015). Verkenning Bewezen Sterkte MMD. Deltares rapport 1221189-000-GEO-0004.

Schweckendiek et al. (2016). Reliability updating for slope stability of dikes - Test cases report Deltares rapport (concept) 1230090.037, 31 May 2016

Rozing (2016). POVM Beter benutten actuele sterkte, Activiteit 2 – Keuze van het proeftraject en gevoeligheidsanalyses, Deltares Rapport (concept) 1220518-005-GEO-0002. Mei 2016

Fugro/RHDHW (2016). Consequentieanalyse Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard, Uitgangspuntennotitie, Referentie: RDCBE2432R001F03, Versie: 03/Finale versie, Datum: 5 januari 2016.

RoyalHaskoningDHV (2016). Rapport Consequentieanalyse Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard, Referentie: WATBE2432R002F02, Versie: 02/Finale versie, Datum: 13 mei 2016

## A Voorgenomen activiteiten POVM Beter benutten actuele sterkte

Hieronder zijn de voorgenomen activiteiten vallende onder het POVM onderzoek 'Beter benutten actuele sterkte' conform het PvA [1] weergegeven.

Activiteiten 2015:

1. Opstellen gedetailleerd plan van aanpak inclusief kostenbegroting.
2. Keuze van het proeftraject (aantal dwarsprofielen).
3. Uitvoeren terrein-, laboratoriumonderzoek en monitoring van de waterspanningen binnen het proeftraject.
4. Toepassen beter berekeningsmodel (EEM) ter opwaardering van de macrostabiliteit.
5. Opstellen werkwijze (stappenplan), Verzamelen historische gegevens en uitvoeren (technische) haalbaarheidsstudie.

Activiteiten 2016 en 2017:

6. Toepassen bewezen sterkte technieken.
7. Proefbelasten van de waterkering in combinatie met bewezen sterkte technieken.
8. Ontwerpen van een alternatieve principe dijkversterkingsmaatregel, waarmee ingrijpender dijkversterking kan worden voorkomen.
9. Acceptatie en Implementatie van de werkwijze.

### A.1 Activiteiten 2015

Ad 2: Keuze proeftraject

Aanbevolen wordt om dit onderzoek in eerste instantie uit te voeren voor een beperkt (representatief) deel van een van de referentieprojecten genoemd in H2. Dit proeftraject (bestaande uit een aantal te onderzoeken dwarsprofielen) dient zodanig te worden gekozen dat wordt verwacht dat de meeste van nagenoemde activiteiten kunnen worden doorlopen en dat uiteindelijk de kans op verkleining van de versterkingsopgave, dan wel het beperken van de versterkingsmaatregel groot is. Hiermee wordt namelijk beoogd dat de voorgestelde methode snel en effectief wordt onderbouwd. Hierbij wordt o.a. gedacht aan de volgende dwarsprofielen:

- Dwarsprofielen waar het (vermeende) doorpersen van de ondergrond speelt.
- Dwarsprofielen die de situatie van 1953 zonder problemen hebben doorstaan en die nadien niet zijn opgehoogd of versterkt.
- Dwarsprofielen waar in principe de mogelijkheid bestaat een proefbelasting aan te brengen.
- Dwarsprofielen die in voldoende mate toegankelijk zijn voor het uitvoeren van het terreinwerk en de monitoring.

Ter bepaling van de keuze van de dwarsprofielen worden naast archiefonderzoek en bestudering van beschikbare gegevens ook gevoeligheidsanalyses in een aantal dwarsprofielen uitgevoerd. Op deze wijze wordt inzicht verkregen in de invloed van de verschillende aspecten (waaronder waterspanningen en parameters), waardoor het duidelijk wordt waar winstpunten bij aanvullend onderzoek (zie activiteit 3) zouden kunnen worden geboekt. Tevens wordt een visuele verkenning van de betreffende dijktrajecten uitgevoerd.

Product is een rapport waarin de onderbouwing van de keuze van het proeftraject is gegeven.

Ad 3:

Nadere detaillering van een plan voor en het uitvoeren van terrein-, laboratoriumonderzoek en monitoring van de waterspanningen binnen het proeftraject:

Opstellen van een plan en kostenraming.

De keuze voor het proeftraject (bestaande uit een aantal te onderzoeken dwarsprofielen) moet nog worden gemaakt. Pas als de locatie en het aantal dwarsprofielen bekend is kan een gedetailleerd plan worden gemaakt.

Navolgend is voor de dwarsprofielen per aspect aangegeven aan welk terrein-, laboratoriumonderzoek en monitoring van de waterspanningen kan worden gedacht:

- Schematisatie ondergrond:  
Ter vaststelling van de aanwezige grondopbouw wordt aanbevolen wordt om sonderingen en boringen uit te voeren op de locaties buitenteen, kruin, enkele locaties ter hoogte van het talud, binnenteen en enige meters landwaarts en achterland. De keuze van de locaties is met name belangrijk omdat hiermee het vermeende zijdelingse wegpersen van de slappe lagen kan worden vastgesteld.
- Parameters:  
Naast het uitvoeren van classificatieproeven, Ko-CRS proeven, triaxiaalproeven en DSS-proeven (ter bepaling van de gedraineerde en ongedraineerde sterkteparameters) wordt hierbij ook gedacht aan het uitvoeren van bijzondere proeven (triaxiaalproeven met afwijkende spanningspaden). Ook wordt gedacht aan het uitvoeren van sterkteproeven op grote grondmonsters met het doel het vaststellen (verkleinen) van de invloed van schaafeffecten op de rekenwaarde van de sterkte-eigenschappen (in ieder geval voor veen).  
Ter bepaling van de ongedraineerde materiaal-parameters wordt ook gedacht aan het uitvoeren van in situ metingen als sonderingen, bol-sonde en field-vane metingen. De bol-conus zal waarschijnlijk niet geschikt zijn in het stevige dijksmateriaal maar wel voor beproeving van de slappere lagen binnendijks.
- Waterspanningen:  
Ter bepaling van de hoogte van het freatisch vlak (en de waterspanning in de diepte en de indringlengte) zijn waterspanningsmeters nodig ter plaatse van de locaties buitenkruinlijn, binnenkruinlijn en binnenteen.  
Ter bepaling van de stijghoogte in de watervoerende zandlagen dienen op verschillende locaties in het dwarsprofiel peilbuizen te worden geplaatst waarin met divers de stijghoogten worden gemeten.  
Bovengenoemde waterspanningsmeters en peilbuizen dienen te worden geplaatst in de representatieve/maatgevende dwarsprofielen.  
Omdat de relatie tussen de gemeten waterspanningen en stijghoogten met de buitenwaterstand belangrijk is dient voor de gehele meetperiode ook de waterstand op de Hollandse IJssel te worden vastgelegd.  
Ook dient dienen voor de gehele meetperiode de dagsommen neerslag te worden verzameld.  
De meetperiode dient voldoende lang te zijn (en bij voorkeur zo lang mogelijk).  
Voldoende lang is in dit geval een periode waarin een aantal hevige neerslagperioden en hoge waterstanden in de Hollandse IJssel zijn opgetreden. Hierbij wordt opgemerkt dat de Stormvloedkering in de Hollandse IJssel met enige regelmaat gesloten wordt.

Monitoring van de waterspanningen tijdens deze gebeurtenissen is van belang. Er is rekening gehouden met 3 meetperioden van 2 maanden per keer.

Omdat de macrostabiliteit vooralsnog zowel met gedraineerd als ongedraineerd materiaalgedrag zal worden onderzocht, dient hiermee bij het terrein- en het laboratoriumonderzoek rekening te worden gehouden.

Producten zijn, factual reports met het uitgevoerde terrein- en laboratoriumwerk, geotechnische dwarsprofielen.

Ad 4: Toepassen beter berekeningsmodel (EEM model 'Soft Soil') ter opwaardering van de macrostabiliteit:

Of de hypothese, dat door het zijdelings wegpersen een ander grondmodel nodig is, aannemelijk is, moet worden aangetoond door een Eindige Elementen berekening waarin de spanningsgeschiedenis zo goed mogelijk wordt nagebootst en de parameters zo goed mogelijk zijn bepaald.

Voor het proeftraject zullen macrostabiliteits-analyses met D-GeoStability en met EEM worden uitgevoerd.

Hiervoor zal in overleg met project KIJK een uitgangspuntennotitie worden opgesteld.

De macrostabiliteit zal vooralsnog zowel met gedraineerd als ongedraineerd materiaalgedrag worden onderzocht.

Ten behoeve van het rekenen met ongedraineerd materiaalgedrag is het noodzakelijk dat het SHANSEP model in EEM (Plaxis) wordt ingebouwd. Het inbouwen en valideren van het SHANSEP model in EEM zit echter niet in het PvA 'Beter benutten actuele sterkte'. Dit wordt binnen het onderwerp 'Ongedraineerd rekenen' opgepakt. Voor het project 'Beter benutten actuele sterkte' dient dit model voor november beschikbaar en gevalideerd te zijn.

Er zal worden uitgegaan van de nieuwe normen. Voor de case Hollandse IJssel is voor traject 15-3 (Dijken langs de Hollandse IJssel aan Krimpenerwaardse zijde) een overstromingskansnorm vastgesteld van 1:10.000 (zie Wetsvoorstel Waterwet) (Overstromingskans als bedoeld in artikel 2.2, eerste lid, onderdeel a).

Na het afronden van bovengenoemd onderzoek is het inzichtelijk geworden welk effect het aanvullend grondonderzoek heeft gehad. Als dit onderzoek heeft geleid tot een goedkeuring of bijna goedkeuring van de onderzochte locaties, kan overwogen worden om aanvullend onderzoek uit te voeren langs het gehele dijktraject. Dit onderzoek wordt echter niet binnen de POV-M uitgevoerd en is niet opgenomen in dit PvA.

Product is een rapport waarin het berekeningsmodel, de berekeningswijze en de resultaten worden gepresenteerd. Tevens de conclusies en de aanbevelingen voor de vervolgfases. Bovengenoemd onderzoek kan zondermeer als 'no-regret' activiteit worden gezien.

Ad 5: Opstellen werkwijze (stappenplan), verzamelen historische gegevens en haalbaarheidsstudie:

Voor de dijktrajecten waar op basis van voorgaande stappen niet tot goedkeuring is gekomen wordt vervolgd met deze stap.

- Mede op basis van het Technisch Rapport Actuele Sterkte (TRAS) zal eerst een werkwijze (stappenplan) worden opgesteld waarmee de macrostabiliteit middels actuele sterkte technieken zal worden berekend. Hierbij zal in stappen worden aangegeven welke activiteiten noodzakelijk zijn om verantwoord tot aanscherping van de beoordelingsmethode te komen (Er wordt bedoeld op het nu reeds uitwerken van de stap 3 van H3, en een doorkijk naar de stappen 4 en 5.
- Verzamelen benodigde (historische) gegevens voor overige dijkvakken. Voor het uitvoeren van een actuele sterkte-onderzoek moet er voldoende betrouwbare informatie over de overleefde belastingsituaties voorhanden zijn. Daarom zal in eerste instantie een inventarisatie van de benodigde en beschikbare gegevens worden uitgevoerd. Er wordt ervan uitgegaan dat de opdrachtgever, in overleg met Deltares, dit zogenaamde historische feitenonderzoek uitvoert en de benodigde informatie aanlevert. Deltares zal zo volledig mogelijk aangeven welke gegevens voor welke dijkstrekkingen noodzakelijk zijn. Opgemerkt wordt dat het gezien de planning zinvol is het historisch feitenonderzoek vroegtijdig te starten en parallel aan de eerder genoemde activiteiten uit te voeren. Er wordt benadrukt dat een gedegen feitenonderzoek cruciaal is voor een goed eindresultaat. Ofwel de beschikbaarheid en kwaliteit van historische gegevens is bepalend voor het succes van een bewezen-sterkte-analyse. Conclusie na deze inventarisatie kan dan ook zijn dat er te weinig essentiële info beschikbaar blijkt van een bepaalde historische situatie om een succesvolle poging tot optimalisatie o.b.v. bewezen sterkte te doen.

Bij benodigde informatie wordt o.a. gedacht aan de stormvloedramp van 1953, eventueel 1916, hoge waterstanden bij sluitingen van de Algera-kering bij Capelle a/d IJssel en extreme neerslagsituaties:

- De situatie van 1953 is al eerder genoemd. De waterstand tijdens de stormvloedramp was hoger (maar kortdurender) dan het huidige MHW. Belangrijk is de inventarisatie van benodigde gegevens (met name historische) en de betrouwbaarheid daarvan. Verwacht wordt dat o.a. de volgende gegevens bij het HHS beschikbaar zijn:
  - Gedetailleerde dwarsprofielen van de huidige en historische situaties.
  - Informatie over autonome bodemdaling
  - Gegevens over de evt. uitgevoerde dijkreconstructies na 1953.
  - Polderpeilen, waterstanden, buitenwaterstand en verloop in de tijd, neerslaggegevens ten tijde van de historische situatie.
- Ook treden regelmatig hoge waterstanden op bij sluitingen van de Algera-kering (Stormvloedkering in de Hollandse IJssel). Hoewel deze waterstanden lager zijn dan het huidige MHW kan monitoring hiervan en de invloed hiervan op de waterspanningen in en onder de dijk, belangrijke informatie geven. Verwachtingen zijn dat MHW weinig invloed heeft op de hoogte van de freatische lijn (de dijken zijn van klei) en de stijghoogte in het watervoerende zandpakket onder de dijk. Deze situatie lijkt daarmee dus op de situatie tijdens dagelijkse omstandigheden.
- Gezien bovengenoemde heeft extreme neerslag waarschijnlijk grotere invloed op de macrostabiliteit dan het optreden van MHW. Hevige neerslag is meerdere malen opgetreden zonder dat daarbij doorgaande deformaties of afschuivingen zijn opgetreden. Monitoring van neerslag in relatie tot de hoogte van het freatische vlak in de dijk (zie ook stap 1) kan in dit verband belangrijke informatie opleveren. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de definitie van 'extreme (norm) neerslag' veelal wordt geïnterpreteerd als een 7-daagse neerslagsom van 155mm. Deze

hoeveelheid is niet rechtstreeks gekoppeld aan een bepaalde kans van voorkomen. Om deze link te kunnen leggen zal overleg met het KNMI nodig zijn.

In H3 is aangegeven dat voor de dijken aan de Schielandse zijde plaatselijk sprake is van scheurvorming in de kruin van de dijk hetgeen zou kunnen wijzen op een minder goede stabiliteit onder dagelijkse omstandigheden. Mogelijkerwijs kan het wel of niet optreden van scheurvorming echter worden geweten aan het al dan niet aanwezig zijn van watergangen achter de dijk. Dit vereist nadere analyse of de scheurvorming is gekoppeld aan de aanwezigheid van binnendijkse watergangen. Opgemerkt wordt dat de dijken aan de Schielandse zijde vooralsnog geen deel uitmaken van dit onderzoek.

- Onderzoeken of er voldoende gegevens voorhanden zijn om het actuele sterkteonderzoek uit te voeren. Hierbij wordt met name gedoeld op de historische gegevens van de situatie uit 1953.
- Het uitvoeren van een haalbaarheidsstudie.  
Wanneer blijkt dat er voldoende betrouwbare gegevens voorhanden zijn, wordt een haalbaarheidsstudie uitgevoerd. Hierbij wordt de kans, dat het actuele sterkteonderzoek tot een positief resultaat leidt, onderzocht door middel van eenvoudige analyses. Daarnaast wordt een zeer globale consequentieanalyse uitgevoerd naar het economisch voordeel van een positief resultaat. Uit de haalbaarheidsstudie volgt of het actuele sterkte-onderzoek economisch verantwoord is.  
Op dit moment is al duidelijk dat vooral aan de zijde van de Krimpenerwaard een eventuele binnenwaartse versterking van de IJsseldijk hoge kosten met zich mee zal brengen vanwege de binnendijkse bebouwing. Naar verwachting zal de economische haalbaarheid snel en relatief eenvoudig kunnen worden vastgesteld, zonder er al te diep op in te gaan.  
Opgemerkt wordt dat uit de haalbaarheidsstudie dus kan volgen dat op basis van de in deze activiteit 5 gegeven historische situaties niet wordt verwacht dat het actuele sterkteonderzoek een positief resultaat geeft. In deze haalbaarheidsstudie zal echter ook worden aangegeven (ingeschat) of een onderzoek zoals gegeven in activiteiten 7 en 8 zinvol is.

Producten zijn:

- Een blauwdruk van de werkwijze waarmee de macrostabiliteit middels actuele sterkte technieken kan worden berekend.
- Een rapport waarin de werkwijze, analyse van de beschikbare (historische) gegevens en een haalbaarheidsstudie, voor het proeftraject van de Hollandse IJssel wordt beschreven.

## A.2 Voorstel activiteiten 2016 en 2017

Ad 6: Toepassen bewezen sterkte technieken:

Als het resultaat van de vorige stap positief uitvalt, zal het actuele sterkteonderzoek in een aantal dwarsprofielen van het proeftraject worden uitgevoerd op basis van de situatie van 1953. Het actuele sterkteonderzoek zal ook worden uitgevoerd op basis van de hoogwatersituaties bij sluitingen van de Algera-kering en bij extreme neerslagsituaties. Deze laatste stap wordt ook uitgevoerd als het beschouwen van de situatie van 1953 al positief uitvalt. Dit teneinde te kunnen demonstreren/aantonen in hoeverre, zonder beschouwing van de situatie van 1953, toch tot goedkeuren of scopeverkleining kan worden gekomen. Dit is essentieel om de methode compleet en daarmee breder inzetbaar te maken. De actuele sterkte-aanpak is een verzameling van geavanceerde rekenmethoden al dan niet aangevuld met gedetailleerd grondonderzoek. De rekenmethoden omvatten ruwweg de volgende stappen, oplopend in complexiteit:



- Bewezen sterkte-onderzoek. Hierbij wordt nagegaan of en in hoeverre de situatie met betrekking tot macrostabiliteit onder maatgevende omstandigheden voor het toetsen op veiligheid gunstiger is dan bij een belastingssituatie in het verleden die zonder problemen is overleefd. Dit door het uitvoeren van deterministische stabiliteitanalyses voor de huidige situatie tijdens MHW maar ook voor de historische situaties waarbij de dijk een extreem hoge waterstand heeft overleefd. Voor dit onderzoek is het nodig dat het waterspanningsbeeld in en onder de dijk wordt bepaald voor de historische situaties en de Normsituatie (=huidige situatie onder maatgevende omstandigheden).
- Probabilistische stabiliteitsanalyse. De beoordeling van de stabiliteit op basis van een probabilistische stabiliteitsanalyse komt neer op het vaststellen van een faalkans (kans op instabiliteit) in plaats van een stabiliteitsfactor. De toelaatbare faalkans is gerelateerd aan de overschrijdingskans (= kans per jaar) van het MHW voor het dijkgebied.
- Een probabilistische analyse waarbij rekening gehouden wordt met de overleefde belasting. Dit is in feite een combinatie van de twee vorige stappen, en wordt de bewezen sterkte op basis van een posteriori probabilistische stabiliteitsanalyse genoemd. Hierbij wordt opgemerkt dat zelfs niet-extreme hoogwatersituaties die meermaals zijn opgetreden een positieve bijdrage kunnen leveren.

De strategie die met name bij bovengenoemde activiteiten gehanteerd wordt, is dat van grof naar fijn gewerkt wordt, waarbij met steeds geavanceerdere technieken wordt geprobeerd de versterkingsopgave te beperken. Zodra blijkt, dat op een zeker moment verdere analyse met een meer geavanceerd rekenmodel weinig of geen kans van slagen heeft, wordt gestopt en geconcludeerd dat de strategie niet tot het gewenste resultaat zal leiden.

Product is een rapport waarin de werkwijze (met actuele sterkte technieken) wordt uitgewerkt voor het proeftraject. De resultaten worden gepresenteerd alsmede de conclusies van het onderzoek en aanbevelingen voor de vervolgfases. De werkwijze zal worden ingebracht in de werkgroep Evaluatie Dijkversterking en ENW met het doel tot een door ENW geaccepteerde werkwijze te komen die door DRGW wordt bekrachtigd.

Opgemerkt wordt dat op dit moment nog niet duidelijk is voor hoeveel dwarsprofielen van de IJsseldijk het bewezen sterkte onderzoek kan worden uitgevoerd (binnen het budget voor 2015). Zoals eerder aangegeven is dit vooralsnog ingeschat op 3 tot 5 profielen. Na afloop van de activiteiten 5 of 6 wordt er rekening mee gehouden dat onderzoek in aanvullende dwarsprofielen is benodigd (activiteit 3). De mogelijkheid bestaan namelijk dat door beschouwing van het beperkte aantal dwarsprofielen het stappenplan (activiteit 5) onvoldoende kan worden geverifieerd/gevalideerd. Dit onderzoek in meerdere dwarsprofielen kan dan parallel aan het onderzoek, zoals genoemde in de activiteiten 5 en 6, worden uitgevoerd.

#### Ad 7: Proefbelasten van de waterkeringen

Voor de dijkvakken waar op basis van bovengenoemde niet tot goedkeuren kan worden gekomen wordt voorgesteld de minimale proefbelasting te bepalen, op basis waarvan goedkeuren zou volgen, als de dijk dit zonder problemen kan weerstaan. Opgemerkt wordt dat hierbij voldoende aandacht zal worden gegeven aan de betekenis van 'zonder problemen kan weerstaan'.

In deze stap worden daadwerkelijk proefbelastingen op de dijk aangebracht (proeftraject) waarmee een situatie wordt gecreëerd die slechter is dan de situatie tijdens MHW. Voor de

dijkvakken die dit zonder problemen kunnen weerstaan, kan met voldoende zekerheid worden gesteld dat dijkversterking niet nodig is.

Vooralsnog wordt bij 'proefbelasting' gedacht aan het aanbrengen van een fysieke belasting op de kruin denkende aan met water gevulde containers. Verwachting is dat de aan te brengen belasting is veel gevallen gering kan zijn. 'Gering' zou daarbij kunnen worden gekwantificeerd als 'ter grootte van de verkeersbelasting'. Gedachte daarbij is dat de dijk deze belasting zonder meer zou moeten kunnen weerstaan omdat deze immers meermaals is opgetreden. Indien uit de analyses volgt dat een grotere belasting nodig is zal moeten worden bezien in hoeverre het Waterschap het verantwoord vindt om deze belasting aan te brengen. Hoewel onder de geconditioneerde omstandigheden geen sprake is van een inundatierisico bestaat een kleine kans dat door optredende deformatie mogelijk schade aan de waterkering kan optreden.

Als uit de analyses in voorgaande stappen blijkt dat extreme neerslag maatgevend is zou bij een 'proefbelasting' wellicht kunnen worden gedacht aan het verhogen van het freatisch vlak. Uiteraard zal ook moeten worden bezien of het daadwerkelijk aanbrengen van een dergelijke proefbelasting in de praktijk tot de mogelijkheden behoort.

Producten van deze activiteiten zijn:

- Een rapport waarin de werkwijze voor bepaling van de minimaal benodigde proefbelasting(en) en de uitwerking voor het proeftraject (predictie) wordt beschreven en uitgewerkt.
- Een plan van aanpak voor het uitvoeren van het daadwerkelijk aanbrengen van de proefbelasting en het interpreteren van de resultaten.
- Het uitvoeren van de proefbelasting. Een rapport waarin de resultaten worden gepresenteerd alsmede de conclusies van het onderzoek en aanbevelingen voor de vervolfasen.

Ad 8: Ontwerpen van een alternatieve principe dijkversterkingsmaatregel

Als laatste stap zal worden bepaald of een alternatieve maatregel mogelijk is in plaats van de ingrijpende versterking met constructies zoals bijvoorbeeld verankerde damwanden of diepwanden. Hierbij wordt dan gedacht aan bijvoorbeeld het aanbrengen van een kwelscherm of kleikist waarmee indringing van het freatisch vlak in de dijkskern wordt voorkomen. Hierdoor wordt een nadelige belastingsituatie voorkomen, die het goedkeuren van de stabiliteit met bewezen sterkte technieken tegenhoudt. In deze stap worden de mogelijke maatregelen gedefinieerd. In deze stap worden de uitgangspunten en randvoorwaarden alsmede een werkwijze opgesteld om een dergelijke maatregel te kunnen ontwerpen.

Ad 9: Implementatie van de werkwijze.

In de vorige fasen is de werkwijze opgesteld en geverifieerd waarmee de methode beschikbaar en toegankelijk wordt gemaakt voor implementatie in de adviespraktijk. De werkwijze zal wederom worden ingebracht in de werkgroep Evaluatie Dijkversterking en ENW met het doel tot een door ENW geaccepteerde werkwijze te komen (die door DRGW wordt bekrachtigd) waarbij ernaar zal worden gestreefd dat deze werkwijze Nederland breed kan worden geïmplementeerd in de adviespraktijk.

Product is een aangescherpt (en door ENW geaccepteerd) werkwijze rapport waarmee de macrostabiliteit van het binnentalud middels actuele sterkte technieken kan worden berekend.



*Opgemerkt wordt dat het onderzoek beschreven in dit plan van aanpak wordt uitgevoerd om daarmee aan te kunnen tonen dat de aanpak succesvol is. Hierna kan de werkwijze (buiten onderhavig project om) worden geïmplementeerd in de adviespraktijk voor o.a. de IJsseldijken.*

## B Inschatting kostenbesparing KIJK door actuele sterkte

### **Kosten dijkversterking:**

Door het HHSK is in 2014/2015 een eerste inschatting van de totale projectkosten van het project KIJK gemaakt ter hoogte van 220 miljoen €. Dit ging destijds uit van 10 km te versterken dijken. Voor de trajecten met hoog en breed voorland (circa 2km) is naderhand gesteld dat deze vooralsnog niet worden versterkt. Er wordt door HHSK vooralsnog vanuit gegaan dat deze voorlanden positief worden beoordeeld als de resultaten van de POV-Voorlanden beschikbaar zijn.

Ook wordt opgemerkt dat ten tijde van het maken van deze inschatting het hoogteprobleem nog niet bekend was, waardoor ervan mag worden uitgegaan dat de versterkingskosten hoger zullen uitvallen dan hierboven weergegeven. Ter bepaling van het economisch voordeel is hiervan niet uitgegaan.

### **Economisch voordeel:**

Op basis van bovengenoemde is de kostenbesparing voor de versterking geschat. De details hiervan zijn in tabel B-1 van deze bijlage weergegeven.

Uitgegaan wordt van 8km te versterken dijken. 2Km dijkstrekking behorende tot de scope van KIJK heeft breed en hoog voorland (i.p.v. 10km). Hiervoor is gesteld dat deze vooralsnog niet worden versterkt. Er wordt door HHSK vooralsnog vanuit gegaan dat deze voorlanden positief worden beoordeeld als de resultaten van de POV-Voorlanden beschikbaar zijn.

Uitgaande van de totale versterkingskosten van 10km dijk van 220m€ worden de versterkingskosten voor alleen macrostabiliteit van het binnentalud geschat op circa 88 m€ bedragen ( $220m€ \cdot (8km/10km) \cdot 50\%$ ).

Gesteld wordt dat bewezen sterkte analyses alleen succesvol kunnen zijn op de dijkvakken met beperkt hoogtetekort (circa 4 km, 3,8 km in tabel B-1).

Op dit moment is het nog lastig een goede inschatting te maken in hoeveel procent van de gevallen met bewezen sterkte tot goedkeuring wordt gekomen en in hoeveel procent van de gevallen met een geringe maatregel (in combinatie met bewezen sterkte technieken) kan worden volstaan. Daarom is in onderstaande analyses uitgegaan van diverse percentages.

In het volgende rekenvoorbeeld wordt ervan uitgegaan dat van deze 3.8 km in 20% van de gevallen met bewezen sterkte tot goedkeuring wordt gekomen en dat voor 20% met een geringe maatregel (in combinatie met bewezen sterkte technieken) kan worden volstaan. Hierbij wordt gedacht aan het plaatsen van een licht scherm in de kruin van de dijk om te voorkomen dat het fretatisch vlak stijgt tijdens MHW). Hieruit volgt dat het % resterende dijken waarvoor met andere actuele sterkte technieken enige kostenbesparing kan worden bereikt circa 80 % is (81% in de tabel). In het rekenvoorbeeld is vervolgens voor deze overige dijken uitgegaan van een kostenreductie van 10%.

Hiervan uitgaande wordt de reductie van de versterkingskosten geschat op 8 m€ daar waar met bewezen sterkte tot goedkeuring wordt gekomen. Daar waar met een geringe maatregel (in combinatie met bewezen sterkte technieken) kan worden volstaan wordt de reductie op 4 m€ Totaal dus 12m€

Door toepassing van de andere actuele sterkte technieken (dan Bewezen sterkte) kan de versterking voor macrostabiliteit van het binnentalud voor de overige dijkvakken mogelijk worden geoptimaliseerd. Uitgaande van een kostenoptimalisatie van 10% wordt de reductie van de versterkingskosten voor KIJK geschat op 7 m€.

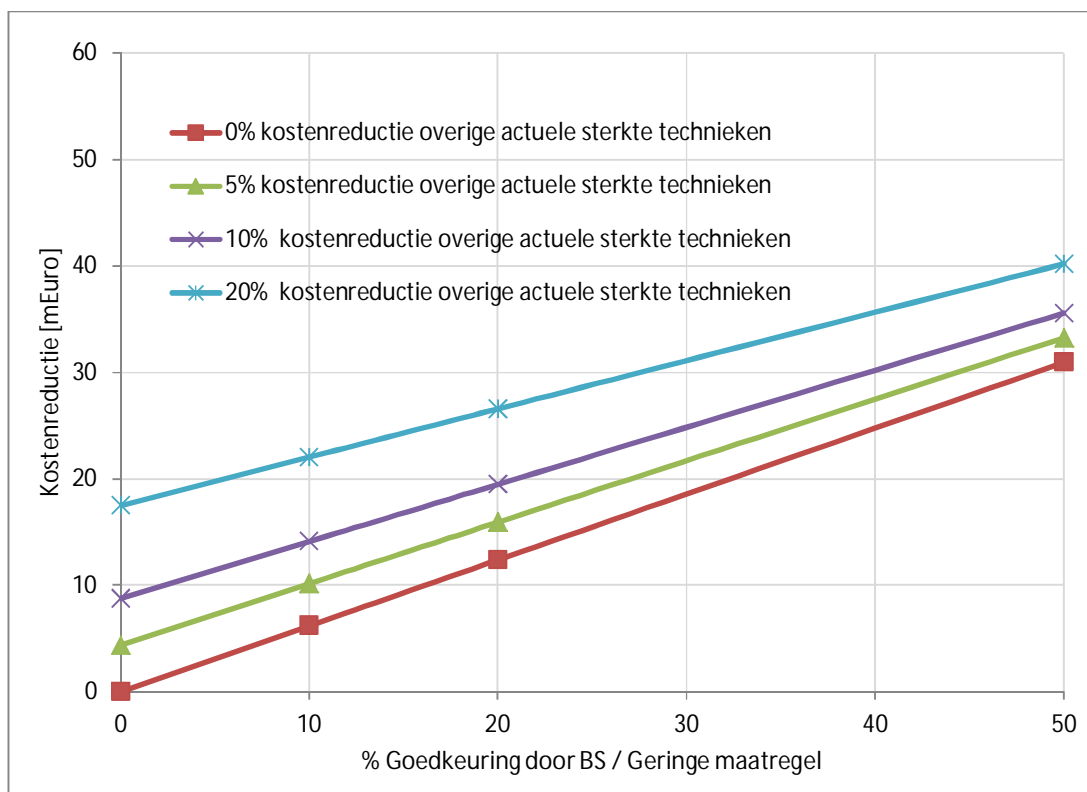
Hiermee wordt de totale kostenbesparing door het actuele sterkteonderzoek geschat op 19 m€.

omschrijving	Omschrijving	eenheid	
Km dijkversterking, versterkingsopgave	totaal aantal km dijk afgekeurd op macrostabiliteit binnentalud	km	8.0
	totaal aantal km dijk afgekeurd op macrostabiliteit binnentalud met een hoogtetekort < 0.5m	km	3.8
	gemiddelde kosten dijkversterking	kEuro/m	11
	versterkingsopgave macrostabiliteit binnentalud 1)	Meuro	87
inschatting verdeling dijkvakken die met bepaald technieken worden geoptimaliserd (voor Macrostabiliteit van het binnentalud)	inschatting % dijken met hoogtetekort < 0.5m dat met bewezen sterkte wordt goedgekeurd. 2)	%	20
	inschatting % dijken met hoogtetekort < 0.5m dat met bewezen sterkte niet wordt goedgekeurd, maar waar wel met een geringe versterkings maatregel (met gebruik van bewezen sterkte technieken) kan worden volstaan 2).	%	20
	% resterende dijken waarvoor met andere actuele sterkte technieken enige kostenbesparing kan worden bereikt.	%	81
Inschatting procentuele kostenreductie dijkversterking (voor macrostabiliteit van het binnentalud)	kostenreductie als versterking kan worden voorkomen (met bewezen sterkte technieken) 2).	%	100
	kostenreductie door versterking met geringe maatregel (incl. bewezen sterkte technieken) 2).	%	50
	kostenreductie door overige actuele sterkte technieken (afgezien van bewezen sterkte)	%	10
Inschatting reductie kosten voor dijkversterking (voor macrostabiliteit van het binnentalud)	voor dijkvakken waarbij met bewezen sterkte dijkversterking kan worden voorkomen.	mEuro	8
	voor dijkvakken waarbij met bewezen sterkte slechts met een geringe maatregel kan worden volstaan.	mEuro	4
	voor de resterende dijkvakken waarvoor de dijkversterking met andere actuele sterkte technieken kan worden geoptimaliseerd	mEuro	7
	<b>totaal ingeschatte reductie kosten voor dijkversterking KIJK</b>	<b>mEuro</b>	<b>19</b>
1) Rekening houdende met het feit dat dezelfde trajecten voor meerdere faalmechanismen kunnen zijn afgekeurd			
2) Al dan niet met toepassing van een proefbelasting			

Tabel B-1: Rekenvoorbeeld inschatting kostenbesparing KIJK door actuele sterkte (Uitgangspunten: 20% kans dat met bewezen sterkte tot goedkeuring wordt gekomen; 20% kans dat met een geringe maatregel (in combinatie met bewezen sterkte technieken) kan worden volstaan.)

In onderstaande tabel B-2 zijn de resultaten weergegeven als wordt uitgegaan van andere percentages. Hierbij is gevarieerd tussen 10 en 100% kans dat met bewezen sterkte tot goedkeuring wordt gekomen, dan wel met een geringe maatregel (in combinatie met bewezen sterkte technieken) kan worden volstaan.

Voor de overige dijken waarvoor met andere actuele sterkte technieken enige kostenbesparing kan worden bereikt is gevarieerd tussen 0 en 20%.



Figuur B-1: Inschatting kostenbesparing KJK door actuele sterkte