


POVM Actuele Sterkte

Achtergrondrapport voor POVM Publicatie Actuele Sterkte Macrostabiliteit

POV

MACRO
STABILITEIT



Datum: januari 2020
Auteur(s): Arno Rozing

Versie: 1.1

**Title**

POVM Actuele Sterkte

Project

11203415-002-GEO-0004

Pages

1

Samenvatting

In opdracht van de Project Overstijgende Verkenning Macro stabiliteit (POVM) zal een publicatie POVM Actuele Sterkte Macro stabiliteit worden gemaakt. Ten behoeve hiervan is onderhavig achtergrondrapport opgesteld.

Actuele Sterkte (AS) is een kennisinnovatie die direct toepasbaar is in o.a. HWBP projecten. AS is het combineren van mogelijke optimalisaties met het doel de werkelijke sterkte voor het faalmechanisme macro stabiliteit zo dicht mogelijk te benaderen. Hiervoor wordt een stappenplan gebruikt.

Dit stappenplan bestaat uit 4 stappen: (0) Inschatting kansrijkheid AS, (1) nadere detaillering van de schematisering (inclusief gericht grondonderzoek en monitoring) voor de semi-probabilistische analyse, (2) het uitvoeren van faalkansanalyses of (3) het toepassen van faalkansupdating of bewezen sterkte.

De intentie van dit rapport is een overzichtelijk, overkoepelend en centraal overzicht te geven van de AS aanpak voor macro stabiliteit van Waterkeringen. Doel van dit document is om:

- de stapsgewijze aanpak inhoudelijk samen te vatten.
- inzicht te geven in de effecten op projecten (winstpotentie versus projectinpassing), voor zowel de beoordelingsfase als de versterkingsfase.
- de aanpak en effecten illustreren door middel van praktijkvoorbeelden.
- aanbevelingen te geven voor verdere ontwikkeling en implementatie van de methode voor de toekomst.

AS is succesvol toegepast in projecten en leidt tot een realistischere beoordeling en projectscope. Dit sluit aan bij de doelstellingen om scherp te toetsen en sober en doelmatig te versterken. Voor regionale keringen is AS vooral toegepast voor verkenning van de potentiële winst van faalkansanalyses (stap 2) en bewezen sterkte (stap 3). Voor de HWBP projecten (primaire keringen) is AS vooral toegepast als nadere vaststelling van de scope en heeft voor STBI in de meeste gevallen een scopereductie gegeven of geeft aan dat de kans hierop groot is als AS na een eerste verkenning wordt uitgerold voor de gehele STBI scope van het dijktraject. Voor primaire waterkeringen zijn vooral stap 1 en stap 2 toegepast, aangezien hier de meeste winst te behalen lijkt.

De methode kan ook worden toegepast voor STBU (buitenwaartse macro stabiliteit) en bij regionale keringen. De voorwaarden en aandachtspunten hiervoor zijn in dit rapport weergegeven. Inmiddels is probabilistisch ontwerpen voor STBI al bij enkele HWBP projecten toegepast, zij het (nog) in verkennende context.



Title

POVM Actuele Sterkte

Project

11203415-002-GEO-0004

Pages




1

ENW heeft positief geadviseerd over de methode en aangegeven dat de methode generiek toepasbaar is, geheel in lijn is met zowel het OI2014-v4 als ook het WBI2017.

De business case is zeer goed. De winst in termen van scopereductie is in dit rapport voor 4 dijktrajecten gekwantificeerd waaruit volgt dat de scope voor STBI met circa 10 km is gereduceerd. Voor het AS-spoor in de referentieprojecten zijn door de POVM analyses uitgevoerd om het rendement van de toepassing van AS te bepalen. Het gaat dan vooral om een verkleining van de versterkingsopgave voor macrostabiliteit. Hieruit bleek dat het rendement voor de referentieprojecten aanzienlijk is en dat een extrapolatie naar het HWBP-programma een zeer substantiële kostenbesparing oplevert.

De effecten van het toepassen van AS voor STBI op de (dijkversterkings-) projecten zijn beschreven, vooral vanuit het oogpunt van het waterschap en betrokken ingenieurs- en adviesbureaus. Aanbevelingen voor een succesvolle implementatie en verdere ontwikkelpunten van AS zijn bij gebruikers geïnventariseerd en in dit rapport opgenomen.

Tot slot zijn in dit rapport diverse aanbevelingen gegeven die de (project)resultaten kunnen verbeteren of de uitkomst realistischer kunnen maken. Omdat de POVM eind 2019 ophoudt te bestaan is het van belang dit onderzoek in toekomstige onderzoeksprogramma's een goede plaats te geven. Een eerste aanzet wordt/is reeds gegeven door enkele onderdelen op te nemen in het nieuw Kennis en Innovatie Programma van het HWBP (KIA).

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	dec. 2019	Arno Rozing		Ben Rijnveld		Leo Voogt	
1.0	jan 2020	Arno Rozing		Ben Rijnveld		Leo Voogt	

Status

definitief



Title

POVM Actuele Sterkte

Project

11203415-002-GEO-0004

Pages

1

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Reikwijdte toekomstige publicatie	1
1.3	Doel en doelgroepen	1
1.4	Positionering opzichte van het WBI2017 en OI2014	2
1.5	Leeswijzer	3
2	De Actuele Sterkte aanpak	5
2.1	Wat is Actuele Sterkte	5
2.2	Stappen in een Actuele Sterkte analyse	7
2.3	Concept	9
2.4	Toepassing actuele sterke voor macrostabiliteit	10
2.4.1	Aandachtspunten en voorwaarden voor toepassing AS voor macrostabiliteit	10
2.4.2	Aandachtspunten en voorwaarden voor toepassing AS voor macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)	11
2.4.3	Aandachtspunten voor toepassing AS bij regionale keringen	11
2.4.4	Aandachtspunten voor toepassing AS bij ontwerp van een dijkversterking	11
2.4.5	Proefbelastingen	12
3	Toepassingsvoorbeelden	15
3.1	Overzicht	15
3.2	HHSK: KIJK (Krachtige IJsseldijk Krimpenerwaard)	16
3.2.1	Aanleiding toepassen AS	16
3.2.2	Het project	16
3.2.3	Resultaten AS	19
3.2.4	Conclusies en aanbevelingen	22
3.3	WSVV: Noordelijke Randmeerdijk	23
3.3.1	Aanleiding toepassen AS	23
3.3.2	Het project	23
3.3.3	Resultaten AS	24
3.3.4	Conclusies en aanbevelingen	26
3.4	WDOD: Zwolle–Olst	27
3.4.1	Aanleiding toepassen AS	27
3.4.2	Het project	28
3.4.3	Resultaten AS	29
3.4.4	Conclusies en aanbevelingen	31
3.5	WSHD: Hellevoetsluis	32
3.5.1	Aanleiding toepassen AS	32
3.5.2	Het project	32
3.5.3	Resultaten AS	34
3.5.4	Conclusies en aanbevelingen	36
3.6	Samenvatting (resultaten en conclusies en aanbevelingen)	37
4	Effecten op projecten en benodigde ontwikkelingen	39
5	Conclusies en aanbevelingen	44

Referenties	47
Bijlage(n)	
A ENW advies, 10 maart 2017	A-1
A.1 Advies Bewezen Sterkte	A-1
A.2 Advies Beter benutten actuele sterkte (KIJK)	A-4
B Verslagen expertsessies	B-1
B.1 Expertsessie Actuele Sterkte WSVV Noordelijke Randmeerdijk d.d. 20-12-2017	B-1
B.2 Expertsessie Actuele Sterkte en piping WSHD Normtraject 20-3 d.d. 13-04-2018	B-7
B.3 Expertsessie Actuele Sterkte WDOD Zwolle-Olst d.d. 25-04-2018	B-12
C Vakdag Actuele en Bewezen Sterkte (POVM / RWS) d.d. 31 januari 2019	C-1
D Verslagen interviews 2019	D-3
D.1 WSVV: Noordelijke Randmeerdijk	D-3
D.2 WDOD: Zwolle–Olst	D-6
D.3 WSHD: Vestingwal te Hellevoetsluis	D-10
D.4 WSHD: Normtraject 20-3	D-12
E Voor- en nadelen probabilistische rekentechnieken bij ontwerpen	E-15
F Gebruikte begrippen en afkortingen	F-1

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2016 is de Project Overstijgende Verkenning Macrostabiliiteit (POVM) gestart met het project 'Beter benutten Actuele Sterkte macrostabiliiteit'. Een kennisinnovatie die direct toepasbaar is in de HWBP projecten en een significante bijdrage heeft geleverd aan de hoofddoelstellingen van het HWBP (sneller, beter en goedkoper).

Doel van dit onderzoek was om het veiligheidsoordeel voor macrostabiliiteit aan te scherpen door zowel gericht grondonderzoek en monitoring als ook door geavanceerde rekentechnieken, zoals faalkansanalyses en faalkans updating ('bewezen sterkte') toe te passen. Doel was ook om deze werkwijze genoemd 'Actuele Sterkte Macrostabiliiteit' praktisch toepasbaar te maken. Voor een nadere beschrijving van de methode 'Actuele Sterkte Macrostabiliiteit' wordt verwezen naar hoofdstuk 2.

Het POVM onderzoek heeft zich in eerste instantie gericht op het referentieproject KJK (Krachtig IJsseldijken Krimpenerwaard), waarbinnen de methode succesvol is toegepast. Daarna zijn diverse dijkversterkingsprojecten en beoordelingen gevolgd, met een succesvol resultaat.

Parallel aan deze onderzoeken zijn door Rijkswaterstaat diverse Kennis en Kunde Platform projecten uitgevoerd met het doel de Bewezen Sterkte methode (zie paragraaf 2.2) verder te ontwikkelen en te illustreren voor zowel primaire als regionale keringen.

1.2 Reikwijdte toekomstige publicatie

Mede gezien bovengenoemde groeiende binnen de POVM de wens om één overzichtelijk document te hebben waarin o.a. de 'Actuele Sterkte Macrostabiliiteit' aanpak wordt beschreven. Dit achtergrondrapport beperkt zich tot de rekentechnieken waarmee de macrostabiliiteit van het binnentalud kan worden geoptimaliseerd. Hoewel de actuele sterkte aanpak voor macrostabiliiteit wordt beschreven zal voor uitvoeren van de analyses worden verwezen naar beschikbare handreikingen. Voor voorbeelden waarbij de methodiek is toegepast binnen bijvoorbeeld HWBP projecten zal worden verwezen naar beschikbare rapporten.

Voornemen van de POVM is om op basis van dit rapport begin 2020 een publicatie uit te brengen genaamd 'POVM Publicatie Actuele Sterkte Macrostabiliiteit'. Als eerste stap is hiertoe dit achtergrondrapport opgesteld.

De publicatie zal in grote lijnen dezelfde informatie bevatten zoals in dit rapport is weergegeven, echter meer samengevat waarbij de lay-out in overeenstemming wordt gebracht met de overige publicaties van de POVM. Voor de bijlagen kan desgewenst worden verwezen naar dit achtergrondrapport.

1.3 Doel en doelgroepen

Doel van dit document is om:

- De stapsgewijze aanpak inhoudelijk samen te vatten.
- Inzicht te geven in de effecten op projecten (winstpotentie versus projectinpassing), voor zowel de beoordelingsfase als de versterkingsfase.
- De aanpak en effecten illustreren door middel van praktijkvoorbeelden.
- Aanbevelingen voor verdere ontwikkeling en implementatie van de methode voor de toekomst te geven.

Dit document is bedoeld voor communicatie-doeleinden en om de implementatie te bevorderen. Het document is bedoeld als basis voor een uiteindelijke 'POVM Publicatie Actuele Sterkte Macrostabiliiteit'.

Doelgroepen voor dit document zijn:

- Projectmanagers.
- Technisch managers.
- Technisch uitvoerenden.

Dit document geeft hen inzicht in wat Actuele sterkte voor hun (project) kan betekenen.

1.4 Positionering opzichte van het WBI2017 en OI2014

Algemeen

De publicaties van de POVM zijn geschreven voor het ontwerpen van dijken. Tevens sluiten ze aan op het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI2017).

De hoofdlijnen en definities voor waterveiligheid staan beschreven in de 'Grondslagen voor hoogwaterbescherming' (ENW, 2016). Voor het beoordelen (voorheen toetsen genoemd) is er een wettelijk beoordelingsinstrumentarium (WBI2017) beschikbaar. Voor ontwerpen van een versterkingsmaatregel geldt dat het waterschap de randvoorwaarden vaststelt. Bovendien geldt dat een dijk moet voldoen aan de Waterwet.

Ontwerpen

De leidraden van het WBI2017 bevatten de benodigde informatie om een dijk te beoordelen. Maar voor ontwerpen – in het algemeen, maar zeker voor constructies in dijken – is veel meer nodig.

Sinds 1971 hebben de Technische Adviescommissie Waterkeringen (TAW) en haar opvolger, het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) leidraden en technische rapporten opgesteld voor het ontwerpen van primaire waterkeringen.

Een basis voor het ontwerpen van dijken staat beschreven in de Leidraad Rivieren (TAW, 1989) met aanvullende technische rapporten zoals het TR Waterspanningen bij Dijken (TAW, 2004) en TR Waterkerende Grondconstructies (TRWG) (TAW, 2001). Ook de rapporten over faalmechanismen zijn bruikbaar voor het ontwerpen.

Voor het ontwerpen en ontwerpuitgangspunten van een groene dijk wordt aanvullend verwezen naar het ontwerpinstrumentarium (OI) OI2014 en updates daarvan. Het OI is nog in ontwikkeling en dus nog niet volledig. In het project OI2018 wordt dit ontwerp instrumentarium nader ingevuld. Het komt beschikbaar via de Helpdesk Water (www.helpdeskwater.nl). Het ontwerpinstrumentarium is een handreiking die strekt tot aanbevelingen bij het ontwerpen van een kering conform de overstromingskansbenadering.

Binnen de POVM wordt specifiek gewerkt aan stabiliteitverhogende constructies in een dijk. Hiervoor wordt voor vier categorieën een ontwerprichtlijn opgesteld. Deze publicaties, te weten: vernagelingstechnieken, drainagesystemen, langsconstructies en grondverbeteringen worden opgesteld binnen de POVM en voorgelegd aan ENW. De richtlijnen komen in de vorm van POVM-publicaties beschikbaar via de website van de POVM (www.POVM.nl, actief tot en met 2019). Voordat deze website opgeheven wordt, zal het eigenaarschap naar verwachting in het kader van POV2.0 worden geregeld.

Naast de vier richtlijnen worden binnen de POVM rapporten opgesteld over deelaspecten: Eindige Elementen Methode, Veiligheid tijdens de uitvoering, Life Cycle Monitoring, Actuele sterkte (Handreiking Faalkans Analyse en Faalkans Updating), parameterbepaling, etc. Deze rapporten zijn beschikbaar via de website van de POVM (www.povm.nl).

Probabilistische analyses:

Gesteld kan worden dat de actuele sterkte analyses, waaronder probabilistische analyses, op basis van de beschikbare gegevens uitgevoerd kunnen worden, ervan uitgaande dat ook voor semi-probabilistische analyses voldoende informatie beschikbaar is. Naast de benodigde informatie voor semi-probabilistische analyses, is aanvullende informatie doorgaans niet vereist. Daarbij is, aantoonbaar een scherpere beoordeling mogelijk (zie ook H 2 en H3). Dit wordt vooral veroorzaakt doordat in de semi-probabilistische analyse in de meeste gevallen een (te) conservatief verband tussen de toelaatbare veiligheidsfactor en de toelaatbare faalkans wordt gebruikt (zie ook paragraaf 2.2).

De methode die is toegepast is beschreven in de "Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating" [Kanning & Schweckendiek, 2017] - te downloaden via de POV-M website (www.povmacrostabiliteit.nl).

ENW heeft positief geadviseerd over de methode en aangegeven dat de methode generiek toepasbaar is (zie bijlage A). Gesteld kan worden dat een faalkansberekening ofwel probabilistische berekening geheel in lijn is met zowel het OI2014-v4 als ook het WBI2017, waarbij wordt opgemerkt dat de faalkansberekening voor macrostabiliteit waarschijnlijk vanaf circa 2020 ook in het WBI2017 wordt opgenomen.

1.5 Leeswijzer

In paragraaf 1.3 zijn de verschillende doelgroepen aangegeven. In dit verband wordt opgemerkt dat vooral de volgende paragrafen specifiek voor de Technische Manager van het HWBP project van belang zijn omdat deze hen inzicht geeft in wat Actuele Sterkte voor hun (project) kan betekenen, nl. paragraaf 1.4 paragraaf 2.1., 2.4., 3.6, hoofdstuk 4 en 5. In hoofdstuk 2 wordt uitgelegd wat Actuele sterkte en bewezen sterkte voor macrostabiliteit is en wordt de methode nader toegelicht aan de hand van het daarvoor ontwikkelde stappenplan. In dit rapport zijn de hoofdlijnen aangegeven en voor nadere toelichting wordt bijvoorbeeld verwezen naar beschikbare handreikingen. In paragraaf 2.4 wordt aangegeven wanneer en waar AS kan worden toegepast.

In hoofdstuk 3 zijn een aantal voorbeeldprojecten gegeven waarbij actuele sterkte is toegepast. Dit betreft 4 dijkversterkingsprojecten binnen het HWBP en een beoordeling van een primaire kering. In hoofdstuk 3 worden voorbeelden gegeven van projecten waarbij AS is toegepast. Naast een beschrijving van het project wordt vooral op de aanleiding ingegaan. Tevens worden de resultaten, conclusies en aanbevelingen project specifiek en project overstijgend samengevat.

In hoofdstuk 4 worden de effecten op de (dijkversterkings)projecten beschreven, vooral vanuit het oogpunt van het waterschap en betrokken ingenieurs- of adviesbureaus. Hiervoor zijn interviews gehouden met technisch managers, projectmanagers en/of medewerkers van ingenieurs- adviesbureaus betrokken bij de toepassing van actuele sterkte binnen hun (dijkversterkings)project.

In hoofdstuk 5 zijn de conclusies en aanbevelingen weergegeven. Hierbij is vooral ingegaan op wat het voor de diverse projecten heeft opgeleverd en wat de uitdagingen in de nabije toekomst zijn om het toepassen van Actuele Sterkte nog succesvoller te maken.



11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief

Voor de gebruikte begrippen en afkortingen wordt verwezen naar Bijlage F.

2 De Actuele Sterkte aanpak

2.1 Wat is Actuele Sterkte

Indien een dijk in de beoordeling wordt afgekeurd komt deze op de versterkingslijst van het HWBP. In sommige gevallen is optimalisatie van het resultaat van de beoordeling voor macrostabiliteit kansrijk.

Dit kan vele oorzaken hebben. Zo kan de ondergrondschematisatie in werkelijkheid anders (gunstiger) zijn. Daarnaast zijn de parameters (vooral de sterkteparameters) veelal bepaald met een beperkt aantal proeven. Ook zijn de waterspanningen in en onder de dijk bij waterstanden hoger dan waarbij ooit is gemeten moeilijk vast te stellen en rekentechnieken zijn niet altijd optimaal.

Optimalisatie van het beoordelingsresultaat is vooral kansrijk als in het verleden belastingen (denkend aan o.a. hoge buitenwaterstanden) zijn weerstaan die hoger dan of vergelijkbaar zijn met de ontwerpbelastingen (ontwerp waterstanden) waarop de dijk dient te zijn onderworpen. 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. Ook is de vraag of er niet gebruik kan worden gemaakt van het feit dat de dijk bij deze hoge belastingen niet is bezweken.

De normen zijn sinds 2017 veranderd, waarbij is overgestapt van een overschrijdingskans naar overstromingskansbenadering. Deze overstap sluit goed aan op het toepassen van faalkansanalyses (zie paragraaf 2.2).

Wat is actuele sterkte:

Actuele sterkte is het combineren van mogelijke optimalisaties met het doel de werkelijke sterkte voor het faalmechanisme macrostabiliteit zo dicht mogelijk te benaderen. Hiervoor wordt het stappenplan gebruikt zoals in paragraaf 2.2 is weergegeven. Bij optimalisaties kan gedacht worden aan o.a. nadere detaillering van de schematisering, het uitvoeren van faalkansanalyses of het toepassen van faalkansupdatering of bewezen sterkte.

Wat is bewezen sterkte:

Bewezen sterkte is de aanscherping van het veiligheidsbeeld door rekening te houden met in het verleden overleefde belastingcondities. Dit kan worden gezien als een proefbelasting die de dijk heeft doorstaan. Bewezen sterkte of faalkans updatng is onderdeel van actuele sterkte. Bij bewezen sterkte wordt de berekende faalkans wordt gecorrigeerd op grond van voorkennis omtrent het gedrag van de dijk bij in het verleden aantoonbaar opgetreden hoge waterstanden of andere belasting(effecten).

In het Technisch Rapport Actuele Sterkte van dijken [ENW 2009] was een Bewezen Sterkte Methode al als een geavanceerde toetsmethode beschreven. Deze methode is enkele keren met succes toegepast (zie ook paragraaf 3.5). De methode is aangepast en sluit nu beter aan bij het WBI2017 en OI2014.

Toelichting Actuele Sterkte

Met Actuele Sterkte technieken kan in combinatie met gerichte monitoring (waaronder aanvullend terrein- en labonderzoek en monitoring van de waterspanningen), de actuele of

werkelijke sterkte van dijken beter worden bepaald. De sterkte ofwel macrostabiliteit van deze dijken kan hiermee worden opgewaardeerd met het gevolg dat voor delen van de onvoldoende beoordeelde dijkvakken wellicht versterking kan worden voorkomen of dat de versterkingsmaatregel kan worden geoptimaliseerd.

De in dit rapport toegepaste Actuele Sterkte methode en concepten zijn bedoeld voor stabiliteitsbeoordeling en het ontwerp van dijken, inclusief probabilistische faalkansanalyse en faalkans updating. De betreffende analyses zijn gebaseerd op de concepten beschreven in de “Handreiking Faalkansanalyse Macrostabiliteit” [Schweckendiek et al. (2017)] en “Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating” [Kanning & Schweckendiek, (2017)]. In onderstaande kaders is een korte samenvatting gegeven van beide handreikingen.

Handreiking Faalkansanalyse Macrostabiliteit” [Schweckendiek et al. (2017)]:

Deze handreiking bevat theoretische achtergronden en praktische aanbevelingen voor (probabilistische) faalkansanalyses voor het faalmechanisme macro-instabiliteit bij dijken. De handreiking omvat de volgende elementen: een overzicht van faalkansanalyse en principes, veiligheidsfilosofie, en vervolgens de verschillende stappen van faalkansanalyse, met focus op het schematiseren van de onzekerheden in termen van kansen en handvatten voor het uitvoeren en controleren van faalkansanalyses. Hierbij ligt de focus op de benadering met fragility curves. Uiteindelijk illustreert een praktisch voorbeeld alle te doorlopen stappen. Deze versie betreft een ‘groene versie’ welke in de loop der tijd zal worden uitgebreid met ervaringen vanuit casestudies en praktijktoepassingen.

Faalkansanalyse en Faalkans Updating” [Kanning & Schweckendiek, (2017)]:

Deze groene versie heeft als doel de gebruiker te ondersteunen in het maken van (probabilistische) faalkansanalyses en Faalkans Updating(FU) analyses voor geotechnische faalmechanismen van dijken. De handreiking bevat informatie, theoretische achtergronden en praktische aanbevelingen voor het uitvoeren van

(probabilistische) faalkansanalyses voor macrostabiliteit binnenwaarts van dijken, en voor het bijstellen van de faalkansen door middel van faalkans updating (in het Engels: reliability updating) op basis van overleefde belastingcondities.

De handreiking omvat de volgende elementen: een overzicht van faalkansanalyse en faalkansupdating, faalkansupdating principes, veiligheidsfilosofie, en vervolgens de verschillende stappen van faalkansanalyse en faalkansupdating zoals in paragraaf 2.2 zijn weergegeven:

- *Stap 0: inschatting kansrijkheid*
- *Stap 1: semi-probabilistische analyse*
- *Stap 2: faalkans analyse*
- *Stap 3: faalkans updating*

Deze versie betreft een tussenversie welke in de loop der tijd zal worden uitgebreid met ervaringen vanuit case studies en praktijktoepassingen. Daarnaast wordt een uitbreiding naar meer faalmechanismen en andere typen observaties beoogd.

In de volgende paragrafen geven we een beknopt overzicht van de analysestappen, de essentie van de methodes en enkele aandachtspunten bij toepassing op macrostabiliteit.

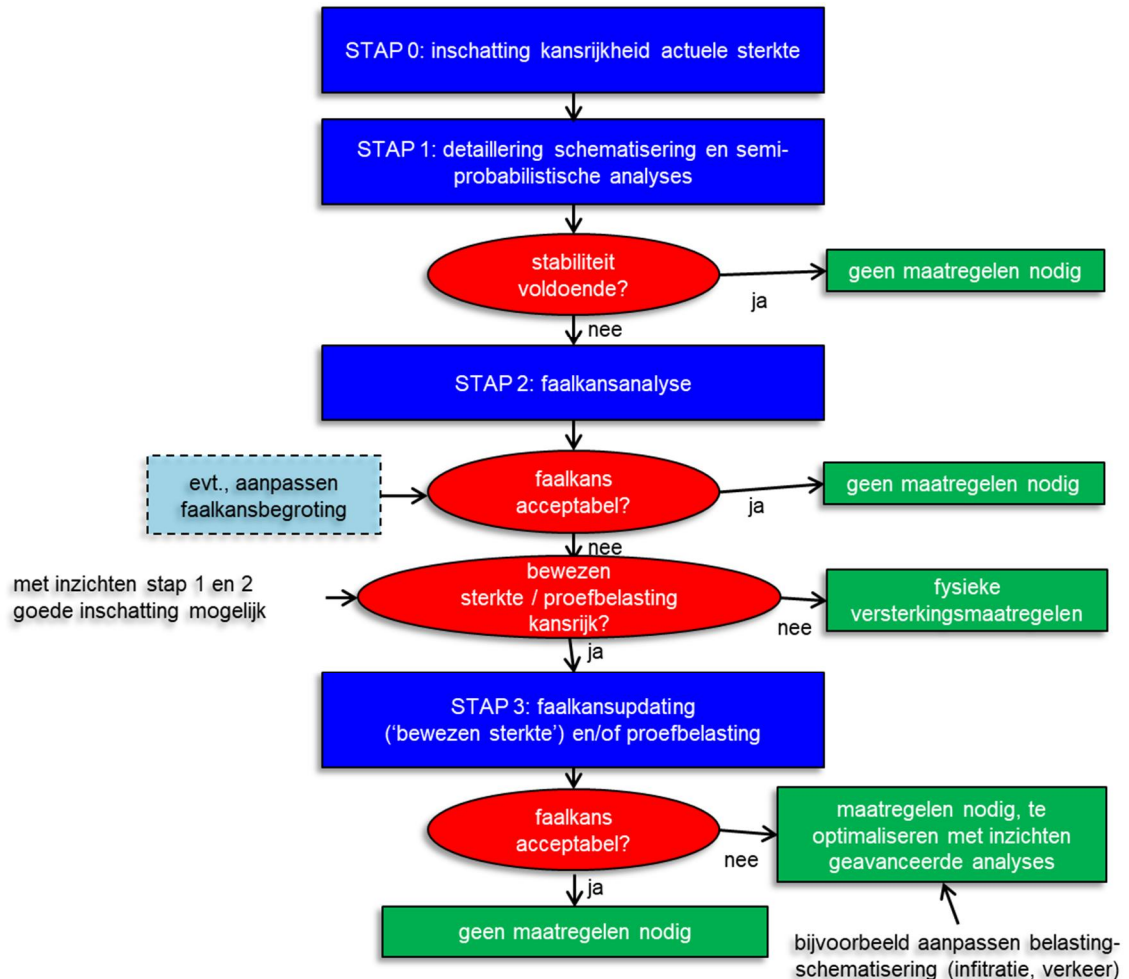
2.2 Stappen in een Actuele Sterkte analyse

Figuur 2.1 geeft in essentie het stappenplan voor de Actuele Sterkte aanpak weer, waarbij gewerkt wordt van grof naar fijn.

Het begint met het inschatten van de kansrijkheid van Actuele Sterkte (AS Stap 0). Dit op basis van het analyseren van beschikbaar grondonderzoek en reeds uitgevoerde macrostabiliteit analyses.

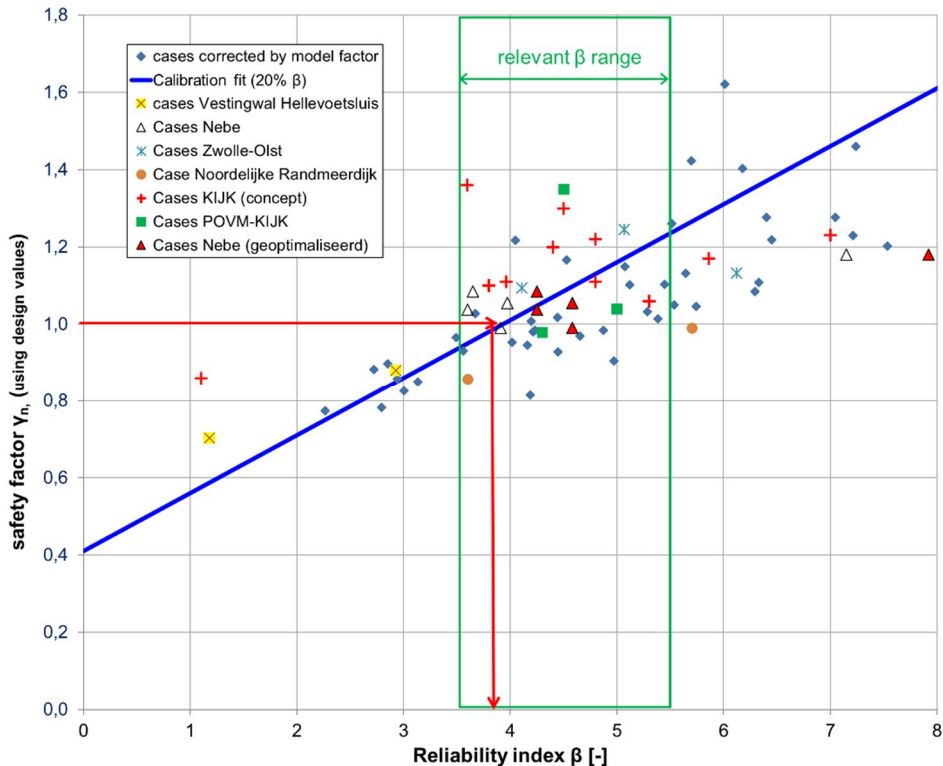
Als de kansrijkheid positief wordt ingeschat, kan worden vervolgd met het aanscherpen van de gewone semi-probabilistische analyses (op basis van rekenwaarden en veiligheidsfactoren) door schematiseren op maat en eventueel aanscherpen o.b.v. aanvullend terreinonderzoek en/of monitoring gegevens (AS stap 1). Vervolgens wordt de stap gemaakt naar probabilistische faalkansanalyses, waarbij rekenwaarden van parameters worden vervangen door kansverdelingen (AS stap 2).

Tenslotte, indien nodig, wordt de berekende faalkans bijgesteld door middel van het in rekening brengen van overleefde belastingcondities ('bewezen sterkte', AS stap 3).



Figuur 2.1 Hoofdstappen in faalkansanalyse en updating [Kanning & Schweckendiek, (2017)]

Vaak wordt al een aanzienlijk gunstigere beoordeling verkregen in AS stap 2. Dat is in de lijn der verwachting. De vereiste partiële stabiliteitsfactoren zijn immers conservatief bepaald om een minimale betrouwbaarheid (of een maximale faalkans) te 'garanderen'. Figuur 2.2 geeft weer hoe voor WBI2017 de schadefactoren (vereiste stabiliteitsfactoren) zijn afgeleid [Kanning et al. (2017)]. Ongeveer 80% van de ten behoeve van de kalibratie gebruikte cases in de grafiek ligt onder de kalibratielij, wat betekent dat de inschatting van de faalkans met de semi-probabilistische methode hoger is dan met de probabilistische methode.



Figuur 2.2 Voorlopige kalibratie semi-probabilistische eis macrostabiliteit WBI2017 en OI v4 ($\gamma = 0.15 \beta + 0.41$), en resultaten van in dit rapport gegeven cases

2.3 Concept

Faalkansanalyse en faalkansupdating zoals beschreven in Figuur 2.1 betreft in alle stappen een aanscherping van het veiligheidsbeeld. Merk hierbij op dat dit niet hoeft te betekenen dat de berekende faalkans in alle gevallen lager wordt. Deze wordt echter wel realistischer en nauwkeuriger bepaald.

In stap 0 (inschatting kansrijkheid actuele sterkte) wordt het beschikbare grondonderzoek geanalyseerd bestaande uit terrein- en laboratoriumonderzoek alsmede monitoringsgegevens van waterspanningen teneinde vast te stellen of hier optimalisatie in kan worden bereikt door aanvullend onderzoek.

Voor de in dit rapport gepresenteerde voorbeelden (zie hoofdstuk 3) is bovengenoemde gedaan door het uitvoeren van zogenaamde expertsessies. Hierbij kunnen experts van het Waterschap en het eventueel betrokken ingenieursbureau met kennis en (gebieds)ervaring van het eerder uitgevoerde onderzoek alsmede experts met kennis en ervaring van de actuele sterktemethode op basis van expert judgement gezamenlijk een inschatting maken.

In AS stap 1 (detaillering schematisering en semi-probabilistische analyses) worden conservatieve aannames waar mogelijk onderbouwd losgelaten of vervangen door scherpere uitgangspunten, bijvoorbeeld door toevoegen van nieuw laboratorium of terreinonderzoek of door gedetailleerdere modellering van de fysica.

In AS stap 2 (faalkansanalyse) worden karakteristieke en rekenwaarden vervangen door kansverdelingen van bijvoorbeeld grondparameters. Het conservatisme dat inherent is aan een

semi-probabilistische aanpak zoals hierboven beschreven in paragraaf 2.1 wordt in deze stap vermeden.

In AS stap 3 (faalkans updating of 'bewezen sterkte') komt de aanscherping van het veiligheidsbeeld door rekening te houden met in het verleden overleefde belastingcondities, waardoor we leren dat bepaalde combinaties van parameters niet voor kunnen komen. Dit kan worden gezien als een proefbelasting die de dijk heeft doorstaan. In deze gepresenteerde methode is dit alleen van toepassing in een probabilistische context, waarin onzekerheid in sterkte en belasting (buitenwaterstand) expliciet wordt gemodelleerd door middel van kansverdelingen.

De onzekerheid in sterkteparameters wordt in veel gevallen met name bepaald door kennisonzekerheden; de onzekerheid reflecteert ons gebrek aan kennis van de ware sterkte. Deze sterkte zal doorgaans niet in de tijd fluctueren. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de maximale buitenwaterstand in een jaar (inherente onzekerheid) welke van jaar tot jaar anders zal zijn. Kennisonzekerheden zijn dus te reduceren door extra kennis. Doordat een dijk een bepaalde situatie heeft overleefd, kan worden uitgesloten dat bepaalde sterkte parameters of parametercombinaties lager zijn geweest dan een bepaalde waarde. Voor meer informatie betreffende deze AS stap 3 wordt verwezen naar [Kanning & Schweckendiek (2017)]. Opgemerkt wordt dat dit naast een historisch overleefde belastingsituatie ook kan bestaan uit het opleggen van een proefbelasting.

2.4 Toepassing actuele sterke voor macrostabiliteit

2.4.1 Aandachtspunten en voorwaarden voor toepassing AS voor macrostabiliteit

De faalkansanalyse en faalkans updating is primair ontwikkeld voor macrostabiliteit binnenwaarts (STBI). Hiervoor gelden enkele voorwaarden en aandachtspunten.

Voor de faalkansanalyse (AS stap 2) geldt dat zowel de sterkte- en belastingparameters als stochastische variabelen gemodelleerd dienen te worden (d.w.z. met kansverdelingen). Als de faalkans wordt bepaald door middel van 'fragility curves', dienen de waterspanningen per beschouwde buitenwaterstand te worden bepaald. De berekende faalkans dient lager te zijn dan de faalkanseis voor macrostabiliteit binnenwaarts. Er kan in de faalkanseis worden geoptimaliseerd door faalkansruimte uit te wisselen tussen verschillende mechanismen. Zo kan een minder strenge eis voor macrostabiliteit worden gebruikt ten koste van een strengere eis voor bijv. piping of hoogte. Bij het uitwisselen van faalkansbudget dient wel zorgvuldig om te worden gegaan met het lengte-effect. Dit kan bijv. worden ondervangen door het faalkansbudget voor het gehele dijktraject aan te passen.

Voor faalkans updating (AS stap 3) moeten twee extra analyses worden uitgevoerd. Ten eerste dient de geobserveerde (overleefde) situatie te worden gemodelleerd. Ten tweede wordt de faalkans bijgesteld op basis van de gemodelleerde toetsituatie en de observatie. De faalkans updating methode 'fragility curves' is op dit moment alleen geschikt voor de beoordeling van een bestaande situatie of bij beperkte aanpassingen van de dijk.

Na toepassing van faalkans updating dient de a-posteriori kans kleiner te zijn dan de faalkanseis (eventueel met inbegrip van uitwisseling van faalkansruimte). Mocht dit niet het geval zijn, dan dient de dijk in principe versterkt te worden.

2.4.2 Aandachtspunten en voorwaarden voor toepassing AS voor macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)

De AS methode kan ook worden toegepast voor macrostabiliteit buitenwaarts (STBU). Hiervoor gelden enkele voorwaarden en aandachtspunten.

Ten eerste dient te worden opgemerkt dat STBU als indirect faalmechanisme wordt beschouwd. Dit betekent dat wordt verondersteld dat als gevolg van het optreden van STBU niet direct overstroming kan/zal plaatsvinden.

Op basis hiervan wordt in het WBI2017 standaard aangenomen dat de toelaatbare kans op instabiliteit van het buitentalud een factor 10 groter is dan bij STBI. In veel gevallen blijkt dit een conservatieve aanname en die mogelijk kan worden geoptimaliseerd. Hierbij kan bijv. gebruik wordt gemaakt van de door het Kennisplatform Risicobenadering (KPR) opgestelde Factsheet [KPR 2018] en discussiestuk [KPR 2019-1].

Aangezien er de nodige onzekerheden zijn voor wat betreft het rekenen aan STBU is eind 2019 in opdracht van de POVM door Deltares gestart met een onderzoek waarin een aantal aspecten met betrekking tot STBU (waaronder faalkansanalyses) worden uitgewerkt. Het beoogde resultaat is een handreiking hoe om te gaan met bepaald aspecten met betrekking tot STBU in de Actuele Sterkte (AS) aanpak generiek voor alle watersystemen. Waarbij onderscheid wordt gemaakt in de AS-stappen 1, 2 en 3. Verwachting is dat door nader onderzoek van deze aspecten veel optimalisatie is te bereiken, waardoor STBU realistischer kan worden beoordeeld en er realistische ontwerpen voor STBU kunnen worden gemaakt.

2.4.3 Aandachtspunten voor toepassing AS bij regionale keringen

De AS methode kan ook worden toegepast bij regionale keringen. Hiervoor gelden enkele voorwaarden en aandachtspunten.

Aangezien regionale keringen permanent door water belast worden is de verwachting dat Bewezen Sterkte (stap 3) tot een grote aanscherping van het toetsoordeel kan leiden. Uit enkele praktijktoepassingen blijkt dat dit niet altijd het geval is. Dit is onderzocht voor de casussen binnen het beheersgebied van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) en Waterschap Rivierenland (WSRL). Conclusie is vooral dat de macrostabiliteit wordt gedomineerd door de aanwezigheid van verkeersbelasting in de toetssituatie en/of het gebrek aan monitoring van de waterspanningen (freatisch vlak). Overigens is de gedachte dat toepassing van proefbelastingen (verkeer en/of infiltratie) en gerichte monitoring hiervoor een oplossing kan bieden (zie paragraaf 2.4.5).

Faalkansanalyses op zich (stap 2) zullen naar verwachting een minder conservatief resultaat opleveren. Hiervoor dient het veiligheidsformat echter nader te worden beschouwd, bijvoorbeeld de relatie tussen betrouwbaarheidseis en stabiliteitsfactor.

2.4.4 Aandachtspunten voor toepassing AS bij ontwerp van een dijkversterking

Als met de AS aanpak de benodigde faalkans kleiner is dan de berekende kans met faalkansanalyses tevens een ontwerp van de dijkversterking (in grond) worden bepaald.

Zoals eerder aangegeven kan faalkans updating (ofwel Bewezen Sterkte) nog niet worden toegepast ter bepaling van een dijkversterkingsontwerp. Wel kunnen inzichten door het uitvoeren van faalkansanalyses of faalkans updating analyses helpen bij het ontwerpen van maatregelen. Zo kan het bijvoorbeeld het geval zijn dat door faalkans updating de kans op diepe glijvlakken aanvaardbaar klein is. Als de kans op ondiepe glijvlakken nog niet acceptabel is, kan een versterkingsmaatregel zich richten op het uitsluiten van ondiepe glijvlakken. Dit is mogelijk een minder ingrijpende maatregel dan het uitsluiten van diepe glijvlakken.

Inmiddels is probabilistisch ontwerpen al bij enkele HWBP projecten toegepast, zij het (nog) in verkennende context (zie hoofdstuk 4). Ten behoeve van een workshop over probabilistisch rekenen en ontwerpen bij WSRL is over voor- en nadelen nagedacht. Dit betreft hoofdzakelijk de technische invalshoek. Desalniettemin zijn diverse aspecten met betrekking tot probabilistisch ontwerpen en de voor en nadelen beschreven in een notitie die in bijlage E is weergegeven.

Uit het memo volgt enerzijds het beeld dat probabilistisch toetsen en ontwerpen altijd gedaan zou moeten worden omdat het een realistischer beeld geeft van de werkelijkheid, gemiddeld minder conservatief is en niet moeilijker dan semi-probabilistisch is. Dit is de overheersende mening. Anderzijds is er het beeld dat we vaak erg veel moeite hebben om goede semi-probabilistische analyses uit te voeren (met alle recente aanpassingen in het WBI en OI), gekoppeld aan de vraag of we, zolang we de mechanica niet volledig snappen, al dan wel de stap naar probabilistisch moeten en kunnen gaan zetten. Zou er niet eerst een 'tool' moeten komen waarbij iedereen eenduidig probabilistisch een beoordeling kan uitvoeren en pas daarna de stap naar ontwerpen zetten? Hoewel dit een valide argument is, spreekt hier ook uit dat de stap richting meer en verdergaande integratie van probabilistische rekentechnieken feitelijk wordt onderschreven. Het gaat over het tempo waarin dit gebeurt en welke hindernissen onderweg moeten worden overwonnen voor het zo ver is.

Visie is dat probabilistische ontwerpen de toekomst heeft. De WBI beoordeling wordt op termijn probabilistisch (standaard) en probabilistisch ontwerpen sluit daar goed op aan.

Met probabilistisch ontwerpen wordt het ontwerp beter en de verwachting is dat in 80% van de gevallen het ontwerp minder conservatief wordt met minder of kleinere versterkingsopgave. Uiteraard zal probabilistisch ontwerpen in het begin onwennig zijn en meer tijd kosten, maar verwacht wordt dat het op den duur net zo snel gaat als semi-probabilistisch ontwerpen.

Er is de vrees is dat door probabilistisch te gaan ontwerpen de dijkversterking minder robuust wordt. Die robuustheid zou dan vooral zitten in verborgen veiligheid in de huidige ontwerpmethodologie waarbij gebruik wordt gemaakt van de kalibratielijn. Echter, in 20% van de gevallen dat niet een minder conservatief ontwerp kan worden gemaakt, wordt met een probabilistisch ontwerp wel aan de norm voldaan. Dus gesteld kan worden dat lokaal wat wordt ingeleverd op veiligheid (minder conservatief), maar dat dit ook in feite een te hoge investering is. Op andere locaties is een zwaarder ontwerp nodig, maar is daar in dat geval ook nodig. Uiteindelijk wordt de dijk derhalve juist versterkt waar dit nodig is, zodat een doelmatigere besteding plaatsvindt; er wordt op de juiste locaties versterkt.

Voor de voor- en nadelen van probabilistisch rekenen en overige aandachtspunten wordt verwezen naar het memo in bijlage E.

2.4.5 Proefbelastingen

In paragraaf 2.4.1 is aangegeven dat de berekende faalkans van de toets situatie nauwkeuriger kan worden bepaald door het beschouwen van een zonder problemen overleefde observatie. Een dergelijke situatie (vanuit het verleden) is niet altijd voorhanden. Er kan echter ook een proefbelasting worden ontworpen en toegepast waarmee de faalkans kan worden bijgesteld, zodanig dat na het zonder problemen overleven van de dijk als gevolg van deze belasting, kan worden goedgekeurd.

Door het uitvoeren van faalkansanalyses voor de toets situatie wordt inzicht verkregen in de dominante onzekerheden en waar eventuele ruimte zit voor optimalisatie. Zo kan ook inzicht worden verkregen in dominante belastingen of belastingeffecten zoals bijvoorbeeld het effect

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief

van infiltratie bij overslag of de invloed van verkeersbelasting. Door het uitvoeren van een proefbelasting kan enerzijds de onzekerheid van deze belasting(effecten) worden verkleind. Anderzijds kan een proefbelasting zodanig worden ontworpen dat na het toepassen en zonder schade overleven, kan worden geconcludeerd dat de hierdoor bijgestelde faalkans voldoet aan de gestelde eis (zie ook paragraaf 2.2).

Uiteraard dient de dijkbeheerder vooraf voldoende vertrouwen te hebben dat bij het aanbrengen van de proefbelasting (al dan niet stapsgewijs) de risico's beperkt blijven.

Het type proefbelasting, de grootte en de tijdsduur hiervan is sterkte afhankelijk van de situatie. Bij dijkversterking KIJK bleek vooral infiltratie bij golfoverslag dominant te zijn, waarbij sprake was van grote onzekerheid over de mate van infiltratie en verhoging van de waterspanning (freatisch vlak). Dit heeft geleid tot het daadwerkelijk uitvoeren van een proefbelasting bestaande uit het infiltreren van de dijk bij hoge overslagbedieten. Na slechts een geringe overslag trad schade op aan het talud door de lokale aanwezigheid van een zandlens onder de kleibekleding die voorafgaand aan de proef niet was geconstateerd.

Omdat achteraf bleek dat op deze locatie lokaal een zandinsluiting aanwezig was is een tweede infiltratieproef uitgevoerd (zie Figuur 2.3). Hieruit volgde dat het talud bij een relatief geringe hoeveelheid overslag (overslagvolume) verzadigde. Opgemerkt wordt dat de mate van verzadiging in twee afzonderlijke raaien (tussenafstand 10 m) is gemeten en door de heterogeniteit van de kleibekleding en de ondergrond ontstond een verschillend waterspanningsbeeld. Op basis van deze proefbelasting is waardevolle informatie verkregen over het waterspanningsbeeld bij infiltratie door golfoverslag.



Figuur 2.3 Infiltratieproef als proefbelasting op de Groenendijk te Nieuwerkerk aan den IJssel

Uit enkele uitgevoerde AS onderzoeken bij regionale keringen volgt dat de macrostabiliteit wordt gedomineerd door de aanwezigheid van verkeersbelasting in de toetssituatie. Toepassing van een proefbelasting bestaande uit een (verkeers)belasting op de kruin zou hiervoor waardevolle informatie kunnen opleveren waarmee mogelijk goedkeuring wordt bereikt.

3 Toepassingsvoorbeelden

3.1 Overzicht

In 2016 is de POVM gestart met het project 'Beter benutten Actuele Sterkte Macrostabiliteit'. Deze kennisinnovatie is als eerste toegepast binnen dijkversterking KIJK binnen het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard (HHSK). Deze dijkversterking was het referentieproject voor het onderzoeksspoor van Actuele Sterkte binnen de POVM. Dit met het doel de methode verder te ontwikkelen maar ook toe te passen als 'versterkingsalternatief'. In paragraaf 3.2 is de toepassing van de stappen 1, 2 en 3 binnen dijkversterking KIJK weergegeven.

Na afronding van bovengenoemd onderzoeksproject, met verkenning van de toepassing binnen dijkversterking KIJK, werd door HHSK besloten om Actuele Sterkte (met name stappen 1 en 2) uit te werken voor het gehele dijkversterkingsproject.

Op nagenoeg hetzelfde moment werd door het Waterschap Valei en Veluwe (WSVV), mede na een positieve uitslag van een expertsessie, besloten om de kansrijkheid van AS nader te verkennen voor de Noordelijke Randmeerdijk. De resultaten zijn in paragraaf 3.3 weergegeven. Na uitvoering van deze verkenning zijn diverse projecten gevolgd en op moment van schrijven van dit achtergrondrapport kunnen we constateren dat Actuele Sterkte (AS) al in vele projecten is toegepast. Een klein deel van deze projecten is beschreven in dit hoofdstuk. Het AS onderzoek dat voor het Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD) is uitgevoerd voor het HWBP project Zwolle - Olst is in paragraaf 3.4 beschreven.

AS is veelal binnen de verkenningsfase van de HWBP projecten toegepast waarbij op de stappen 1 en 2 is gefocust.

In 2018 heeft het Waterschap Hollandse Delta (WSHD) besloten om AS (vooral stap 3: Bewezen Sterkte ofwel Faalkans Updating) uit te laten werken voor de Vestingwallen te Hellevoetsluis. Dit als verkenning in aanloop naar de formele beoordeling van dit deel van normtraject 20-4. De resultaten zijn in paragraaf 3.5 weergegeven.

Daarnaast zijn binnen het meerjarig ontwikkelspoor van Rijkswaterstaat WVL diverse onderzoeksprojecten rondom de toepassing van faalkans updating analyses uitgevoerd. Dit in opdracht van Rijkswaterstaat, STOWA en Waterschappen.

In onderstaande tabel is een overzicht (niet uitputtend) gegeven van de projecten waarbij de Actuele Sterktemethodiek is toegepast.

Tabel 3.1 Overzicht van projecten waarin AS is toegepast

Project	Oprachtgever	Type project	Omschrijving AS werkzaamheden 3)
Beter benutten Actuele Sterkte (referentieproject dijkversterking KIJK (HHSK) 1)	POVM	POVM onderzoeksproject	Onderzoek, ontwikkeling methode stappen 1 t/m 3 aan de hand van referentieproject KIJK in de Krimpenerwaard
Dijkversterking KIJK (HHSK) 1)	HHSK	HBWP dijkversterkingsproject	Verdere verkenning en implementatie (stap 1 en 2) in 10 dijkvakken
Dijkversterking Noordelijke Randmeerdijk bij Elburg (WSVV)	WSVV	HBWP dijkversterkingsproject	Verkenning AS in 3 dijkvakken/ dwarsprofielen (stap 1 en 2)
Dijkversterking Zwolle - Olst (WDOD)	WDOD	HBWP dijkversterkingsproject	Verkenning AS in 2 dijkvakken/ dwarsprofielen (stap 1 en 2)
Verkenning Bewezen sterkte Vestingwallen Hellevoetsluis (WSHD)	WSHD	Beoordeling primaire waterkering	Verkenning AS in 3 dijkvakken/ dwarsprofielen (stap 1, 2 en 3)
Sterke Lekdijken 2): deeltraject Wijk bij Duurstede - Amerongen (WAM)	HDSR	HBWP dijkversterkingsproject	Verkenning AS in 3 dijkvakken/ dwarsprofielen (stap 1 en 2)
3 cases in N-H (Markermeerdijk)	HHNK	Toetsing Regionale keringen	Onderzoek ontwikkeling bewezen sterke methode (stap 2 en 3) in 3 cases
3 cases regionale keringen binnen WSRL en HHNK	STOWA	Toetsing Regionale keringen	Onderzoek ontwikkeling bewezen sterke methode (stap 2 en 3) in 3 cases
Dijkversterking Tiel - Waardenburg (TIWA)	WSRL	HBWP dijkversterkingsproject	Verkenning AS in enkele dijkvakken/ dwarsprofielen (stap 1 en 2)
Dijkversterking Gorkum - Waardenburg GOWA	WSRL	HBWP dijkversterkingsproject	Verkenning AS in enkele dijkvakken/ dwarsprofielen (stap 1 en 2)
Dijkversterking Streefkerk - Ameide Fort Everdingen (SAFE)	WSRL	HBWP dijkversterkingsproject	Verkenning AS in enkele dijkvakken/dwarsprofielen (stap 1 en 2) en verkenning prob. ontwerpen
Dijkversterking Neder-Betuwe (NeBe)	WSRL	HBWP dijkversterkingsproject	Verkenning AS in 5 dijkvakken/dwarsprofielen (stap 1 en 2) en verkenning prob. ontwerpen
1) KIJK: Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard 2) Dijkversterking Sterke Lekdijken betreft het traject van Schoonhoven tot Amerongen 3) Stap 1 = detaillering Schematisering en semi-probabilistische analyses; Stap 2 = faalkansanalyse; Stap 3 = faalkansupdate (bewezen sterkte (BS) en/of proefbelasting)			

3.2 HHSK: KIJK (Krachtige IJsseldijk Krimpenerwaard)

3.2.1 Aanleiding toepassen AS

Het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard (HHSK) is in 2015 gestart met de Verkenningfase van het dijkversterkingsproject KIJK, de dijk langs de Hollandse IJssel in de Krimpenerwaard (Normtraject 15-3).

In 2015 werd ook gestart met het POVM onderzoek 'Beter benutten actuele sterkte'. Naar aanleiding van een overleg tussen HHSK en leden van het kernteam van de POVM is geconcludeerd dat AS kansrijk zou kunnen zijn voor toepassing bij dit dijktraject om de dijkversterkingsscope te verkleinen voor wat betreft macrostabiliteit van het binnentalud.

Het POVM onderzoek werd gekoppeld aan het referentieproject KIJK. Doel van het POVM-onderzoek was om het veiligheidsoordeel voor macrostabiliteit aan te scherpen door zowel gericht grondonderzoek en monitoring (stap 1), geavanceerde rekentechnieken zoals faalkansanalyses (stap 2) en faalkans update ofwel 'bewezen sterkte' (stap 3).

In dit eerste POVM onderzoek is AS gedemonstreerd aan de hand van een drietal cases, merendeels gelegen binnen het referentie-dijkversterkingsproject KIJK.

Na afloop van dit onderzoek is (gezien het succes van dit POVM onderzoek) door HHSK nader onderzoek uitgevoerd in 9 cases teneinde een uitspraak te kunnen doen voor het gehele dijkversterkingsproject.

3.2.2 Het project

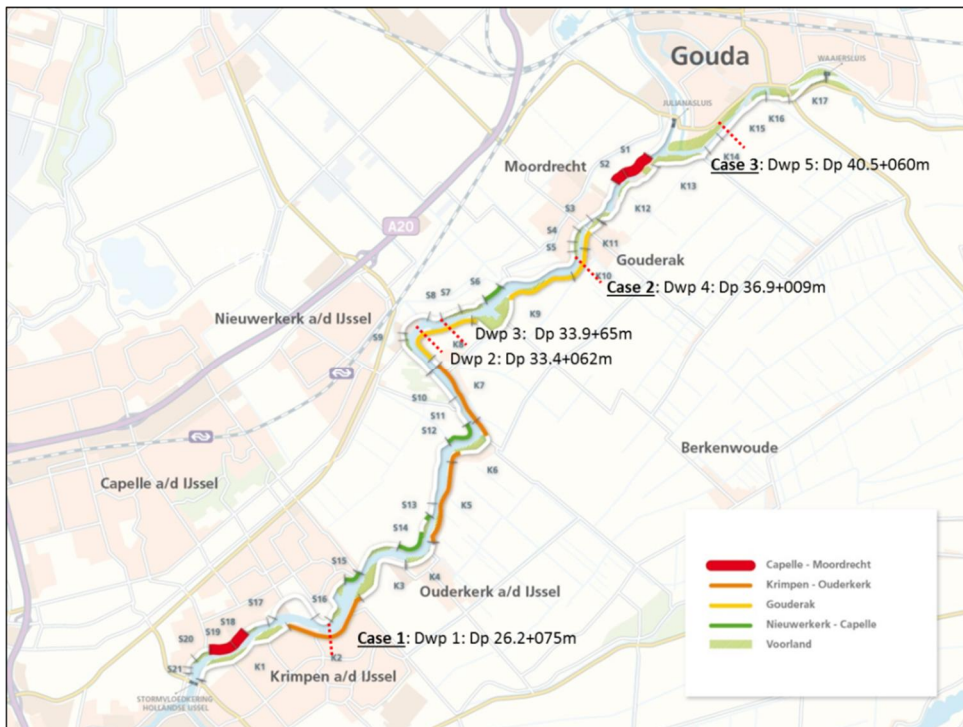
In Figuur 3.1 is het beschouwde normtraject weergegeven.

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief



Figuur 3.1 Dijkversterking KIKJ (langs de IJssel in de Krimpenerwaard, Normtraject 15-3 (bron www.waterveiligheidsportaal.nl))

In het verleden zijn deze dijken door Deltares (voorheen GeoDelft) onderzocht in opdracht van het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard (HHSK) en het Hoogheemraadschap van Rijnland (HHR). In totaal betreft de veiligheidsopgave 10,5 km waterkering die is afgekeurd op stabiliteit en hoogte. De in Figuur 3.2 weergegeven projecten langs de Hollandse IJssel zijn in het HWBP opgenomen en geprioriteerd en behoren tot het beheergebied van HHSK en HHR. Bij hoogwater wordt het achterland beschermd door de Stormvloedkering aan de monding van de Hollandse IJssel en door de achterliggende dijken. Ook als de Stormvloedkering is gesloten moeten de dijken hoge waterstanden kunnen keren, omdat er dan veel water vanuit de diepe polders op de Hollandse IJssel wordt uitgemalen.



Figuur 3.2 Scope dijkversterking K1JK (oranje en gele deeltrajecten) en 3 cases van het actuele sterkte onderzoek (bron: HHSK)

POVM project 'Beter benutten actuele Sterkte'

Voor de drie cases, allen afgekeurd in de derde toetsronde, zijn de drie actuele sterkte stappen doorlopen. De werkzaamheden zijn uitgevoerd door een projectteam bestaande uit Fugro, RoyalHaskoningDHV en Deltares, waarvan elk bedrijf één case voor zijn rekening nam, onder leiding van en inhoudelijk begeleid door specialisten van Deltares.

In stap 1 zijn de conventionele semi-probabilistische analyses aangescherpt door detaillering van de schematisering, mede op basis van een uitgebreid grondonderzoek en monitoring.

In stap 2 is de stap gemaakt naar een probabilistische faalkansanalyse welke een gunstiger veiligheidsbeeld opleverde dan een semi-probabilistische analyse

In stap 3 wordt informatie van overleefde belastingcondities toegevoegd middels faalkans updating ('bewezen sterkte'), wat in geval van significante observaties van dominante belastingen tot verhoging van de betrouwbaarheid leidt.

HHSK Project

Na uitvoering van het POVM onderzoek is op basis van de resultaten van een kansenscan geconcludeerd dat het uitvoeren van een AS onderzoek voor het gehele versterkingsproject zinvol zou zijn en zijn voor 9 cases de AS stappen 1 en 2 uitgevoerd nadat de resultaten van specifiek hiervoor uitgevoerd grondonderzoek beschikbaar was gekomen. Naast traditionele oplossingen en AS is tevens de toepassing van een innovatieve maatregel zoals bijvoorbeeld dijkvernageling onderzocht.

3.2.3 Resultaten AS

POVM project 'Beter benutten actuele Sterkte'

In opdracht van de POVM en in nauwe samenwerking met HHSK zijn de stappen 1, 2 en 3 uitgevoerd.

In eerste instantie is specifiek ter plaats van de 3 cases uitgebreid grondonderzoek uitgevoerd en heeft uitgebreide monitoring plaatsgevonden. Het grondonderzoek bestond o.a. uit het uitvoeren van boringen en het steken van monsters, sonderingen, vanetests en het steken van grote diameter monsters. Met waterspanningsmeters en peilbuizen is de invloed van hoge waterstanden op de Hollandse IJssel en neerslag op de waterspanningen in en onder dijk bepaald. Het labonderzoek heeft zich vooral gericht op het bepalen van de ongedraineerde schuifsterkte van de ondergrond. Resultaat was dat naast het verkrijgen van de benodigde parameters voor het onderzoek, de onzekerheden in ondergrondopbouw en parameters kon worden verkleind en daarmee is aangetoond dat t.o.v. een conventioneel grondonderzoek winst (hogere stabiliteitsfactor voor STBI) kon worden geboekt.

Vervolgens zijn de AS stappen 1 t/m 3 uitgevoerd. De cases zijn door 3 rekenteams uitgewerkt nl. Fugro, RoyalHaskoningDHV en Deltares.

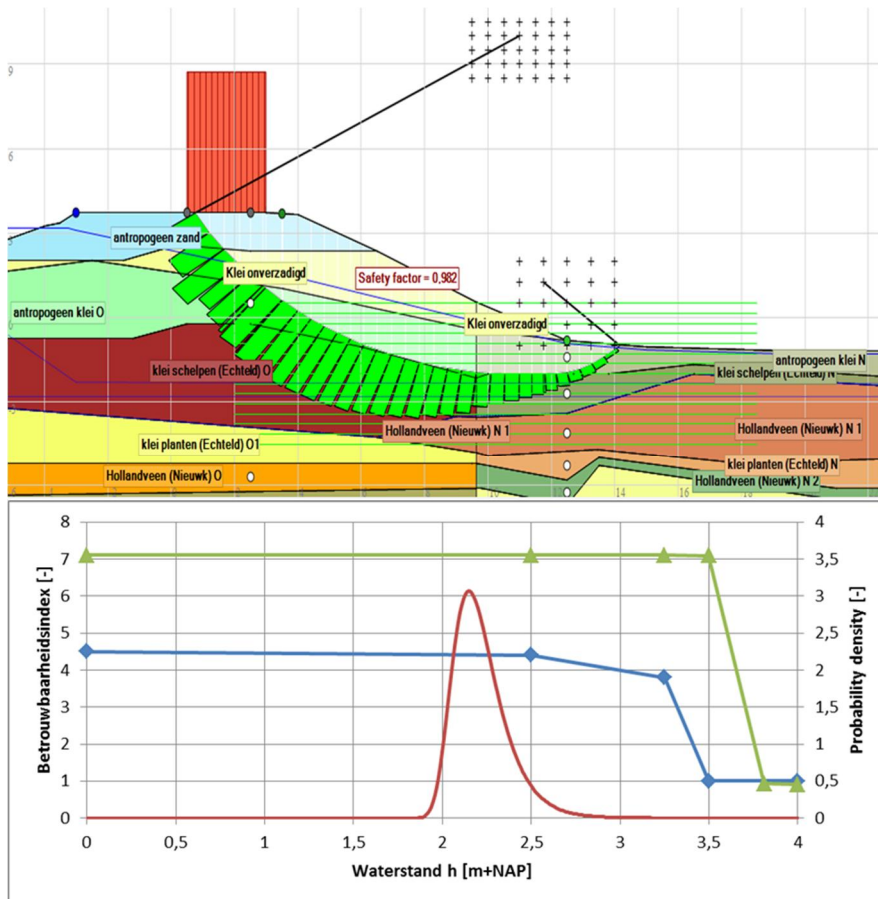
Het overzicht van de belangrijkste resultaten in Tabel 3.2 leidt tot de volgende observaties:

1. Alle doorsnedes voldoen duidelijk niet aan de veiligheidseisen in de semi-probabilistische analyse (stap 1, vergelijkbaar met een conventionele toets hoewel hier aanzienlijk meer grondonderzoek is uitgevoerd dan gebruikelijk is).
2. De probabilistische faalkansanalyse (stap 2) geeft voor alle drie beschouwde gevallen een duidelijk gunstiger beeld ten aanzien van de veiligheid. De veiligheid of faalkans wordt sterk beïnvloed door het effect van verzadiging van het dijklichaam door overslag en infiltratie. Twee van de doorsnedes voldoen aan de eis, de derde niet.
3. Faalkans updating op basis van overleefde condities (stap 3) heeft weinig tot geen effect voor deze doorsnedes. Zoals in de gedetailleerde discussie van de case resultaten beschreven is, komt dit door (a) de al hoge a-priori faalkans in stap 2 en (b) de bepalende invloed van infiltratie en verzadiging door overslag, waarvan de observatie relatief onzeker is. Er zijn namelijk geen metingen van de waterspanningen in de dijk tijdens de observatie beschikbaar.

Tabel 3.2 Overzicht belangrijkste resultaten per doorsnede (* stabiliteitsfactoren met volledige verzadiging door infiltratie bij overslag; ** betrouwbaarheidsindices zonder meenemen van verzadiging door infiltratie, ***range is afhankelijk van aannames t.a.v. overslag en infiltratie tijdens de observatie) (groen =voldoende; oranje = voldoet net niet; rood = onvoldoende)

	Eis	Dp 26.2+75m (case 1)	Dp36.9+51m (case 2)	Dp 40.5+50m (case 3)
Stap 1: Semi-probabilistisch	SF = 1.19	0.98	1.04	1.35
	SF = 1.08*	0.88	0.85	0.71
Stap 2: Faalkansanalyse	$\beta =$ 4.4	4.3 (4.6)**	5.0 (8.0)**	4.5 (8.7)**
Stap 3: Faalkans updating	$\beta =$ 4.4	4.3 á 4.5***	5.0	4.5

Ter illustratie is het kritieke glijvlak en de fragility curve van profiel Dp 26.2+75m in onderstaande figuren weergegeven.



Figuur 3.3 Kritieke glijvlak (boven) en de fragility curve (onder) voor profiel Dp26.2+75m (blauwe lijn betreft de toestand in 2035, de groene lijn betreft observatiecondities van 1953 en de rode lijn is de kansverdeling van de waterstand in 2035)

HHSK Project:

In opdracht van HHSK zijn door de combinatie IB-KIJK en in samenwerking met Deltares zijn de stappen 1 en 2 uitgevoerd.

Het overzicht van de belangrijkste resultaten in Tabel 3.3 leidt tot de volgende observaties:

1. Eén doorsnede kon met een semi-probabilistische analyse worden goedgekeurd. Voor 6 cases wordt verwacht dat door aanvullend onderzoek mogelijk tot goedkeuren kan worden gekomen.
2. De faalkansanalyse (stap 2) verkleint de afstand tot de norm en geeft voor 4 van 9 beschouwde cases waarschijnlijk goedkeuring. De veiligheid of faalkans wordt sterk beïnvloed door het effect van verzadiging van het dijklichaam door overslag en infiltratie. Voor 4 cases wordt verwacht dat door aanvullend onderzoek mogelijk tot goedkeuren kan worden gekomen.
3. De invloed van verkeersbelasting is groot (zelfs groter dan een hoge buitenwaterstand).

Tabel 3.3 Overzicht belangrijkste resultaten per dijkvak (bron HHSK)

Dijkvak			lengte [m]	semi-prob. WBN	prob.	
1	a	met voorland	500			
	b	zonder voorland	800			
2			200			
3			700			
4	a	met voorland	720			
	b	zonder voorland	680			
5			1300			
6			1400			
7			800			
8	a	van hm 36,3 - 36,55	250			
	b	van hm 36,55 - 36,70	150	niet beschouwd	niet beschouwd	
9			800			
				Goed	680 (8%)	3.150 (38%)
				Mogelijk	3.850 (46%)	2.800 (34%)
				Onvoldoende	3.620 (44%)	2.200 (27%)
				Geen oordeel	150 (2%)	150 (2%)

3.2.4 Conclusies en aanbevelingen

Voor het POVM onderzoek zijn alle AS stappen doorlopen ten behoeve van het mogelijk verkleinen van de versterkingsscope voor STBI. Nader optimalisatie van de schematisatie door het uitvoeren van specifiek grondonderzoek en monitoring heeft aangetoond dat winst kon worden geboekt t.o.v. een conventioneel onderzoek.

De probabilistische stabiliteitsanalyse (stap 2) levert een duidelijk gunstiger veiligheidsbeeld dan de conventionele semi-probabilistische analyse (stap 1). Faalkans updating (stap 3) heeft voor de beschouwde cases een beperkte meerwaarde vanwege (a) de al hoge betrouwbaarheid en dus lage faalkans die in stap 2 al is bereikt en (b) de dominante invloed van overslag en infiltratie op de faalkans, waarvoor geen relevante observaties bekend zijn. Het uitvoeren van analysestappen 1 en 2 is voor KIJK zonder meer zinvol. Het nut van bewezen sterkteonderzoek (stap 3) voor KIJK is afhankelijk van de analysestappen 1 en 2 voor nagenoeg de gehele scope van KIJK en lijkt alleen significante winst te kunnen opleveren als een proefbelasting wordt uitgevoerd.

In een vervolgfase zijn proefbelastingen uitgevoerd die gericht waren op infiltratie en verzadiging. Gedachte was dat met infiltratieproeven een positief effect op de betrouwbaarheid kon worden bereikt, ofwel door aanscherping van de schematisering van de verzadiging, ofwel door het overleven van de proefbelasting. Uit de 2 proeven volgde dat forse infiltratie optrad ook bij geringe overslaggebieden waardoor niet tot goedkeuren kon worden overgegaan. Het uitvoeren van analysestappen 1 en 2 is voor KIJK zonder meer zinvol en in het rapport zijn op basis van de analyses zeer gerichte aanbevelingen gedaan voor het vervolgonderzoek (zie Rozing 2016).

In het vervolgonderzoek dat door HHSK is uitgevoerd is door het uitvoeren van AS onderzoek aanzienlijke winst behaald. De STBI scope is in stap 1 verkleind van 8.320 m naar 7.640 m en door het uitvoeren van faalkansanalyses is de scope verder verkleind met circa 2,5 km tot 5.170 m. Mogelijk kan de scope worden verkleind met in totaal circa 6 km. De STBI scope zal echter niet geheel verdwijnen.

Enkele uitgangspunten behoeven een nadere beschouwing. Dit leidt mede tot de volgende aanbevelingen die de resultaten kunnen verbeteren of de uitkomst realistischer kunnen maken:

- Extra onderzoek naar de sterkte van het dijksmateriaal ter verkleining van de spreiding wordt aanbevolen. Tevens dient te worden onderzocht hoe dit dient te worden geschematiseerd nl. ongedraineerde of gedraineerd grondgedrag.
- Het verloop van de waterspanningen in de ondergrond is lastig en verdient nader onderzoek (overgang van freatisch naar stijghoogte)
- De mate van infiltratie door overslag is belangrijk en is onder andere afhankelijk van de duur van de overslag en de eigenschappen van de kleibekleding.

3.3 WSVV: Noordelijke Randmeerdijk

3.3.1 Aanleiding toepassen AS

In de derde toetsronde heeft de Noordelijke randmeerdijk bij Elburg (normtraject 11-3, lengte 12.9 km) het veiligheidsoordeel 'voldoet niet aan de norm' gekregen en is daarom opgenomen in het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP).

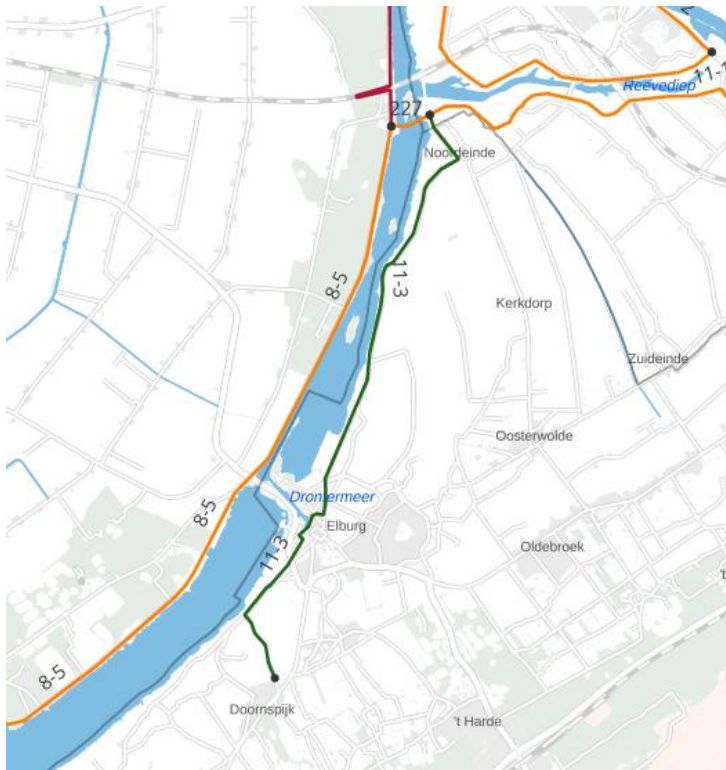
Tijdens een expertsessie d.d. 20-12-2017 (stap 0) is geconcludeerd dat de veelbelovende nieuwe rekentechniek genaamd Actuele Sterkte (AS) mogelijk kansrijk zou kunnen zijn voor toepassing bij de Noordelijke Randmeerdijken. Het verslag van de expertsessie is in bijlage B.1 weergegeven. Hierbij waren specialisten aanwezig van Waterschap Vallei en Veluwe (WSVV), Fugro, Witteveen+Bos (Wi+Bo) en Deltares. Kansrijk moet in dit verband worden gezien als mogelijkheid om de dijkversterkings-scope te verkleinen voor wat betreft macrostabiliteit van het binnentalud.

Vervolgens is in opdracht van WSVV door Witteveen+Bos het onderzoekspoor 'Scherp toetsen' gestart waarin stap 1 van het AS onderzoek door Wi+Bo is uitgevoerd en stap 2 door Wi+Bo en Deltares in samenwerking met de POVM.

3.3.2 Het project

In Figuur 3.4 is het beschouwde normtraject weergegeven.

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief



Figuur 3.4 Noordelijke Randmeerdijk bij Elburg Normtraject 11-3 (bron www.waterveiligheidsportaal.nl).

Uit eerder uitgevoerde veiligheidsanalyses van de Noordelijke randmeerdijk bij Elburg, uitgevoerd in 2017, volgde dat circa 4 km dijktraject onvoldoende werd beoordeeld voor het faalmechanisme macro-stabiliteit van het binnentalud.

In opdracht van WSVV heeft Witteveen+Bos de actuele sterkte (AS) stap 1 uitgevoerd dat binnen de verkenningsfase van dit dijkversterkingsproject valt. Stap 1 bestaat uit nadere detaillering van de schematisatie en het uitvoeren van semi-probabilistische analyses (inclusief aanvullend grondonderzoek). Voor het deel van de scope wat hierna nog als onvoldoende werd beoordeeld (als gevolg van AS stap 1), is AS stap 2 uitgevoerd (het uitvoeren van faalkansanalyses ofwel probabilistische analyses).

Doel van het uitvoeren van de probabilistische stabiliteitsanalyse is om de faalkans in twee dwarsprofielen te bepalen voor het mechanisme macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) om vervolgens vast te stellen of hiermee de scope voor wat betreft STBI verder kon worden verkleind voor een significante periode (in dit geval voor het zichtjaar 2050).

Vervolgens is voor het resterende dijktraject een inschatting gemaakt van de kansrijkheid/winst van probabilistische analyses (voor STBI).

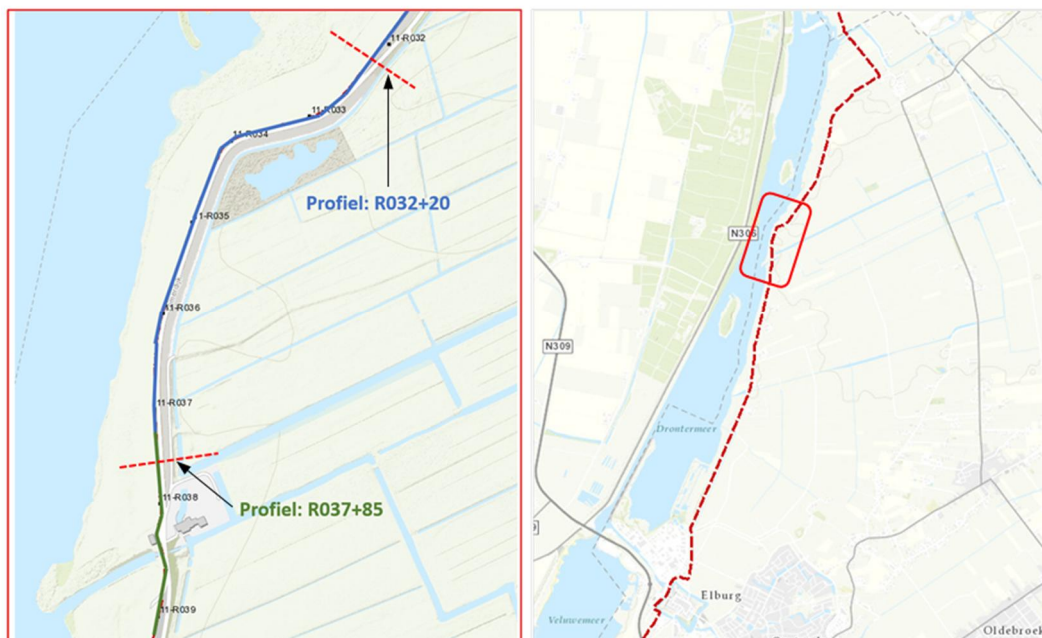
3.3.3 Resultaten AS

Naar aanleiding van de in de vorige paragraaf genoemde expertsessie (stap 0) en de hoge ingeschatte kans op succes van toepassing van AS is in opdracht van WSVV door Witteveen+Bos AS stap 1 uitgevoerd. Hierbij is vooral ingezet om een aantal mogelijk conservatieve aannames met betrekking tot ondergrondschematisatie, sterkteparameters en waterspanningen, die tot een ruime scope resulteerde, nader te verfijnen. Daarbij is gericht grondonderzoek uitgevoerd ter aanscherping van de ondergrondschematisatie en is aanvullend laboratoriumonderzoek uitgevoerd ter bepaling van o.a. de ongedraineerde

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief

sterkteparameters. Dit laatste resulteerde in minder conservatieve parameters. Op basis van het uitgevoerde waterspanningsonderzoek kon een gunstiger ligging van de freatische lijn worden onderbouwd. Verder is naar het effect van de bovenbelasting (verkeer) op de stabiliteit gekeken en naar de invloed van significante golfoverslag op infiltratie in de dijk. Met deze aanvullende informatie kon een lagere schematiseringsfactor worden onderbouwd. Hierdoor is de scope van STBI teruggebracht van 7.2 km naar 1 km.

Voor de resterende scope is vervolgens een inschatting gemaakt van de kansrijkheid/winst van probabilistische analyses (voor STBI). Omdat de winst hoog werd ingeschat zijn vervolgens in 2 dwarsprofielen namelijk R032+20 en R037+85 (representatief voor 2 dijkvakken zie), die niet voldeden aan de veiligheidseisen in de semi-probabilistische toets (stap 1), faalkansanalyses uitgevoerd (stap 2).



Figuur 3.5 De twee geanalyseerde dwarsprofielen/cases van de Noordelijke Randmeerdijk

De cases zijn door twee rekenteams uitgewerkt nl. Witteveen+Bos en Deltares. Elk team heeft daarbij een case voor hun rekening genomen.

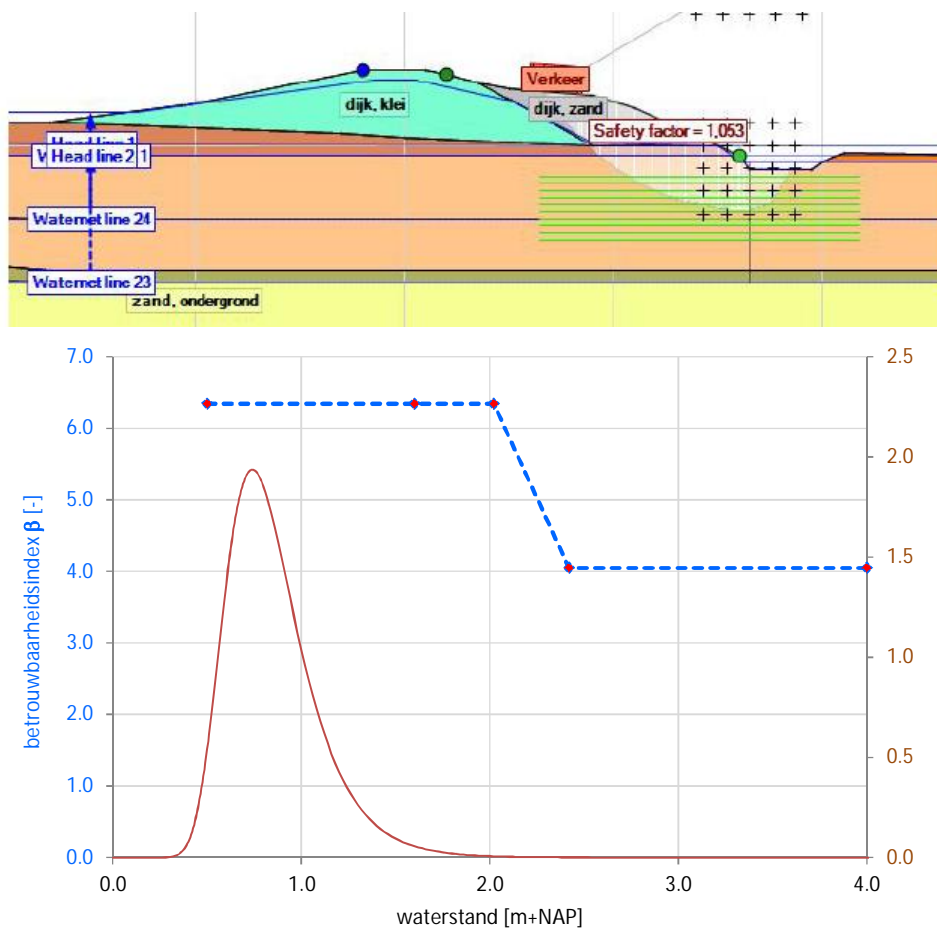
De probabilistische faalkansanalyses (AS stap 2) geven een duidelijk gunstiger beeld dan AS stap 1:

- Voor profiel R032+20 (dijkvak 4.4 met een lengte van circa 525 m) volgt dat niet aan de norm wordt voldaan als een zandberm aanwezig is ($SF_{\text{berekend}} = 0,91$ en $SF_{\text{eis}} = 1,17$; $\beta_{\text{berekend}} = 3,57$ en $\beta_{\text{eis}} = 3,93$). Als de binnenberm echter bestaat uit klei wordt wel aan de norm voldaan.¹ ($SF_{\text{berekend}} = 0,94$; $\beta_{\text{berekend}} = 4,1$). Er zijn geen bewezen Sterkte analyses (stap 3) uitgevoerd omdat er vanuit het verleden geen opgetreden en overleefde hoge belastingen beschikbaar/gedocumenteerd waren.

¹ Ten tijde van het AS onderzoek kon niet met voldoende zekerheid worden aangegeven of het materiaal waaruit de binnenberm was opgebouwd uit klei of hoofdzakelijk zand bestond.

- Voor profiel R037+85 (dijkvak 4.5 met een lengte van circa 225 m) volgt dat aan de norm wordt voldaan ongeacht of een zand- of kleiberm aanwezig is ($SF_{\text{berekend UpliftVan}} = 1,05$ en $\beta_{\text{berekend}} = 5,6$).

Ter illustratie is het berekende glijvlak (stap 1) en de fragility curve van profiel R037+85 in weergegeven waarbij een binnenberm bestaande uit zand is aangehouden.



Figuur 3.6 Ket kritieke glijvlak (boven) en de fragility curve (onder) voor profiel R037+85

Voor het resterende dijkvak (dijkvak 7.1 met een lengte van circa 250 m) zijn geen AS analyses uitgevoerd. In dit dijkvak is nl. een keermuur en L-wand aanwezig. Er zijn eerder berekeningen uitgevoerd voor zowel de situatie met een L-wand als een keermuur. De macrostabiliteit met glijvlakken onder de wand voldoet daarbij niet aan de norm. Volgens gegevens van de opdrachtgever voldoet de keermuur / L-wand zelf niet (scheuren e.d.) en is aan vervanging toe, waardoor dit in de versterkingscope is opgenomen.

3.3.4 Conclusies en aanbevelingen

Voor het dijkversterkingsproject zijn de AS stappen 0, 1 en 2 doorlopen ten behoeve van het mogelijk verkleinen van de versterkingscope voor STBI. Door invulling van de stappen 1 en 2 is de scope achtereenvolgens verkleind van 7,2km naar 1 km ten tenslotte tot slechts circa 600 m.

Geconcludeerd wordt dat door middel van gericht onderzoek en nadere detaillering van de schematisering diverse uitgangspunten konden worden geoptimaliseerd met forse scopeverkleining tot gevolg.

Vervolgens is voor de resterend scope met de faalkansanalyses een gunstiger stabiliteitsresultaat bereikt t.o.v. semi-probabilistische analyses. Dit is visueel gemaakt middels het plotten van deze resultaten in de kalibratiegrafiek (zie Figuur 2.2). De analyses voor de hier uitgevoerde berekeningen liggen onder de kalibratielijijn. Resultaat is dat voor een van de twee dijkvakken is goedgekeurd.

Aanbevelingen:

- Voor één dijkvak werd geconcludeerd dan niet aan de norm werd voldaan als de binnenberm uit zand zou zijn opgebouwd i.p.v. klei. Door het uitvoeren van nader grondonderzoek zou deze onzekerheid kunnen worden verkleind.
- De invloed van een mogelijke andere verdeling van de faalkansruimtefactor (gunstiger voor macrostabiliteit) is niet onderzocht. Dit kan een gunstiger resultaat voor STBI opleveren. Voor nadere uitleg wordt verwezen naar paragraaf 2.4.1.
- Ook kan een optimaler resultaat worden verkregen door nauwkeurig het effect van de kans van infiltratie door overslag te bepalen waarbij de kans op overslag gegeven een waterstand uit overslagberekeningen wordt meegenomen²
- Aanbevolen wordt om de gebruikersvriendelijkheid van de software te verbeteren en meer te automatisering.
- Uiteindelijk hoort toepassing van AS natuurlijk bij de beoordeling. Hiermee bereik je een stabielere scope voorafgaand aan de versterking

Voor de volledige resultaten van dit onderzoek wordt verwezen naar [POVM 2018-1]

3.4 WDOOD: Zwolle–Olst

3.4.1 Aanleiding toepassen AS

Het dijktraject Zwolle – Olst (Normtraject 53-2: trajectlengte 28,9 km) stond op de nominatie om versterkt te worden. Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOOD) is in 2018 gestart met de verkenningsfase van deze dijkversterking. Onderdeel van de totale dijkversterking is een aantal trajecten (met een totale lengte van 5,2 km) waarin een versterkingsopgave wordt bepaald door macrostabiliteit binnenwaarts (STBI).

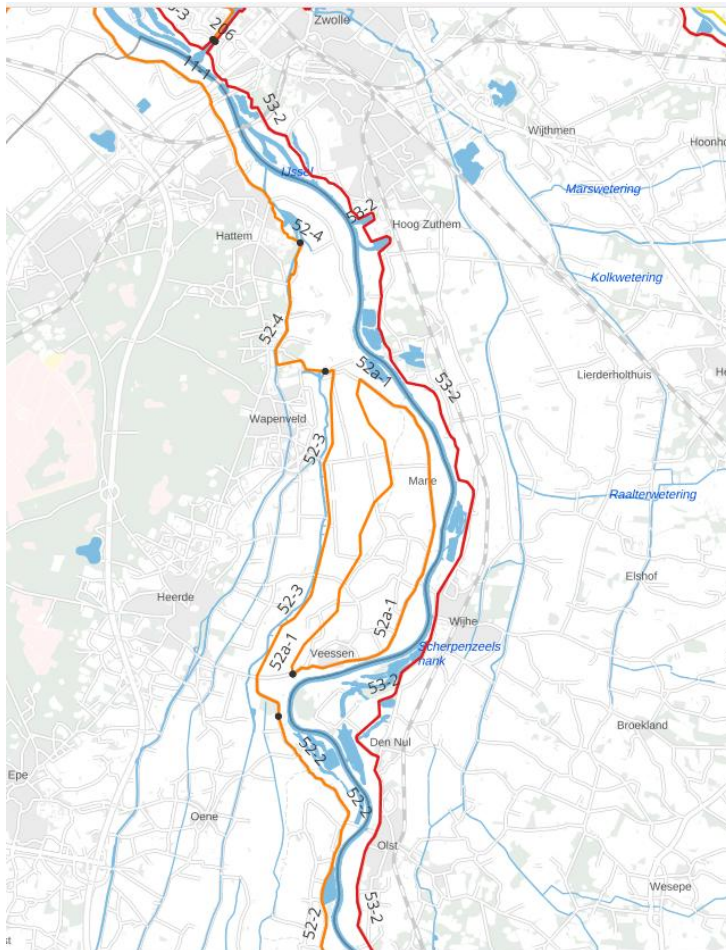
Naar aanleiding van een overleg tussen Waterschap Drents Overijsselse Delta en leden van het kernteam van de POVM in begin 2018 is geconcludeerd dat AS kansrijk zou kunnen zijn voor toepassing bij dit dijktraject om de dijkversterkingsscope te verkleinen voor wat betreft macrostabiliteit van het binnentalud.

Op basis van een daarna gehouden expertsessie was ingeschat dat het toepassen van deze nieuwe rekentechniek als zeer kansrijk werd gezien. WDOOD heeft vervolgens drie dijkvakken geselecteerd om hierin voor 3 representatieve dwarsprofielen de berekeningsmethode van Actuele Sterkte toe te passen. Deze drie profielen werden als kansrijk ingeschat.

² Deze methode is wel toegepast bij twee andere projecten nl. Dijkversterking Neder Betuwe (WSRL) en Dijkversterking Wijk bij Duurstede – Amerongen (HDSR) maar was nog niet volledig beschikbaar ten tijde van het uitvoeren van dit project.

3.4.2 Het project

In Figuur 3.7 is het beschouwde normtraject weergegeven.



Figuur 3.7 Dijversterking Zwolle Olst, Normtraject 53-2 (bron www.waterveiligheidsportaal.nl).

De analyse (Stap 1) bestaande uit nadere detaillering van de schematisatie en het uitvoeren van semi-probabilistische analyses (inclusief aanvullend grondonderzoek) was al in een eerdere fase uitgevoerd. Uit deze eerdere verkennende analyses van het traject Zwolle-Olst volgt dat er bij circa 24 dijkvakken (met een totale lengte van 5,2 km) een versterkingsopgave is met betrekking tot stabiliteit binnenwaarts.

Voor dit deel van de scope dat als onvoldoende werd beoordeeld (als gevolg van AS stap 1), is AS stap 2 uitgevoerd (het uitvoeren van faalkansanalyses ofwel probabilistische analyses). Doel van het uitvoeren van de probabilistische stabiliteitsanalyse is om de faalkans in drie dwarsprofielen te bepalen voor het mechanisme macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) om vervolgens vast te stellen of hiermee de scope voor wat betreft STBI kon worden verkleind voor een significante periode (in dit geval voor het zichtjaar 2075). Eerder was gebleken dat er voor deze drie profielen een versterkingsopgave in de vorm van een stabiliteitsberm benodigd was.

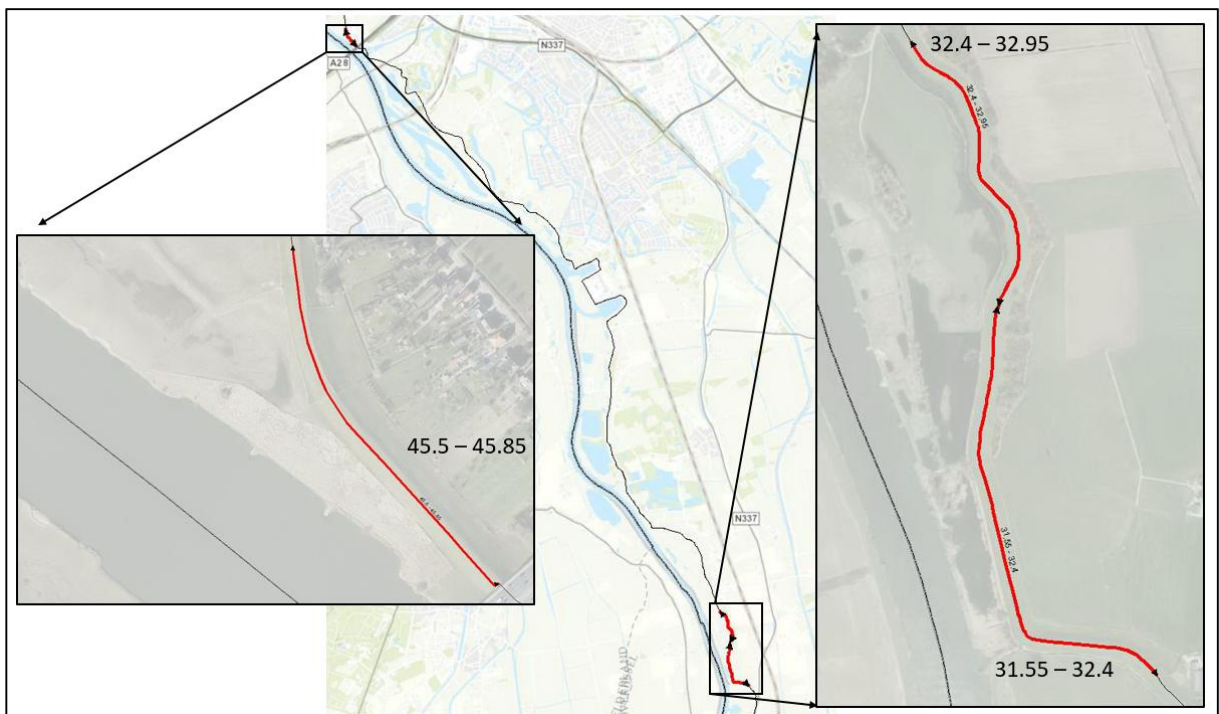
Vervolgens is voor het resterende dijktraject een inschatting gemaakt van de kansrijkheid/winst van probabilistische analyses (voor STBI).

3.4.3 Resultaten AS

Naar aanleiding van de eerder genoemde expertsessie (stap 0) en de hoge ingeschatte kans op succes van toepassing van AS is in opdracht van WDOD en in samenwerking met Deltares en de POVM stap 2 uitgevoerd.

Voorafgaande aan het uitvoeren van stap 2 zijn de uitgangspunten, specifiek benodigd voor het uitvoeren van faalkansanalyses nader beschouwd waarbij enkele zijn geoptimaliseerd. Dit leverde overigens voor 1 van de 3 profielen een stabiliteitsfactor van 1,32 waardoor kon worden geconcludeerd dat dit profiel kon worden goedgekeurd (vereiste stabiliteitsfactor is 1,32 (model LiftVan)).

In Figuur 3.8 zijn de locaties van de dijkvakken weergegeven.



Figuur 3.8 Locaties van de berekende profielen van dijktraject Zwolle -Olst.

Vervolgens zijn in de dwarsprofielen faalkansanalyses uitgevoerd (stap 2) met als resultaat dat twee van de drie profielen voldoen aan de gestelde eis. De resultaten zijn samengevat in onderstaande tabel.

De cases zijn door twee rekenteams uitgewerkt nl. WDOD en Deltares. WDOD heeft twee cases voor hun rekening genomen en Deltares één.

Er zijn geen bewezen Sterkte analyses (stap 3) uitgevoerd voor case Herxen-Zuid omdat er vanuit het verleden geen opgetreden en overleefde hoge belastingen beschikbaar/gedocumenteerd waren, waardoor dit tot een gunstiger uitkomst zou leiden.

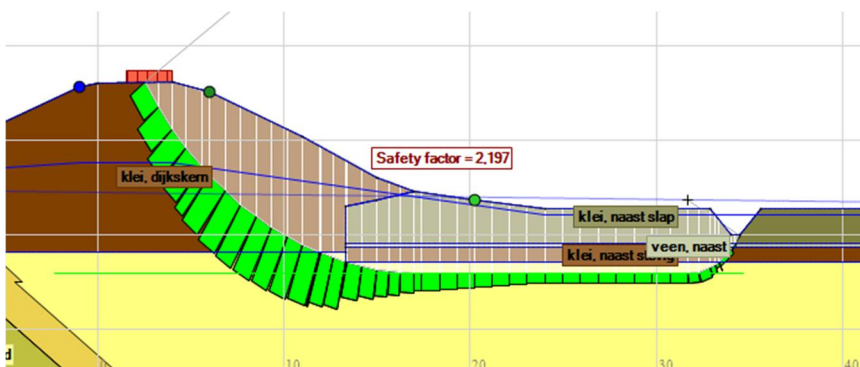
Tabel 3.4 Overzicht belangrijkste resultaten per doorsnede (SF = stabiliteitsfactoren, β = betrouwbaarheidsindex, beide zonder overslag/infiltratie) (groen = voldoende; oranje = voldoet niet; rood = onvoldoende).

	Eis	Profiel Paddenpol Hm31.55-32.4:850m)	Profiel Herxen-Zuid (Hm32.4-32.95: 550m)	Profiel Spoolde (hm45.5-45.85:350m)
Stap 1: Semi-probabilistisch	SF _{eis} = 1.20 (1.32)* (incl. modelfactor model UpliftVan)	SF = 1.32	SF = 1.16	SF = 1.20
Stap 2: Faalkansanalyse	β_{eis} = 4.84	β = 5.04	β = 4.11	β = 6.12

* De waarde tussen haakjes is de vereiste stabiliteitsfactor indien wordt uitgegaan van een schematiseringsfactor van 1.10.

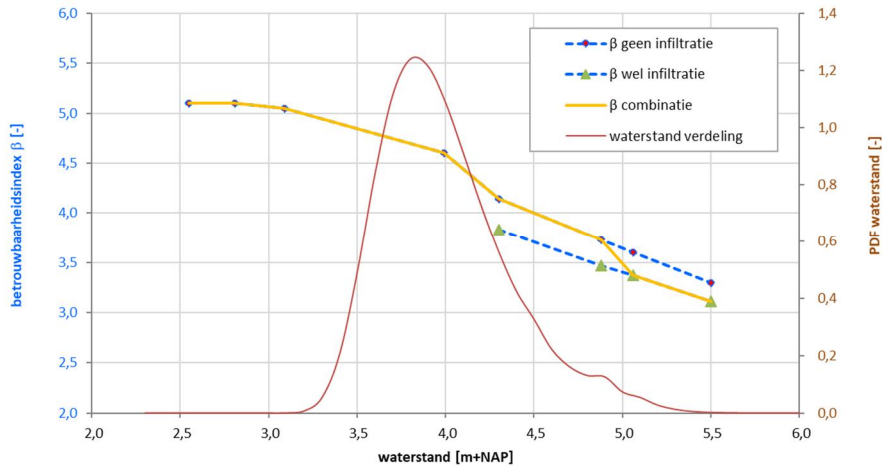
Door het uitvoeren van de AS analyses is de scope van STBI in deze verkennende fase teruggebracht van 5,2 km naar 4,0 km. mits na beschouwing van enkele uitgangspunten blijkt dat deze voldoende conservatief zijn. In overleg met de opdrachtgever zijn bepaalde uitgangspunten namelijk consequent hetzelfde gehanteerd als voor de eerder uitgevoerde verkennende analyses. Enkele van deze uitgangspunten behoeven een nadere beschouwing (zie aanbevelingen in paragraaf 3.4.4).

Ter illustratie is een van de kritieke berekende glijvlakken³ en de fragility curve van profiel Herxen-Zuid in onderstaande figuren weergegeven.



³ Afhankelijk van de hoogte van de buitenwaterstand wordt een ander kritiek glijvlak gevonden en zijn daarbij in dit specifieke geval 4 varianten beschouwd

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief



Figuur 3.9 Een van de kritieke glijvlakken (boven) en de fragility curve (onder) voor profiel Herxen-Zuid

3.4.4 Conclusies en aanbevelingen

Voor het dijkversterkingsproject zijn de AS stappen 0, 1 en 2 doorlopen ten behoeve van het mogelijk verkleinen van de versterkingsscope voor STBI. Invulling van stap 1 heeft door het Waterschap al in eerdere fase plaatsgevonden. Door toepassing van AS stap 1 en 2 is de scope met 1.200m verkleind van 5,2 km naar 4,0 km mits na beschouwing van enkele uitgangspunten blijkt dat deze voldoende conservatief zijn.

Bepaalde uitgangspunten zijn voor het maken van een vergelijking namelijk consequent hetzelfde gehanteerd als voor de eerder uitgevoerde verkennende analyses. Enkele van deze uitgangspunten behoeven een nadere beschouwing. Dit leidt mede tot de volgende aanbevelingen die de resultaten kunnen verbeteren of de uitkomst realistischer kunnen maken:

- Extra onderzoek naar de sterkte van het dijksmateriaal ter verkleining van de spreiding.
- De stijghoogte en stijghoogteverloop van het grondwater in het watervoerende zandpakket heeft invloed op de berekeningsresultaten en kan geoptimaliseerd worden door analyses van o.a. peilbuismetingen.
- Onderzoek naar de mate van indringing, van de waterspanning vanuit het watervoerende zandpakket in de erboven gelegen klei en veenlagen, ter optimalisatie.

Voor het resterende dijktraject zijn ten tijde van het schrijven van dit rapport nog geen AS analyses uitgevoerd. Wel is kwalitatief beoordeeld of het toepassen van Actuele Sterkte ook kansrijk is voor de overige dijkvakken.

Hieruit volgt dat zeer waarschijnlijk voor 490 m een optimaler resultaat zal worden verkregen (goedkeuring/scopeverkleining voor STBI) dan op basis van de eerder uitgevoerde verkennende analyses. Vermoedelijk is voor een grotere strekking een positiever resultaat te verkrijgen.

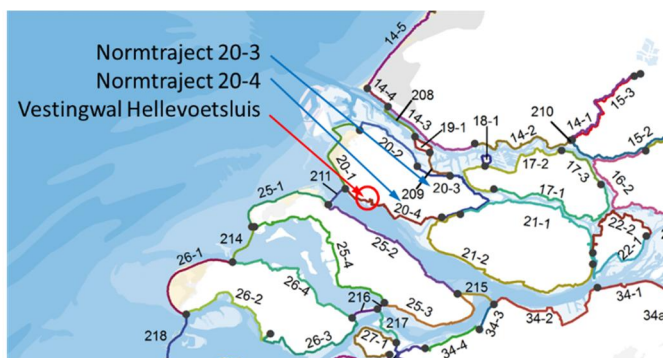
Opgemerkt wordt dat indien ondanks een nauwkeuriger resultaat geen scopeverkleining wordt bereikt, de dijkversterking waarschijnlijk aanzienlijk kan worden geoptimaliseerd door het maken van een probabilistisch ontwerp voor macrostabiliteit van het binnentalud.

3.5 WSHD: Hellevoetsluis

3.5.1 Aanleiding toepassen AS

Tijdens een expertsessie bij het Waterschap Hollandse Delta (WSHD), waarbij gezamenlijk de kansrijkheid van AS voor een ander dijktraject nl. normtraject 20-3 is onderzocht, werd tevens geconcludeerd dat de toepassing van AS voor de Vestingwal te Hellevoetsluis (onderdeel van normtraject 20-4) kansrijk zou kunnen zijn. Voor het verslag van deze expertsessie wordt verwezen naar bijlage B.2.

Beide normtrajecten zijn in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 3.10 Normtrajecten 20-3 en 20-4 en Vestingwal te Hellevoetsluis binnen het beheersgebied van WSHD

Het normtraject 20-4 binnen het beheersgebied van WSHD en gelegen langs het Haringvliet en het Spui dient op termijn te worden beoordeeld.

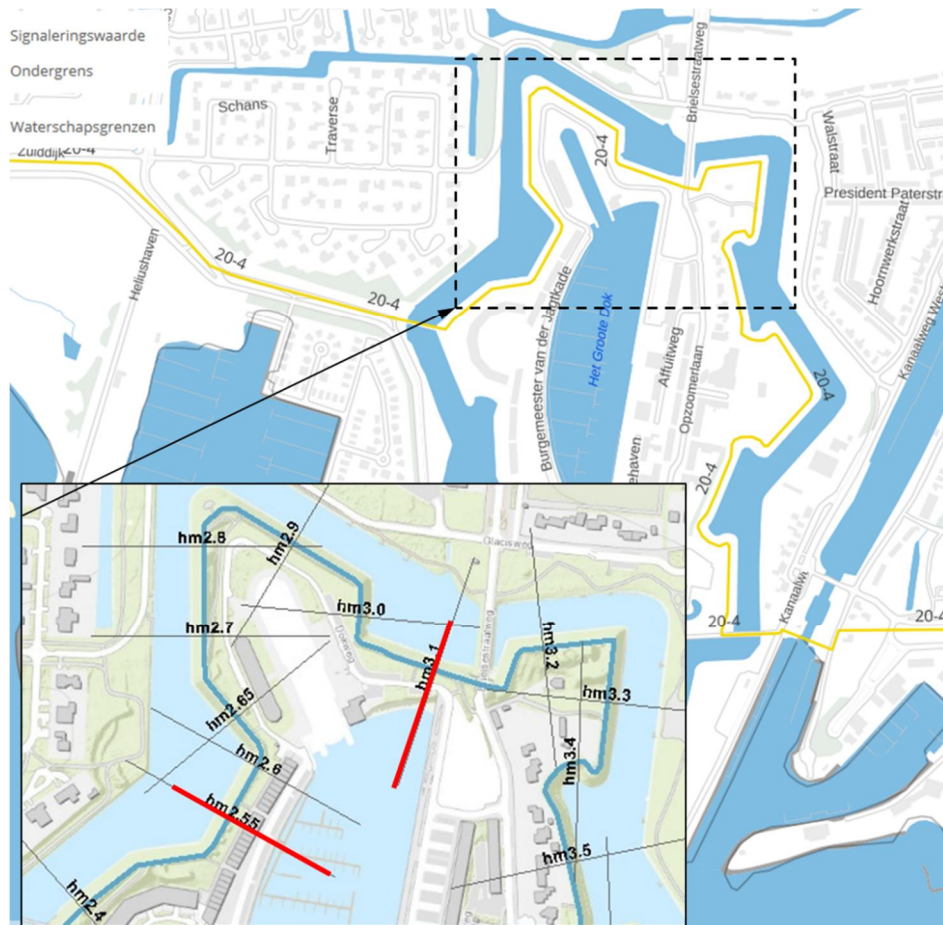
Het deel van de Vestingwal van hmp 3.6 tot en met 4.2 was in 2003 al als onvoldoende beoordeeld voor het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) en is destijds versterkt (met een damwand in de binnenteen). Het resterende deel van hm 2.4 tot 3.6 kon destijds met behulp van Bewezen Sterkte technieken conform het daarna uitgebrachte Technisch Rapport Actuele Sterkte: TRAS [TAW/ENW, 2009] worden goedgekeurd. Daarbij werd ingeschat dat dit voor een periode van circa 10 jaar zou zijn. Volgens informatie van WSHD is de Vestingwal vermoedelijk alleen onvoldoende voor wat betreft macrostabiliteit van het binnentalud.

Ten opzichte van de uitgevoerde beoordeling (voorheen toetsing) voor deze Vestingwal in 2003 is de normering echter veranderd (WBI2017), is sprake van aangepaste hydraulische randvoorwaarden en dient voor macrostabiliteit te worden uitgegaan van ongedraineerde sterkteparameters voor de slecht doorlatende grondlagen en het CSSM model. Omdat de verwachting is dat met het toepassen van 'Actuele Sterkte' een gunstiger beoordelingsresultaat kan worden verkregen heeft Waterschap Hollandse Delta (WSHD) opdracht gegeven om in eerste instantie een verkennend onderzoek hiernaar uit te voeren in 2 dwarsprofielen.

3.5.2 Het project

In Figuur 3.11 is het beschouwde deeltraject van de Vestingwal weergegeven. De Vestingwal loopt van hm2.4 tot 4.2 en heeft een totale lengte van circa 1.8 km.

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief



Figuur 3.11 Vestingwal Hellevoetsluis Onderdeel Normtraject 20-4 met locatie beoordeelde dwarsprofielen

De Actuele Sterkte stappen 1, 2 en 3 zijn voor de Vestingwal te Hellevoetsluis onderzocht voor de dwarsprofielen ter plaatse van hmp 2.566 en hmp 3.080.

Doel van deze fase van dit onderzoek was om middels een eerste verkenning voldoende duidelijkheid te verkrijgen over de kans op goedkeuren van STBI van de Vestingwal middels Actuele Sterkte technieken. Dit om duidelijkheid te krijgen of dijkversterking van de Vestingwal urgent is of niet.

Hoewel de stappen 1 en 2 zijn doorlopen was de verwachting dat, gezien de bevindingen van de voorgaande toetsing, eventueel 'goedkeuren' vooral van stap 3 afhankelijk zou zijn. Stap 3 betrof het uitvoeren van bewezen sterkteanalyses waarbij op basis van de (overleefde) observatie van het HoogWater van februari 1953 de berekende faalkans kon worden bijgesteld waarmee het veiligheidsoordeel kon worden geoptimaliseerd.

Vervolgens is voor het resterende deel van de Vestingwal (van hm 2.4 tot 3.6) een inschatting gemaakt van de kansrijkheid/winst van AS (voor STBI).

Opgemerkt wordt dat niet alleen naar de huidige beoordelingsperiode is gekeken (2023) maar ook naar een langere zichtperiode, nl. het zichtjaar 2050 omdat alle dijken in 2050 moeten voldoen aan de norm.

3.5.3 Resultaten AS

Naar aanleiding van de eerder genoemde expertsessie (stap 0) en de hoge ingeschatte kans op succes van toepassing van AS is in opdracht van WSHD door Deltares het onderzoek van de stappen 1, 2 en 3 uitgevoerd.

Voorafgaand aan het uitvoeren van de analyses is vooral veel aandacht uitgegaan naar de uitgangspunten voor de berekeningen. Vooral voor stap 3 is normaliter veel inspanning nodig (vooral te leveren door het Waterschap). Omdat in dit geval in 2003 al Bewezen Sterkte analyses waren uitgevoerd was de relevante informatie van de overleefde historische situatie van februari 1953 voorhanden.

Semi probabilistische analyses (AS Stap 1)

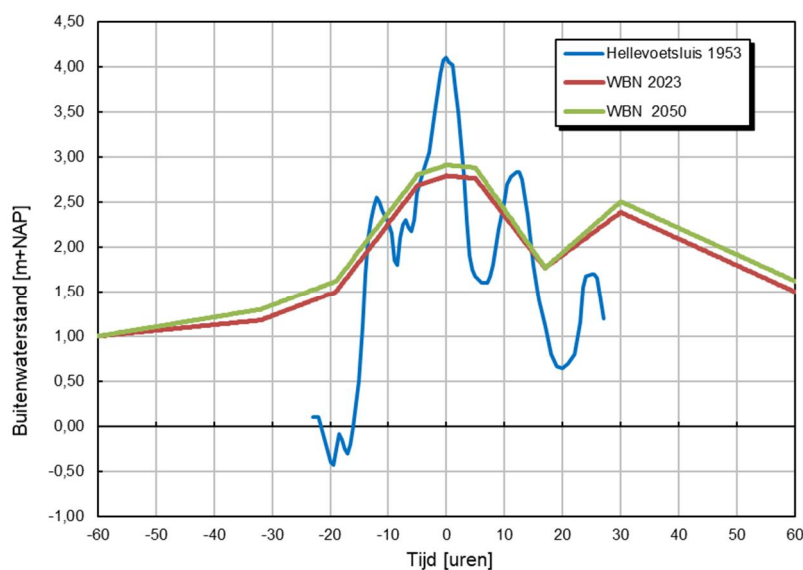
Beide dwarsprofielen voldeden niet aan de veiligheidseisen in de semi-probabilistische analyse, vergelijkbaar met een conventionele toets, hoewel in dit geval met een bovengemiddelde hoeveelheid grondonderzoek.

Probabilistische analyses (AS stap 2)

De probabilistische faalkansanalyse geeft een gunstiger beeld voor een van de twee dwarsprofielen, maar zeker niet genoeg om goed te kunnen keuren. In de onderstaande tabel zijn de resultaten samengevat. Opgemerkt wordt dat voor deze analyses ook de waterspanningen als stochast zijn beschouwd waarbij dus niet van een bovengrens, maar van een gemiddeld waterspanningsbeeld inclusief onzekerheden is uitgegaan. Hoewel dit optimalisatie gaf bleek dit onvoldoende om te kunnen goedkeuren.

Faalkans updating analyses (AS stap 3)

De faalkans update analyse neemt de observatie uit 1953 mee om de faalkans te bepalen. De dijk heeft de stormvloed van 1953 zonder problemen overleefd. Deze historische situatie heeft naar verwachting een groter belastingeffect gegeven, ten opzichte van het belastingeffect bij WBN 2050 (zie Figuur 3.12). Daarom is deze historische situatie gebruikt als uitgangspunt voor de observatie.



Figuur 3.12 Vergelijking WBN met opgetreden hoogwater in 1953

De aanscherping van het veiligheidsbeeld door rekening te houden met de in het verleden overleefde belastingconditie van 1953 (observatie) resulteert voor profiel 2.566 in een

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief

berekende betrouwbaarheidsindex van 4,5 en voor profiel 3.080 in een betrouwbaarheidsindex van 3,0. Hierdoor kan worden gesteld dat profiel 2.566 in voldoet mits aan enkele voorwaarden wordt voldaan (zie conclusies en aanbevelingen).

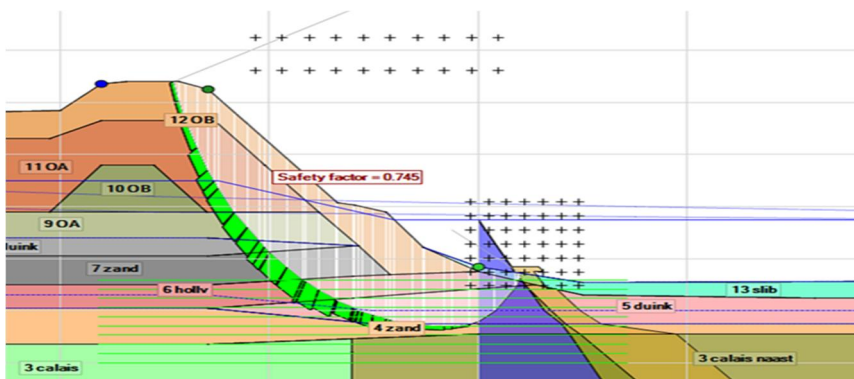
De resultaten van de stappen 1, 2 en 3 zijn in onderstaande tabel weergegeven.

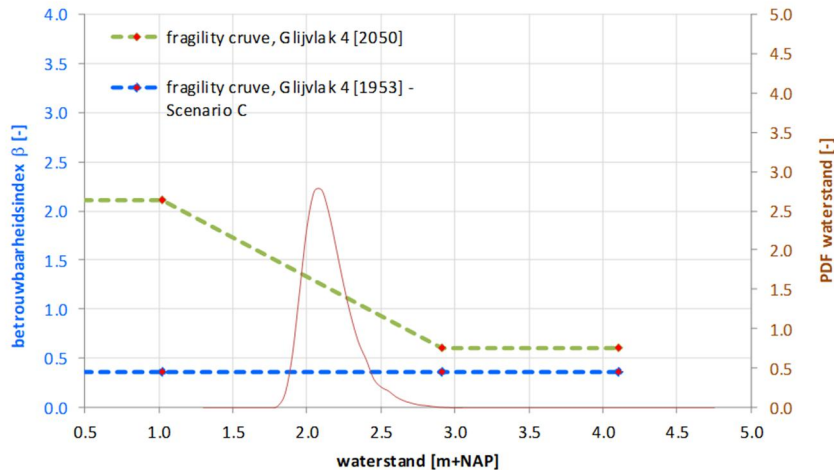
Tabel 3.5 Overzicht belangrijkste resultaten per doorsnede (SF = stabiliteitsfactoren, β = betrouwbaarheidsindex, beide zonder overslag/infiltratie) (groen =voldoende; oranje = voldoet niet; rood = onvoldoende).

AS stap:	Eis	Profiel 2.566	Profiel 3.080
Stap 1: Semi-probabilistisch	SF _{eis} = 1.16 (1.27)* (incl. modelfactor model Uplift-van)	SF = 0.75 (Beta \approx 2.3) 2)	SF = 0.93 (Beta \approx 3.4) 2)
Stap 2: Faalkansanalyse	β_{eis} = 4.5	β = 1.2	β = 2.9
Stap 3: Faalkans update analyse		β_{update} = 4.5 (obs 6) 1)	β_{update} = 3.0 (obs 0, glijvlak 1) 1)

- 1) De waarde tussen haakjes is de vereiste veiligheidsfactor indien wordt uitgegaan van een schematiseringsfactor van 1.10
- 2) Geschatte waarde van de betrouwbaarheid op basis van de kalibratielijn uit Figuur 2.2

Ter illustratie is het berekende glijvlak (stap 1) en de fragility curve van profiel 2.566 (stap 2 en 3) in onderstaande figuren weergegeven.





Figuur 3.13 Een van de kritieke glijvlakken (boven) en de fragility curve (onder voor profiel 2.566)

3.5.4 Conclusies en aanbevelingen

Voor de Vestingwal te Hellevoetsluis zijn ter nadere verkenning van de kansrijkheid van AS voor de beoordeling twee dwarsprofielen analyses uitgevoerd waarbij de AS stappen 1, 2 en 3 zijn doorlopen.

Het doel van het onderzoek was om duidelijkheid te verkrijgen of middels toepassing van Actuele Sterkte (met name het onderdeel bewezen sterkte) tot goedkeuren van STBI van een groot deel van de Vestingwal zou kunnen worden gekomen. De potentie van AS Stap 3 wordt groot ingeschat omdat de overleefde historische situatie van 1953 naar verwachting een belastingeffect moet hebben gegeven, groter dan voor de situatie bij WBN 2050. De potentie hangt echter met name af van de 'keuze' van de onzekere parameters voor beide situaties. Met andere woorden: hoe conservatief dient de observatie gemodelleerd te worden. Dit hangt deels af van de inschatting van de waterspanningen ten tijde van 1953 (metingen, duur hoogwater) en de veranderingen sinds die tijd.

Er zijn diverse mogelijkheden om voor de Vestingwal te trachten goedkeuring te verkrijgen. Hieronder is een eerste aanzet voor de prioriteit van de eerder gegeven aanbevelingen voor een mogelijk vervolgonderzoek gegeven.

Hoogste prioriteit zou kunnen worden gegeven aan het volgende onderzoek:

- Onderzoek naar een voldoende conservatieve inschatting van de sterktereductie in de opbarstzone in AS Stap 3 voor beoordeling en vooral voor de observatie.
- Onderzoek naar bepaling representatieve dijkvaklengte voor faalkansupdate en bepaling van de representatieve vaklengte voor profiel 2.566 en de overige nog te beoordelen dijkvakken.
- Het modelleren van de waterspanningen in de probabilistische analyses als stochast (in de vervolganalyses kan dit zonder meer worden toegepast).
- Toepassen van de invloed/reststerkte van hoog voorland in de veiligheidsbeoordeling voor macrostabiliteit van het binnentalud van profiel 3.080 en de overige nog te beoordelen dijkvakken.
- Formeren van een standpunt met betrekking tot het toepassen van cohesie van dijkmateriaal in relatie tot het CSSM model.

In tweede instantie zou indien nodig/wenselijk het volgende onderzoek kunnen worden uitgevoerd:

- Optimalisatie van het veiligheidsoordeel door analyses in kleinere dijkvakken.
- Nadere verkenning optimale faalkansruimtefactor voor macrostabiliteit.
- Nadere analyse ter optimalisatie van de nu conservatieve aanname voor het waterpeil in de Vestinggracht ten tijde van het Hoogwater van februari 1953.
- Optimalisatie van de POP in kaart brengen en analyseren of dit tot voldoende optimalisatie van het berekeningsresultaat kan leiden (goedkeuring) van (delen van) de Vestingwal.
- Analyses van de invloed van windbelasting op bomen voor de overige dijkvakken van de Vestingwal waar dit relevant is.

3.6 Samenvatting (resultaten en conclusies en aanbevelingen)

Zoals uit paragraaf 3.1 blijkt, is AS al voor diverse projecten toegepast. Voor regionale keringen vooral voor verkenning van de potentiële winst van faalkansanalyses (stap 2) en bewezen sterkte (Faalkans Updating: stap 3).

Voor de onderzochte primaire keringen richtte dit zich vooral op scopereductie door faalkansanalyses. Ook werd voor de primaire keringen duidelijk winst is geboekt door nadere detaillering van de schematisatie en het uitvoeren van specifiek grondonderzoek (stap1). Dit kwam duidelijk tot uiting bij het HWBP project Noordelijke Randmeerdijk van WSVV. Ook voor Beoordeling is AS ingezet waaruit volgde dat met bewezen sterkte grote kans is op goedkeuren van STBI van een groot deel van de Vestingwal te Hellevoetsluis.

Voor de HWBP projecten is AS in de verkenningsfase vooral toegepast als nadere vaststelling van de scope en heeft voor STBI in de meeste gevallen een scopereductie gegeven of geeft aan dat de kans hierop groot is als AS na een eerste verkenning wordt uitgerold voor de gehele STBI scope van het dijktraject. In onderstaande tabel is de winst in termen van scopereductie voor enkele projecten, waarvan dit ten tijde van het schrijven van dit rapport bekend was, aangegeven.

Tabel 3.6 Overzicht van projecten waarin AS is toegepast en waarvoor scopereductie is bepaald

Project	Totale scope macrostabiliteit (STBI) [m]	Scope macrostabiliteit. Na AS Stap 1 [m]	Scope macrostabiliteit. Na AS Stap 2 [m]	Scope macrostabiliteit Na AS Stap 3 [m]	Scopereductie door AS [m]	Mogelijk scopereductie na nader onderzoek AS [m]
Dijkversterking KIJK (HHSK) 1)	8320	7640	5170	n.v.t	3150	6000
Dijkversterking Noordelijke Randmeerdijk bij Elburg (WSVV)	7200	1000	600	n.v.t	6450	6450
Dijkversterking Zwolle-Olst (WDOD)	5230	5230	4030	n.v.t.	1200	2920
Verkenning Bewezen sterkte Vestingwallen Hellevoetsluis (WSHD)	1260	1260	1260	960	300	1260

1) KIJK: Krachtige Ijsseldijken Krimpenerwaard
2) Stap 1 = detaillering Schematisering en semi- probabilistische analyses; Stap 2 = faalkansanalyse; Stap 3 = faalkansupdate (Bewezen Sterkte en of proefbelasting)

Business-case Actuele Sterkte POVM

Voor het AS-spoor in de referentieprojecten zijn door de POVM analyses uitgevoerd om het rendement van de toepassing van AS te bepalen. Het gaat dan vooral om een verkleining van de versterkingsopgave voor macrostabiliteit. Hieruit bleek dat het rendement voor de referentieprojecten aanzienlijk is en dat een extrapolatie naar het HWBP-programma een zeer substantiële kostenbesparing oplevert.

Een belangrijk aandachtspunt is de verspreiding van de binnen de POVM gegenereerde kennis naar marktpartijen die daar straks mee moeten ontwerpen. Door deze kennisverspreiding kan het volle potentieel van de POVM ook daadwerkelijk benut worden in de projecten.

Ook als er een opgave is met betrekking tot een ander mechanisme (zoals hoogte of piping) blijft AS even goed bruikbaar en levert vrijwel zeker een gemiddeld lichter ontwerp op.

Het spoor AS is door inzet van de projecten KJK en Markermeerdijken in samenwerking met de POVM zo ver ontwikkeld dat deze kennis breder toegepast zou kunnen worden binnen andere HWBP projecten.

Uit de projecten volgen de nagenoemde aanbevelingen specifiek in relatie tot AS die de (project)resultaten kunnen verbeteren of de uitkomst realistischer kunnen maken:

- Extra onderzoek naar de sterkte van het dijksmateriaal is nodig ter verkleining van de spreiding. Tevens dient te worden onderzocht hoe dit dient te worden geschematiseerd nl. ongedraineerde of gedraineerd grondgedrag.
- Een cruciaal element in de modellering van stabiliteit bij overslag en infiltratie is de schematisering van de verzadiging (freatisch vlak) in de dijk. Dit is o.a. afhankelijk van de duur van de overslag en de kleibekleding. Hier is weinig over bekend waardoor meestal de zeer conservatieve aanname van volledige verzadiging wordt gemaakt. Experimenteel onderzoek naar dit fenomeen (laboratorium en/of prototypes) kan tot onderbouwde aanscherping van de schematisering leiden
- Een optimaler resultaat kan worden verkregen door nauwkeurig het effect van de kans van infiltratie door overslag te bepalen waarbij de kans op overslag gegeven een waterstand uit overslagberekeningen wordt meegenomen⁴
- Een andere dan de standaard verdeling van de faalkansruimtefactor (gunstiger voor macrostabiliteit) kan een evenwichtiger en gunstiger resultaat voor STBI opleveren. Voor nadere uitleg wordt verwezen naar paragraaf 2.4.1.
- Voor bredere toepassing is verdere operationalisering nodig. Aanbevolen wordt om de gebruikersvriendelijkheid van de software te verbeteren en meer te automatiseren. Dat is nodig omdat nu de methode arbeidsintensief is.
- Onderzoek naar een voldoende conservatieve inschatting van de sterktereductie in de opbarstzone in AS Stap 3 voor beoordeling en vooral voor de observatie.
- Het modelleren van de waterspanningen in de probabilistische analyses als stochast (in de vervolganalyses kan dit zonder meer worden toegepast).
- Toepassen van de invloed/reststerkte van hoog voorland in de veiligheidsbeoordeling voor macrostabiliteit van het binnentalud van profiel 3.080. en de overige nog te beoordelen dijkvakken.
- Formeren van een standpunt met betrekking tot het toepassen van cohesie van dijksmateriaal in relatie tot het CSSM model.

⁴ Deze methode is wel toegepast bij twee andere projecten nl. Dijkversterking Neder Betuwe (WSRL) en Dijkversterking Wijk bij Duurstede – Amerongen (HDSR) maar was nog niet volledig beschikbaar ten tijde van het uitvoeren van dit project.

4 Effecten op projecten en benodigde ontwikkelingen

In dit hoofdstuk worden de effecten van het toepassen van AS op de (dijkversterkings-) projecten beschreven, vooral vanuit het oogpunt van het waterschap en betrokken ingenieurs- en adviesbureaus. De praktijkervaringen met AS zijn in kaart gebracht door middel van interviews met vertegenwoordigers vanuit de doelgroep. Daarbij is aangegeven wat de toepassing hen heeft opgeleverd, wat het heeft gekost en wat beter kan. De interviews zijn gehouden met technisch managers, projectmanagers en/of adviseurs van ingenieurs- adviesbureaus betrokken bij de toepassing van actuele sterkte binnen hun (dijkversterkings-)project. Omdat het vooral om de mening/zienswijze van bovengenoemde partijen gaat zijn hiertoe interviews gehouden met betrokkenen bij de volgende projecten:

- WSVV: Dijkversterking Noordelijke Randmeerdijk, interview met technisch manager bij WSVV en adviseur waterkeringen bij Wi+Bo.
- WDOD: Dijkversterking Zwolle-Olst: Interview met adviseur Waterveiligheid bij WDOD en specialist waterveiligheid bij WDOD).
- WSHD: Beoordeling Vestingwal te Hellevoetsluis en Dijkversterking Normtraject 20-3: Interview met technisch manager Dijkversterking Normtraject 20-3 en specialist waterkeringen.

De interviews zijn uitgewerkt in bijlage D en daarbij zijn diverse vragen aan de orde gekomen. Opgemerkt wordt dat een aantal antwoorden op de vragen al bij de bespreking van de projecten in hoofdstuk 3 zijn behandeld.

Naast de interviews zijn voor een aantal projecten die zijn gepresenteerd op de vakdag Actuele en Bewezen Sterkte d.d. 31 januari 2019, de behoeftes geïnventariseerd voor een succesvolle implementatie van actuele & bewezen sterkte door ervaringen met de toepassing in projecten te delen.

Dit betrof de projecten:

- Dijkversterking KJK (Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard).
- Dijkversterking Zwolle-Olst (Waterschap Drents Overijsselse Delta).
- Markermeerdijken (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier).
- STOWA-studie regionale keringen:

Voor het verslag van deze vakdag wordt verwezen naar bijlage C.

De belangrijkste, vooral gezamenlijke, conclusies, aanbevelingen en wenselijke ontwikkelingen die volgen uit de interviews en de vakdag zijn navolgend weergegeven:

Resultaat onderzoek en evt. vervolg:

Uit de interviews volgt dat AS vooral is toegepast om de winstpotentie (reductie van de scope voor STBI) nader te kunnen onderbouwen in de projecten. Ook wordt het opdoen van kennis en toepassingservaring als belangrijke punten genoemd. Dit geldt vooral voor de faalkansanalyses.

In alle projecten heeft het toepassen van AS in de uitgevoerde verkenningen geleid tot reductie van de scope voor STBI en in de meeste gevallen is, gezien de grote kansrijkheid, het voornemen van het waterschap om AS uit te rollen voor het gehele dijktraject. Daar waar de methode niet tot goedkeuren heeft geleid heeft WSVV het voornemen geuit om te onderzoeken wat een probabilistisch ontwerp voordelen biedt t.o.v. een semi-

probabilistisch ontwerp. Opgemerkt wordt dat ook andere waterschappen, die niet tot de geïnterviewde groep behoren, zich hebben voorgenomen dit te doen.

Ervaringen met de expertsessies/ kansenscans:

De kansenscan of expertsessie was erg nuttig. Belangrijk is om dit proces vroegtijdig op te starten. Het geeft snel (en gezamenlijk) een beter beeld van de kansen op scopeverkleining voor het dijktraject. Voornemen (van WDOD) is om dit ook te doen voor andere dijktrajecten die in de nabije toekomst versterking behoeven.

Voordeel van het zelf uitvoeren van de prob. analyses is dat in vervolg de kansenscan geheel of deels zelf kan worden uitgevoerd. De groep met adviseurs die ervaring hebben met de methode wordt steeds groter, zodat deze nu ook kunnen helpen bij het uitvoeren van expertsessies bij andere waterschappen en het breder uitdragen van de ervaringen.

Ervaringen met uitvoering AS:

- Voordat AS wordt toegepast moeten de uitgangspunten duidelijk zijn. Hoewel voor een probabilistische analyses in principe geen extra (grond)onderzoek nodig is kost het extra inspanning om vanuit de semi-prob. uitgangspunten de uitgangspunten voor de prob. berekeningen af te leiden.
Uitgangspunten samenstellen (eigenlijk AS stap 0) kost tijd en kan een iteratief proces zijn. Soms levert AS stap 1 al een scherpere beoordeling, omdat de uitgangspunten kritisch worden beoordeeld en bediscussieerd. Verder blijkt dat schematisatie keuzes belangrijke gevolgen kunnen hebben voor AS stap 2 (i.v.m. AS stap 1).
- De AS werkwijze dwingt tot verdieping van uitgangspunten en berekeningen. De methode geeft veel inzicht in onzekerheden en derhalve welke onzekerheden er toe doen en waar je effort in zou kunnen steken om ze te verkleinen.
- De projecten van HHSK (dijkversterking KJK), WSVV (Noordelijke Randmeerdijk) en WDOD (Dijkversterking Zwolle-Olst zijn uitgevoerd op de werkvloer van Deltares door een team bestaande uit medewerkers van het Waterschap of van het advies- en ingenieursbureau en specialisten van Deltares. Door de goede samenwerking en korte communicatielijnen blijkt kennisoverdracht hierdoor goed plaats te kunnen vinden.
- Voor toekomstige projecten met een significante STBI scope wordt door een paar waterschappen aangegeven dat je een kansenscan zou willen/moeten toepassen. Daarbij is het van belang om in te schatten of dit effect heeft/zal hebben op het VKA of op andere faalmechanismen.
- Ook belangrijk is de gebruikersvriendelijkheid van de software en automatisering.
- Het blijkt nuttig dat een doorkijk/vertaling wordt gemaakt van de resultaten van enkele dwarsprofielen naar de scope van het gehele dijktraject. De kansenscan wordt daarmee ge-updatet.

Belangrijkste benodigde/wenselijke ontwikkelingen (methode en instrumentarium):

Software/tools:

- Mogelijkheid om andere variabelen/parameters dan sterkteparameters en waterspanningen als stochast in de prob. analyses te beschouwen ⁵
- Omgaan met meerdere maatgevende glijvlakken. De handreiking faalkans analyse macrostabiliteit kan hier bij helpen [Schweckendiek, et al.(2017)].

⁵ Of in ieder geval onderzoek waaruit volgt welke parameters je als stochast zou willen/moeten beschouwen. Denkende aan grondlagen, waterspanningen. Uit eerder onderzoek bij project KJK volgt dat volumegewicht als stochast waarschijnlijk niet/minder relevant is.

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief

- Voor toepassing van AS met constructies zijn tools in ontwikkeling (beginfase) zoals probabilistische methoden voor EEM met specifieke sampling-methods.

Documenten/handvatten:

- Update en samenvoegen van AS documenten is wenselijk, inclusief “praktijk voorbeeld” en alle inzichten van laatste 3 jaren (2016-2019), zodat we tot één AS verhaal komen. (opgemerkt wordt dat onderhavig achtergrondrapport beoogt hierop deels een antwoord te geven)
- Handvatten voor het vooraf inschatten van kansrijkheid van de methode zijn nodig (AS stap 0) .
- Correlaties tussen stochasten zijn een belangrijk aanneme bij AS stap 2 en 3. Diverse correlaties verdienen nog meer aandacht (en handvatten voor het gebruik zijn nodig). Bijvoorbeeld correlaties van sterkteparameters van verschillende grondlagen.
- Meerdere glijvlakken kunnen maatgevend zijn. Duidelijke handvatten hoe hiermee om te gaan zijn nodig. Meerdere glijvlakken kunnen maatgevend zijn voor verschillende waterstanden, of glijvlakken kunnen verschillend zijn voor semi-prob en prob. analyses.
- Een fragility curve die op basis van de buitenwaterstand is gemaakt is niet altijd maatgevend. De fragility curve kan bijvoorbeeld ook o.b.v. verkeersbelasting worden gemaakt. Handreiking/Handvatten hiervoor zijn belangrijk. Zie [Kanning & Schweckendiek, (2017)].
- Handvatten voor de schematisatie van een overleefde situatie (observatie) en ook het inzetten van een proefbelasting, zoals infiltratieproef of proef met verkeer. Voor regionale keringen is een overleefde verkeersbelasting (of bouwfase) conditie (meestal) extremer dan de te beoordelen “hoog water” conditie. AS stap 3 lijkt heel geschikt hiervoor.
- Meer informatie is nodig over koppeling DGeostability met Probabilistic toolkit.

Onderzoek:

- Vertaling van resultaat Bewezen Sterkte (AS stap 3) van dwarsprofiel naar dijkvak was reeds onderzocht (zie [Teixeira & Rosenbrand, 2017]) maar verdient nog verder onderzoek.
- Reststerkte door aanwezigheid van hoog voorland en door (kleine) glijvlakken die niet tot overstrooming leiden. Hoe deze aanwezige reststerkte voor macro-stabiliteit van het binnentalud kan worden meegerekend is nog niet onderzocht. Opgemerkt wordt dat in het kader van het dijkversterkingsproject Neder Betuwe (NeBe) van WSRL een methode is uitgewerkt waarmee de reststerkte van hoog voorland kan worden gekwantificeerd. Tevens wordt opgemerkt dat eind 2019 is gestart met een onderzoek om de reststerkte bij STBI (middels faalpadanalyse) te kwantificeren.
- Hoe om te gaan met Bewezen Sterkte zoals bijvoorbeeld bij een berekende hoog faalkans (of wel een lage béta) bij laag/dagelijks buitenwaterstanden (die meermaals zijn opgetreden).
- Hoe om te gaan met de onzekerheid in opbarsten en opdrijven (bv. toevoegen van een onzekerheid aan de sterkereductie factor en/of de uplift-factor (of het volumegewicht en waterspanningen). De modellering van opbarsten en/of opdrijven in een probabilistische analyse verdient nog aandacht. Handreiking/Handvatten hiervoor zijn belangrijk.
- Een betere definitie van het moment van begin van infiltratie door overslag (buitenwaterstand) en het moment van volledige verzadiging door infiltratie is nodig. Op dit moment worden 2 overslaggebieden gekozen: (i) waarbij de infiltratie begint en (ii) waarbij de dijk volledig verzadigd zit (meestal wordt 1 en 10 l/s/m gekozen maar dit is arbitrair). Uit de infiltratieproeven (zie paragraaf 2.4.5) volgen eerder 0,1 en 1.0 l/s/m/ als grenzen.

De kans op een bepaalde hoeveelheid overslag gegeven een waterstand is inmiddels goed te bepalen.

- De veiligheidsfilosofie voor regionale keringen vereist aandacht. De AS-methode is daar ook van toepassing.

Wat is cruciaal voor de implementatie en acceptatie van het resultaat?:

- Specialistische kennis /ervaring en kennisoverdracht.
- Uitlegbaarheid / communicatie AS (bestuurders en burgers).
- Robuust resultaat. Scope of resultaten moeten niet veel wijzigen (geldt voor zowel probabilistische als semi-probabilistische analyses).
- Het kunnen geven van een winstverwachting bij toepassing van de AS methode (vooraf).
- Bij het toepassen van Bewezen Sterkte: de benodigde observatie dient nagenoeg gelijk of groter te zijn dan de belasting onder beoordeling of ontwerpcondities.
- ENW acceptatie/advies (is reeds beschikbaar – zie bijlage A).
- Het continue monitoren van maatgevende belastingen kan nodig zijn als dit (in de toekomst) als observatie nodig is voor goedkeuren (AS stap 3).

Consequenties toepassing AS i.r.t. projectbeheersing:

Als naar de consequenties van toepassing van AS wordt gevraagd in relatie tot projectbeheersing (tijd/planning, geld, risico's, communicatie) wordt aangegeven dat toepassing voor het gehele dijktraject veel inspanning en doorlooptijd vergt en dat dit goed moet worden ingepast in het proces en op tijd moet worden gestart. AS stap 2 kost vooral meer tijd doordat men bekend dient te raken met de software en discussie en overleg over schematiseringskeuzes. Als er aanvullend grond- of laboratoriumonderzoek nodig is voor stap 1 kan dit ook tijd vergen.

AS is in de Verkenningsfase uitgevoerd of als parallel spoor zodat de eventuele winstpotentie (scope reductie) snel duidelijk is en kan worden meegenomen naar een volgende fase. Het toepassen van AS biedt kansen om de scope te verkleinen. De business case is snel rond, maar techniek is niet altijd leidend.

Voor beoordeling is de business case minder snel rond. Met name stap 3 kost veel inspanning (en dus geld) in relatie tot het uitvoeren van een regulier onderzoek voor de beoordeling. Het rendement van Bewezen Sterkte (AS stap 3) is afhankelijk van de beschikbaarheid en nauwkeurigheid van gegevens van de observatie en de observatie dient nagenoeg gelijk of groter te zijn dan de belasting onder beoordeling- of ontwerpcondities.

Risico is dat nieuwe technieken zich altijd verder (moeten) ontwikkelen en dat dit meevallers en tegenvallers kan opleveren.

Consequenties van AS toepassing voor het toekomstige beoordelingsproces:

Voor beoordeling mag worden verwacht dat gemiddeld een aanmerkelijk gunstiger resultaat worden bereikt (minder conservatief). Voor versterkingsprojecten waar AS wordt toegepast (voor scopereductie of voor het maken van een probabilistisch ontwerp) zal de beoordeling in de toekomst naar verwachting ook probabilistisch gaan plaatsvinden (Riskeer).

Afgezien van bovengenoemde zijn ook ervaringen opgebouwd binnen andere HBWP projecten en bij regionale keringen. Deze projecten zijn weergegeven in Tabel 3.6. Binnen enkele van deze projecten is naast een eventuele scopeverkleining ook onderzocht wat een probabilistisch ontwerp voor voordelen biedt t.o.v. een semi-probabilistisch ontwerp. Dit betreft de projecten GOWA (Gorkum – Waardenburg) en SAFE (Streefkerk – Ameide Fort Everdingen) beide gelegen binnen het beheergebied van WSRL. Hieruit volgt dat een probabilistisch ontwerp in de meeste gevallen aanmerkelijk geringere dimensies heeft. Voor dijkversterking NeBe (Neder Betuwe) is WSRL voornemens een probabilistisch ontwerp voor



11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief

enkele dijkvakken te verkennen. Aandachtspunten voor toepassen van AS zijn weergegeven in paragraaf 2.4.4.

Toepassing van het onderdeel Bewezen Sterkte (stap 3) levert ook bij regionale keringen niet altijd iets op. Faalkansanalyses op zich (stap 2) zullen naar verwachting echter een minder conservatief resultaat opleveren in vergelijking met semi-probabilistische analyses. Aandachtspunten voor toepassen van AS is weergegeven in paragraaf 2.4.3.

5 Conclusies en aanbevelingen

In dit achtergrondrapport zijn de 3 actuele sterkte stappen beschreven zoals toegepast binnen een aantal projecten voor STBI (macrostabiliteit van het binnentalud):

Stap 0: Inschatting kansrijkheid actuele Sterkte.

Stap 1: Detaillering schematisering en semi-probabilistische analyses.

Stap 2: Faalkansanalyses (ofwel probabilistische analyses).

Stap 3: Faalkans updating (Bewezen Sterkte) en proefbelasting.

Gesteld kan worden dat de actuele sterkte analyses, waaronder probabilistische analyses, op basis van de beschikbare gegevens uitgevoerd kunnen worden, ervan uitgaande dat ook voor semi- probabilistisch analyses voldoende informatie beschikbaar is. Naast de benodigde informatie voor semi-probabilistische analyses, is aanvullende informatie in principe niet vereist.

De methode die is toegepast is beschreven in de “Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating” [Kanning & Schweckendiek, 2017] - te downloaden via de POV-M website (www.povmacrostabiliteit.nl).

ENW heeft positief geadviseerd over de methode en aangegeven dat de methode generiek toepasbaar is (zie bijlage A). Gesteld kan worden dat een faalkansberekening ofwel probabilistische berekening geheel in lijn is met zowel het OI2014-v4 als ook het WBI2017, waarbij wordt opgemerkt dat de faalkansberekening voor macrostabiliteit waarschijnlijk vanaf circa 2020 ook in het WBI2017 wordt opgenomen.

AS is al voor diverse projecten toegepast. Voor regionale keringen vooral voor verkenning van de potentiële winst van faalkansanalyses (stap 2) en bewezen sterkte (stap 3). Voor de HWBP projecten (primaire keringen) is AS vooral toegepast als nadere vaststelling van de scope en heeft voor STBI in de meeste gevallen een scopereductie gegeven of geeft aan dat de kans hierop groot is als AS na een eerste verkenning wordt uitgerold voor de gehele STBI scope van het dijktraject. Voor primaire waterkeringen zijn vooral stap 1 en stap 2 toegepast, aangezien hier de meeste winst te behalen lijkt.

Uit de resultaten volgt dat de aanpak succesvol is en veel oplevert. Voor de primaire keringen werd duidelijk winst geboekt door nadere detaillering van de schematisatie en het uitvoeren van specifiek grondonderzoek (stap 1). Dit kwam bijv. duidelijk tot uiting bij het HWBP project Noordelijke Randmeerdijk van WSVV.

Ook voor Beoordeling is AS ingezet waaruit volgde dat met bewezen sterkte grote kans is op goedkeuren van STBI van een groot deel van de Vestingwal te Hellevoetsluis door de overleefde situatie van 1953 te beschouwen. Maar zo'n historische belastingsituatie is er niet altijd. Bijstellen van de faalkans kan ook door een proefbelasting te ontwerpen en toe te passen. Als de dijk deze belasting zonder problemen overleeft, kan goedkeuring worden verleend.

De winst in termen van scopereductie is in dit rapport voor vier dijktrajecten gekwantificeerd. Daaruit volgt dat de scope voor STBI met circa 10 km is gereduceerd. Voor het AS-spoor in de referentieprojecten zijn binnen de POVM analyses uitgevoerd om het rendement van de toepassing van AS te bepalen. Het gaat dan vooral om een verkleining van de versterkingsopgave voor macrostabiliteit. Gebleken is dat het rendement voor de referentieprojecten aanzienlijk was en dat een extrapolatie naar het HWBP-programma een substantiële kostenbesparing oplevert.

Inmiddels zijn gesprekken gaande met enkele andere waterschappen om de kansrijkheid van AS in te schatten voor HWBP projecten die nu al of in 2020 starten met de Verkenningsfase. Zo'n kansenscan kan door experts van Deltares in samenwerking met het Waterschap en evt. betrokken advies- of ingenieursbureaus worden uitgevoerd. Inmiddels is duidelijk dat bij de ingangstoets voor elk project zal moeten worden onderbouwd waarom AS al dan niet wordt toegepast (het zogenaamde 'comply or explain' principe). Het kan voordelig zijn om geavanceerde analyses al bij ingangstoetsen van het HWBP toe te passen. In dat geval zou voor projecten al bij het opstarten meer zekerheid over de scope bestaan

Een belangrijk aandachtspunt voor toepassing van AS is de verspreiding van de binnen de POVM gegenereerde kennis naar marktpartijen die daar mee moeten ontwerpen. Ook als er een opgave is voor meerdere faalmechanismen blijft AS even goed bruikbaar en levert vrijwel zeker een gemiddeld lichter ontwerp op.

In dit rapport is hoofdzakelijk ingegaan op de toepassing van AS voor STBI bij HWBP projecten. De methode kan echter ook worden toegepast voor STBU en bij regionale keringen. De voorwaarden en aandachtspunten hiervoor zijn in dit rapport weergegeven.

Inmiddels is probabilistisch ontwerpen voor STBI al bij enkele HWBP projecten toegepast, zij het (nog) in verkennende context. Ten behoeve van een workshop over probabilistisch rekenen en ontwerpen bij WSRL is intern bij Deltares over voor- en nadelen nagedacht. De hoofdzakelijk vanuit technische invalshoek gegeven aspecten zijn in dit rapport weergegeven. Visie is dat probabilistische ontwerpen de toekomst heeft. De WBI beoordeling wordt op termijn probabilistisch (standaard) en probabilistisch ontwerpen sluit daar goed op aan.

Probabilistisch ontwerpen maakt ontwerpen beter, en naar verwachting in 80% van de gevallen minder conservatief, met een kleinere versterkingsopgave. Weliswaar wordt er lokaal iets ingeleverd op veiligheid (minder conservatief), maar over het dijktraject als geheel is probabilistisch ontwerpen veiliger.

Op basis van interviews zijn de effecten – voor met name het waterschap en betrokken ingenieurs- en adviesbureaus – beschreven van het toepassen van AS voor STBI op (dijkversterkings)projecten. Daarnaast zijn voor een aantal projecten de aandachtspunten geïnventariseerd voor een succesvolle implementatie van AS en BS. Dit zijn onder andere:

- AS is vooral toegepast om de winstpotentie (reductie van de scope voor STBI) nader te kunnen onderbouwen.
Het opdoen van kennis en toepassingservaring wordt als belangrijk punt genoemd. Dit geldt vooral voor de faalkansanalyses.
- De kansenscan of expertsessie (AS-stap 0) was erg nuttig; het is dan ook belangrijk om deze vroeg in het proces te doen, in feite in elk project met een significante STBI-scope.
- Het toepassen van AS biedt kansen om de scope te verkleinen. Vanuit dat oogpunt is de businesscase snel rond, maar techniek is niet altijd leidend voor de beslissing om AS wel of niet toe te passen. Zo is voor de Beoordeling conform WBI de businesscase complexer: de kosten voor AS-onderzoek zijn immers niet direct af te zetten tegen de reductie van de versterkingskosten, omdat de financiering bij verschillende partijen ligt.
Met name AS-stap 3 kost meer inspanning (en dus geld) dan een regulier onderzoek voor de Beoordeling.
- Uitgangspunten samenstellen (AS-stap 0) kost tijd en kan een iteratief proces zijn.
Toepassing voor het gehele dijktraject kost veel inspanning en doorlooptijd; dit moet goed en tijdig in het proces worden ingepast.

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief

- Het blijkt nuttig dat een doorkijk/vertaling wordt gemaakt van de resultaten van enkele dwarsprofielen naar de scope van het gehele dijktraject. De kansenscan wordt daarmee geactualiseerd.
- In de meeste gevallen zijn de waterschappen van plan om AS uit te rollen voor het gehele dijktraject.
- Voor gevallen waar de methode niet tot goedkeuren leidt hebben enkele waterschappen het voornemen geuit te onderzoeken welke voordelen een probabilistisch ontwerp biedt ten opzichte van een semi-probabilistisch ontwerp.
- Voor versterkingsprojecten waar AS wordt toegepast zal de Beoordeling in de toekomst ook probabilistisch moeten plaatsvinden (Riskeer).

Tot slot bevat dit rapport aanbevelingen die de (project)resultaten kunnen verbeteren of de uitkomst realistischer kunnen maken. Omdat de POVM eind 2020 ophoudt te bestaan, is het van belang dit onderzoek een goede plaats te geven in toekomstige onderzoeksprogramma's. Een eerste aanzet wordt/is reeds gegeven door enkele onderdelen op te nemen in de Kennis en Innovatie Agenda (KIA) van het HWBP.

De aanbevelingen in het kort:

- documenten/handvatten dienen te worden opgesteld, bijv. voor inschatten kansrijkheid, correlaties, meerdere glijvlakken maatgeven, schematisering van een overleefde situatie (observatie) en inzetten van een proefbelasting. Daarnaast is ook de uitwerking van een praktijkvoorbeeld wenselijk.
- De vertaling van het resultaat van BS van dwarsprofiel naar dijkvak verdient verder nader onderzoek.
- Hoe om te gaan met reststerkte dient nader te worden onderzocht.
- Hoe om te gaan met BS, bijvoorbeeld bij een berekende hoge faalkans bij lage en of dagelijks optredende buitenwaterstanden verdient nader onderzoek.
- Hoe om te gaan met de onzekerheid in opbarsten en opdrijven verdient nader onderzoek.
- Een betere definitie opstellen van het moment van begin van infiltratie door overslag (buitenwaterstand) en het moment van volledige verzadiging door infiltratie. Tevens een betere schematisering maken van de verzadiging (freatisch vlak) in de dijk.
- Meer aandacht voor de veiligheidsfilosofie voor regionale keringen.
- Hoe om te gaan met AS voor STBU verdient nader onderzoek.
- Bevorderen van de gebruikersvriendelijkheid van software en automatisering.

Referenties

- Kanning, W. & Schweckendiek, T. (2017). Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating – Groene Versie – Macro stabiliteit Binnenwaarts. Deltares rapport 11200575-014-GEO-0001, Versie 3, 22 september 2017, definitief.
- ENW (2009) Technisch Rapport Actuele Sterkte van dijken, Gedetailleerde en geavanceerde methoden voor de beoordeling van de macro stabiliteit binnenwaarts, Expertise Netwerk Waterveiligheid, 27 maart 2009
- Schweckendiek, T. , van der Krogt, M., Rijnveld & Teixeira, A. (2017). Handreiking Faalkansanalyse Macro stabiliteit – Groene versie. Deltares rapport 11200575-016-GEO-0005, Versie 03, 3 oktober 2017, definitief
- POVM 2018-1, Rozing A.& Teixeira A, POVM Actuele sterkte Noordelijke Randmeerdijk WSVV, Faalkansanalyses profiel R032+020 en R037+85, POVM rapport Deltares kenmerk 11202631-002, juni 2018
- Rozing, A. & Schweckendiek, T. (2016). POVM Beter benutten actuele sterkte KIJK. Activiteit 6 Faalkans updating 3 cases. POV Macro stabiliteit rapport, Deltares project: 1230804-002, definitief, versie 2, april 2017.
- KPR (2018). Factsheet: Omgang met buitenwaartse macro stabiliteit, KPR 15 maart 2018;
- KPR (2019-1). Discussiestuk: Omgang met buitenwaartse stabiliteit (STBU) in het rivierengebied, KPR, 8 februari 2019
- Lievense CSO (2016), POV Macro stabiliteit Business cases, Bestuurlijke samenvatting, Referentie 15M2060, Datum 1 april 2016.
- Lievense CSO (2018), Finale update en conclusies Business cases POVM (fase 3), project 15M2060, Datum 26-03-2018 Inclusief update d.d. April 2018
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2017a). Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I. Procedure beoordeling veiligheid primaire waterkeringen. RWS, WVL, januari 2017.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2017b). Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017. Bijlage II. Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2017c). Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017. Bijlage III. Sterkte en veiligheid primaire waterkeringen. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving. (2016a). Schematiseringshandleiding Macro stabiliteit - WBI 2017. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rapport, definitief, versienummer 2.1, 1 december 2016.
- Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving. (2017). Schematiseringshandleiding piping. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rapport, definitief, versienummer 2.2, 2 januari 2017.
- Rijkswaterstaat. (2017). Handreiking ontwerpen met overstromingskansen. RWS-WVL, Rapport, versie OI2014v4, februari 2017, versienummer 4, Definitief.
- Zwanenburg, C., van Duinen, A., & Rozing, A. (2013). Technisch Rapport Macro stabiliteit. Deltares, Rapport, 1204203-007, Concept, 20 februari 2013.

A ENW advies, 10 maart 2017

A.1 Advies Bewezen Sterkte

Aan Directoraat-Generaal Ruimte en Water, 10 maart 2017

(zie ook <https://www.enwinfo.nl/index.php/adviezen-2017-2>)

Het onderwerp Bewezen Sterkte staat al langer op de agenda van het ENW. Door DGRW en Rijkswaterstaat wordt in nauwe samenwerking met Deltares en enkele beheerders gewerkt aan het ontwikkelen van een praktisch toepasbare methode, in eerste instantie gericht op het meenemen overleefde belastingen bij macrostabiliteitsanalyses. Het ENW herhaalt haar eerdere advies aan DGRW over de juistheid van de methode, die generiek toepasbaar is, maar wel altijd maatwerk vergt bij toepassing in een project. De methode is nu dermate ver uitgewerkt, dat geadviseerd wordt het concept op meerdere plekken te gaan toepassen. Ook voor de Markermeerdijken ziet het ENW kansen, zeker als een werkwijze wordt gevolgd zoals bij project KJK van HHSK.

Navolgend is de formele brief weergegeven:

Ministerie van Infrastructuur en Milieu
T.a.v. de Directeur-Generaal Ruimte en Water
de heer drs. P.R. Heij
Postbus 20901
2500 EX DEN HAAG

Contactpersonen
ir. D.P. de Bake

Datum
10 maart 2017

Ons kenmerk
ENW-17-08

Onderwerp
Advies bewezen sterkte

Telefoonnummer
06 30389143

Bijlage(n)

Uw kenmerk
IENM/BSK-2016/115893

Afschrift aan
Nijenhuis, DGRW

Geachte heer Heij,

U heeft op 2 juni 2016 een adviesvraag aan het ENW gesteld over de kwaliteit en toepasbaarheid van de ontwikkelde methode voor het toepassen van het concept bewezen sterkte bij het beoordelen van 'stabiliteit binnenwaarts' (ref. IENM/BSK-2016/115893). U heeft het ENW gevraagd op de volgende vijf aspecten in te gaan.

1. Juistheid van de methode
2. Toepasbaarheid voor het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts bij meerdijken
3. De toepassingsvoorwaarden bij de methode (par. 6.5)
4. Aandachtspunten voor de toepassing van de methode op meerdijken
5. Indien mogelijk, een inschatting van de mogelijke impact van de methode op meerdijken

In oktober 2016 heeft het ENW positief geadviseerd over de methode (advies ENW-16-13). Nieuw beschikbare informatie geeft geen aanleiding dit advies te herzien. In voorliggend advies komen de punten 2 t/m 5 aan bod.

Wanneer het over de methode bewezen sterkte gaat, wordt bedoeld op een probabilistische faalkans-analyse waarbinnen 'reliability updating' wordt toegepast. Reliability updating houdt in dat in het verleden overleefde belastingen expliciet mee worden genomen in de analyse. Er vindt feitelijk een correctie op de berekende faalkans plaats.

De sterkte en daarmee de veiligheid van een dijk wordt op deze manier beter ingeschat wat resulteert in een nauwkeuriger veiligheidsbeeld dan een reguliere semi-probabilistische analyse. Door het nauwkeuriger veiligheidsbeeld na de faalkansanalyse (al dan niet in combinatie met reliability updating) kan mogelijk wel aan de eis worden voldaan, waardoor deze technieken mogelijk ingrijpende dijkversterkingen kunnen verminderen of voorkomen.

Sinds het positieve ENW advies over de methode uit oktober 2016 is meer informatie beschikbaar gekomen, waaronder een geactualiseerde beschrijving van de methode en enkele uitgewerkte cases. Deze nieuwe informatie bevestigt ons eerdere advies over de juistheid van de methode. De methode is generiek toepasbaar, dat wil zeggen voor meerdijken, maar ook voor bijvoorbeeld rivierdijken. Er zijn nauwelijks

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief

toepassingsvoorwaarden. Wel is toepassen van de methode maatwerk en is een passend inhoudelijk niveau vereist om de analyses uit te voeren. In de verschillende watersystemen zal de methode echter meer of minder opleveren.

Het project 'Beter benutten actuele sterkte' voor de dijken langs de Hollandse IJssel (project KIJK) heeft in de afgelopen periode aangetoond dat ook daar de methode toepasbaar is en dat de veiligheidsopgave substantieel lijkt te kunnen worden verkleind. De eerste resultaten gebaseerd op drie uitgewerkte cases zijn in elk geval erg hoopvol. Dat vereiste wel een maatwerk aanpak. Begeleid door specialisten van Deltares, zijn drie teams (twee adviesbureaus en Deltares zelf) met de door Deltares ontwikkelde methode en software aan de slag gegaan, waardoor er interactie ontstond tussen de ontwikkelaars van de methode en de gebruikers, maar ook tussen de gebruikers onderling. Keuzes zijn met elkaar gedeeld en uitgediscussieerd, resultaten zijn gezamenlijk besproken waardoor vertrouwen ontstond. Een aanpak in een dergelijke 'beheerste setting' is wat het ENW betreft een voorbeeld en eigenlijk essentieel om vertrouwen te krijgen in een nieuwe methode. Het ENW raadt deze werkwijze dan ook van harte aan.

Geadviseerd wordt dan ook om bij het elders toepassen van deze nog in ontwikkeling zijnde methode aan te sluiten bij de werkwijze die ook voor de Hollandse IJssel is gehanteerd. Op deze manier kunnen eventuele tekortkomingen in de toepassing van de methode vroegtijdig worden gesignaleerd en opgelost. Dit draagt niet alleen bij aan een beter resultaat van de analyses, maar ook aan het verbeteren van de methode.

Ook voor het project Markermeerdijken ziet het ENW nog steeds mogelijkheden. Hoewel het ENW zich realiseert dat dit project inmiddels vergevorderd is in de planstudie, acht het ENW het raadzaam om probabilistische stabiliteitsanalyses en reliability updating uit te voeren analoog aan die bij het project KIJK. Of de methode bij de Markermeerdijken eveneens significant positieve resultaten oplevert, blijft de vraag. Een inschatting van het effect kan het ENW op voorhand niet maken. De situaties zijn immers verschillend, bijvoorbeeld wat betreft de ondergrond, opbouw van de dijken en overleefde belastingen. Door een aantal dwarsdoorsneden te analyseren moet naar het inzicht van het ENW spoedig duidelijkheid ontstaan over het effect van deze analyse op de scope van het project.

Het ENW wil wel graag aandacht vestigen op de volgende aspecten bij het toepassen en doorontwikkelen van de methode:

- De aanname dat bij overslag de waterkering als gevolg van infiltratie volledig verzadigd zal zijn, is mogelijk conservatief. De probabilistische benadering wordt hier nog niet volledig gevolgd.
- Bezwijken hoeft niet in alle gevallen tot een overstroming te leiden, wanneer het overgebleven profiel nog voldoende reststerkte bezit (bijvoorbeeld bij een ondiep glijvlak). Dit betekent dat de berekende faalkans nog verder kan worden verkleind.
- Het ENW onderschrijft het voornemen om de methode dusdanig door te ontwikkelen dat deze ook toepasbaar wordt voor andere faalmechanismen dan macrostabiliteit en voor meerdere typen belastingen en observaties. Ook is het van het grootste belang de methode toepasbaar te maken voor gebruik in het ontwerp van verschillende typen waterkeringen, waaronder ook kunstwerken. Er moet voldoende aandacht zijn voor de vertaling van de methode naar praktisch toepasbare software voor de verschillende faalmechanismen.

Wij hopen u naar tevredenheid van advies te hebben voorzien.

Hoogachtend,



Ir. G. Verwolf
Voorzitter van het Expertise Netwerk Waterveiligheid

A.2 Advies Beter benutten actuele sterkte (KIJK)

Aan Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, 10 maart 2017
(zie ook <https://www.enwinfo.nl/index.php/adviezen-2017-2>)

Het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard heeft het ENW om advies gevraagd over het beter benutten van actuele sterkte van de dijken gelegen langs de Hollandse IJssel aan de Krimpenerwaardzijde tussen Gouda en Krimpen aan den IJssel. Onder actuele sterkte wordt verstaan de combinatie van gedegen schematiseren, probabilistisch rekenen en het in rekening brengen van overleefde belastingen. Het ENW acht de aanpak zorgvuldig en juist en juicht de gekozen werkwijze, met meerdere teams die elkaars werk beoordelen en bespreken, van harte toe. Voor dit project blijkt nauwkeurig schematiseren en het uitvoeren van probabilistische berekeningen (stap 1 en 2) al tot een aanzienlijke reductie van de faalkans te leiden, met als resultaat het goedkeuren van twee van de drie beschouwde doorsneden. Een bepalende factor is overslag en infiltratie. Helaas zijn hiervan geen historische gegevens beschikbaar, waardoor het effect van Bewezen Sterkte (stap 3) is in deze gevallen beperkt is. Dit komt mede door de al hoge betrouwbaarheid en dus lage faalkans die al in stap 2 is bereikt. Het ENW is ondersteunt het voorstel praktijkproeven te doen gericht op infiltratie en verzadiging.

Navolgend is de formele brief weergegeven

College van dijkgraaf en hoogheemraden
van Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard
Postbus 4059
3006 AB ROTTERDAM

Contactpersonen
ir. D.P. de Bake

Datum
10 maart 2017

Ons kenmerk
ENW-17-07

Onderwerp
Advies Beter benutten actuele sterkte KJK

Telefoonnummer
06 30389143

Bijlage(n)

Uw kenmerk
2017.00505

Afschrift aan
Werumeus Buning, HHSK
Stoop, HHSK
Heij, DGRW

Geacht college,

U heeft op 23 januari 2017 een adviesvraag bij het ENW ingediend (ref 2017.00505) over het beter benutten van actuele sterkte van de dijken gelegen langs de Hollandse IJssel aan de Krimpenerwaardzijde tussen Gouda en Krimpen aan den IJssel. Deze dijken zijn in de 3^e toetsronde afgekeurd op macrostabiliteit. Tijdens de stormvloed van 1953 heeft de dijk langs de Krimpenerwaard een hogere waterstand moeten keren dan de waterstand die bij de oude en nieuwe norm is gehanteerd voor toetsing respectievelijk stabiliteitsberekeningen. Dit gegeven vormde aanleiding om binnen de POV Macrostabiliteit het deelproject 'Beter benutten actuele sterkte KJK' te starten, waarbinnen een nadere beschouwing van de veiligheid tegen verlies van binnenwaartse macrostabiliteit is uitgevoerd, in drie stappen:

1. Aanscherpen van de conventionele semi-probabilistische analyses aangescherpt door detaillering van de schematisering, mede op basis van eerder in POV-M kader uitgevoerd grondonderzoek en monitoring.
2. Uitvoeren van een probabilistische faalkansanalyse.
3. Informatie van overleefde belastingcondities toevoegen middels de bewezensterkte techniek. (Eng: 'reliability updating with past performance'), wat in geval van significante observaties van dominante belastingen tot verhoging van de betrouwbaarheid leidt.

U heeft, specifiek ten aanzien van het project KJK, de volgende vier vragen gesteld.

1. Acht het ENW de omschreven aanpak en het daarmee behaalde resultaat van de uitvoering van stap II op profielniveau van voldoende kwaliteit om stand te kunnen houden bij een eerstvolgende beoordelingsronde?
2. Indien het antwoord op de eerste vraag niet zonder voorbehoud bevestigend is, welke aspecten in de uitwerking worden dan nog gemist of welke bezwaren staan dan nog in de weg?
3. Welke aanbevelingen heeft het ENW ten aanzien van de uitwerking van de vertaling van de behaalde resultaten van stap II op profielniveau naar resultaten op deeltrajectniveau van zekere lengte?

4. Acht het ENW de voorgestelde proefbelasting in de vorm van infiltratie van de dijk, zoals omschreven in het rapport 'Faalkans updating 3 cases', kansrijk om waar nodig alsnog voldoende veiligheid ten aanzien van binnenwaartse macrostabiliteit aan te tonen?

Voor dit advies is gebruik gemaakt van het POV-Macro stabiliteit-rapport 'Beter benutten actuele sterkte KIJK' van december 2016, drie bijbehorende uitgewerkte cases, resultaten van een eerder uitgevoerde expert-review en een mondelinge toelichting op uw vraag door de heer Stoop (HHSK) en het uitgevoerde onderzoek door de heer Schweckendiek (Deltares) in de ENW-werkgroep Veiligheid vergadering van 2 februari 2017.

Het onderzoek dat momenteel binnen de POV Macro stabiliteit wordt uitgevoerd is niet projectspecifiek en reikt dus verder dan project KIJK. Het ENW wordt op de hoogte gehouden van de voortgang van de POV en ziet uit naar de (tussen)resultaten die dit jaar worden verwacht.

Algemene opmerkingen

Als gevolg van nauwkeurig schematiseren en het uitvoeren van probabilistische berekeningen (stap 1 en 2) wordt een aanzienlijke reductie van de faalkans verkregen met als resultaat het goedkeuren van twee van de drie doorsneden. De bepalende factor bij de beoordeling is overslag en infiltratie. Het effect van Bewezen Sterkte (stap 3) is in deze gevallen beperkt vanwege de al hoge betrouwbaarheid en dus lage faalkans die al in stap 2 is bereikt. Daarnaast is er geen (zekere) observatie van de verzadigingsgraad van de dijken in 1953 beschikbaar. In de berekeningen is daarom het conservatieve uitgangspunt van volledige infiltratie gehanteerd en is inzichtelijk gemaakt dat een lagere freatische lijn de betrouwbaarheid aanzienlijk vergroot. Uw voorstel om door middel van infiltratieproeven (al dan niet in combinatie met beperkte bovenbelasting) condities te creëren om de invloed van infiltratie op de freatische lijn te onderzoeken, ondersteunt het ENW van harte.

Antwoorden op vragen

1. *Acht het ENW de omschreven aanpak en het daarmee behaalde resultaat van de uitvoering van stap II op profielniveau van voldoende kwaliteit om stand te kunnen houden bij een eerstvolgende beoordelingsronde?*

De aanpak oogt heel zorgvuldig en de theoretische principes worden goed toegepast. Uit zowel de rapportage, de cases als de toelichting in de ENW-werkgroep Veiligheid spreekt veel begrip voor de materie en dat wekt vertrouwen. Ook de kwaliteitsborging is zorgvuldig uitgevoerd, doordat drie teams hun resultaten over de drie cases onderling hebben uitgewisseld en besproken. Deze manier van werken juicht het ENW toe.

Of zowel de aanpak als de resultaten van voldoende niveau zijn om stand te kunnen houden bij een eerstvolgende beoordelingsronde, hangt af van de vraag of er nog tegenvallers optreden bij de verdere ontwikkeling. Het ENW acht dit onwaarschijnlijk omdat er bij de huidige toepassing is uitgegaan van een aantal conservatieve uitgangspunten.

2. *Indien het antwoord op de eerste vraag niet zonder voorbehoud bevestigend is, welke aspecten in de uitwerking worden dan nog gemist of welke bezwaren staan dan nog in de weg?*

Er lijkt nog ruimte te zijn voor optimalisatie van de methode, leidend tot minder conservatisme en beter passend bij de probabilistische aanpak. Dit leidt naar verwachting tot een nog scherpere beoordeling van de veiligheid en daarmee tot een reductie van de veiligheidsopgave. Op de volgende aspecten zijn naar het inzicht van het ENW nog conservatieve aannames gehanteerd:

- De kans op golfoverslag van meer dan 1 l/m/s (die zeer bepalend is voor de kans op macro-instabiliteit) bij uiteenlopende waterstanden is conservatief bepaald en niet bepaald op basis van de gezamenlijke statistiek van waterstanden en golven.



- Aanneمة van volledige verzadiging bij overslag.
- Bezwijken hoeft niet altijd tot overstroming te leiden, wanneer het overgebleven profiel nog voldoende reststerkte bezit.

Het nog aanwezige conservatisme is overigens onderdeel van een bredere problematiek. De oplossing ligt vooral in het in de praktijk toepassen van de nieuwe norm in termen van de overstromingskans en bijbehorende nieuwe rekenmethoden. Bij een zorgvuldige implementatie van de overstromingskans zullen conservatieve aannames geleidelijk verdwijnen en er zal ook meer balans komen in de resultaten van berekeningen.

3. *Welke aanbevelingen heeft het ENW ten aanzien van de uitwerking van de vertaling van de behaalde resultaten van stap II op profielniveau naar resultaten op deeltrajectniveau van zekere lengte?*

De vertaling van profiel- naar deeltrajectniveau verandert niet door de methode van bewezen sterkte. Vandaar dat er kan worden aangesloten bij de werkwijze die hiervoor is ontwikkeld binnen het wettelijke beoordelingsinstrumentarium en VNK.

4. *Acht het ENW de voorgestelde proefbelasting in de vorm van infiltratie van de dijk, zoals omschreven in het rapport 'Faalkans updating 3 cases', kansrijk om waar nodig alsnog voldoende veiligheid ten aanzien van binnenwaartse macrostabiliteit aan te tonen?*

U stelt voor om met proefbelasting gericht op infiltratie en verzadiging (eventueel met beperkte bovenbelasting) condities te creëren om de invloed van infiltratie op de freatische lijn te onderzoeken. Hierdoor kan (ook) de faalkansanalyse in stap 2 mogelijk 'scherper' worden, hetgeen mogelijk winst kan opleveren bij andere dijkvakken. Het ENW pleit ervoor om ook proeflocaties die bij stap 2 al worden 'goedgekeurd', bij de selectie van proeflocaties te betrekken. Hoewel de keuze voor een proefduur van 8 uur op basis van sluitduur van de Hollandse IJsselkering logisch klinkt, raadt het ENW aan om de proef langer te laten doorlopen. Mocht in een later stadium bijvoorbeeld blijken dat op basis van veranderde inzichten de dijken toch wat langer zullen worden belast, dan hoeven de proeven niet opnieuw te worden uitgevoerd. Ook is het verstandig om nog eens goed te kijken of de breedte van de proefbelasting van 35 m voldoende is vanwege effecten aan de rand van de proeflocatie.

Tenslotte

Bij het advies uit 2015 aan DGRW over de normering van de toenmalige B-keringen (ENW-V-15-07) heeft het ENW onder andere voor de Maeslant- en Hollandse IJsselkering geadviseerd een integrale systeembeschouwing uit te voeren, waarbij de doelmatigheid dient te worden nagegaan van een strengere eis aan voorliggende kering(en) en minder strengere normen voor de waterkeringen langs de Hollandse IJssel ten opzichte van de huidige normen in de Waterwet. Op dit moment wordt onderzocht welke oplossingen voor de Hollandse IJssel het best passend zijn. Het ENW wil graag op de hoogte worden gesteld van de afwegingen die met betrekking tot de Hollandse IJsselkering zijn of nog worden gemaakt.

Wij hopen u naar tevredenheid van advies te hebben voorzien.

Hoogachtend,

Ir. G. Verwolf
Voorzitter van het Expertise Netwerk Waterveiligheid

B Verslagen expertsessies

B.1 Expertsessie Actuele Sterkte WSVV Noordelijke Randmeerdijk d.d. 20-12-2017



UW WATERSCHAP

Adres Steenbokstraat 10
Postbus 4142
7320 AC Apeldoorn

Telefoon (055) 527 29 11

E-Mail info@vallei-veluwe.nl

Website www.vallei-veluwe.nl

*Inschatting kansrijkheid Actuele Sterkte
POV-M voor Noordelijke Randmeerdijk*

Besprekingsverslag

Datum 20 december 2017

Aanwezig Ben Rijnveld: Fugro (betrokken bij POV-M Beter benutten actuele sterkte)
Arno Rozing: Deltares (betrokken bij POV-M Beter benutten actuele sterkte)
Edward Bruijn en Coen Steetzel: WiBo (Verkenning Noordelijke Randmeerdijken)
Joost Borgers: WSVV (TM Noordelijke Randmeerdijken)

Afwezig Timo Schweckendiek: (Deltares)

Kopie aan Aan- en afwezig

Opgemaakt door

Volgende vergadering

Aanleiding en doel overleg:

Aanleiding is een overleg tussen WSVV, POV-P en POV-M d.d. 23-11-2017 waarin o.a. door de POV-M aangegeven dat er mogelijk grote te verzilveren nieuwe inzichten zijn, die de scope voor macrostabiliteit aanzienlijk zullen kunnen verkleinen.

Doel van deze expert-sessie POVM is het maken van een eerste inschatting van kansrijkheid van actuele sterkte (ontwikkeld in de POV-M) op de verkenningsscope van de Noordelijke Randmeerdijk.

Voorafgaand aan het overleg is informatie gedeeld:

- Korte beschrijving van het project, ingezoomd op de geotechnische onderbouwing inclusief agenda;
- Overzicht veiligheidsopgave;
- Locaties onderzoek inclusief gepland aanvullend grondonderzoek R32 & R77;
- 3 dwarsprofielen;
- Uitgangspunten parameters;
- Relevante sonderingen en boringen;
- Grafische uitvoer D-GeoStability 3 dwp's.

Toelichting project Noordelijke Randmeerdijken:

Door Joost wordt een inleiding gegeven van het HWBP-project de Noordelijke randmeerdijken.

Door Coen, aangevuld door Edward, wordt een toelichting op de geotechnische aspecten gegeven waarbij vooral op de 3 beschouwde dwarsprofielen wordt ingegaan waarvoor macro-stabiliteitsanalyses zijn uitgevoerd op basis van de laatste inzichten OI2014v4.

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief

Datum 20 december 2017
Onderwerp Inschatting kansrijkheid Actuele Sterkte POV-M voor Noordelijke Randmeerdijk
Pagina 2 van 6

(Voor nadere info wordt verwezen naar de voorafgaand aan dit overleg toegestuurde informatie).

Opmerkingen.

- Joost benadrukt dat evt. scopeverkleining door actuele sterkte grote impact kan hebben. Niet alleen inhoudelijk (de verkleining van de versterkingsopgave zelf) maar ook qua proces, impact en planning. Doel is dan ook om zo snel als mogelijk inzicht te hebben in kansrijkheid.
Actuele sterkte onderzoek zou parallel als mogelijk te onderzoeken 'versterkingsvariant' kunnen worden beschouwd (Jasper Tamboer)
- Het betreft hier normtraject 11-3; 1:300 (bepalend hiervoor is schade bij doorbraak), twee waterschappen zijn betrokken (12,7km WSVV en 0,3km WDO).
- Het project bevindt zich nu in de verkenningsfase en daarbinnen in de analysefase (ontwerpproces richting zeef 1)
- Ongeveer 90% is groene dijk waar een traditionele dijkverbetering met grond mogelijk is, maar vanwege landschappelijke- en cultuurhistorische waarden niet wenselijk is.

Uitleg actuele sterkte:

Vervolgens wordt door Arno, aangevuld door Ben, een uitleg gegeven van de 3 actuele sterktestappen. Dit aan de hand van de resultaten van het POV-M onderzoek *Beter benutten actuele sterkte* waarbij het DV-project KIJK (HHSK) als referentieproject diende.

Actuele sterkte onderzoek bestaat uit 3 stappen.

- Stap 1 betreft detaillering schematisering en semi-probabilistische analyses.
- Stap 2 betreft het uitvoeren van faalkansanalyses (ofwel probabilistische analyses).
- Stap 3 betreft faalkans updating ofwel bewezen sterkte. stap 3 is arbeidsintensief (qua doorlooptijd) en de potentiële winst is beperkt. Deze laatste stap is verder voor de Noordelijke randmeerdijken niet besproken, omdat de eerste twee stappen over het algemeen het meeste rendement opleveren en er geen sprake lijkt te zijn van een historische hoge overleefde belasting (zeer hoge waterstand).

achtergrondinformatie

- Voor de analyses voor DV KIJK is gerekend met een aangepaste faalkansruimteverdeling. 24 % i.p.v. 4% voor macrostabiliteit. Als gevolg hiervan is voor piping (niet relevant voor KIJK) een faalkansruimte van 4 i.p.v. 24% gehanteerd. Hierdoor is de vereiste stabiliteitsfactor van 1.28 naar 1.19 gegaan. Omdat voor de noordelijke randmeerdijken piping relevant is lijkt de keuze voor een andere faalkansverdeling niet tot veel optimalisatie te leiden. Dit zou echter kort kunnen worden verkend.
- De afstand tussen de stabiliteitsnorm en berekende stabiliteitsfactor was voor de beschouwde cases van KIJK circa 0.15-0.20. Door prob. analyses werd in 2 gevallen geheel en in 1 geval bijna voldaan aan de vereiste betrouwbaarheid.
- Voor nagenoeg gehele resterende dijktraject van KIJK zijn vervolgens ook prob. analyses uitgevoerd met gemiddeld genomen gunstigere resultaten dan de semi-probabilistische analyses. Opgemerkt wordt wel dat in één geval een ongunstiger resultaat werd bereikt door de prop. analyse.

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief

Datum 20 december 2017
Onderwerp Inschatting kansrijkheid Actuele Sterkte POV-M voor Noordelijke Randmeerdijk
Pagina 3 van 6

Werkessie Stap 1: detaillering schematisering en semi-probabilistische analyses

- In 2013 heeft onderzoek plaatsgevonden naar tijdsafhankelijke grondwaterstroming. Dit voor wat betreft het freatisch vlak. Hiervoor zijn door Arcadis (Hans Niemeijer) grondwaterstromingsberekeningen uitgevoerd met PLAXFLOW. Conclusie was dat freatisch vlak slechts ter plaatste van het buitentalud verandert t.o.v. dagelijkse omstandigheden. Dit als gevolg van de korte duur van het hoogwater (storm 35 uur maar top enkele uren) en kernmateriaal van klei. Er blijken destijds geen waterspanningsmetingen in de dijk zelf te zijn uitgevoerd. Er is grote onzekerheid over waterspanningen in de dijk (met name freatisch vlak). Voorstel is om dit te onderzoeken door monitoring waterspanningen met waterspanningsmeters. gedacht wordt aan enkele dwarsprofielen (5 à 6) en per dwarsprofiel 2 à 3 meters in de binnenkruinlijn. De huidige modellering van het freatisch vlak lijkt vooralsnog optimistisch.
- De hoogte van de buitenwaterstand wordt bepaald door windopzet vanuit zuidwesten. In noordelijke gedeelte levert dit een windopzet tot 2.7m. Een systeemmaatregel kan mogelijk een oplossing of optimalisatie bieden voor het noordelijke deel (hoogteprobleem). Op het overige stuk (ook t.p.v. de beschouwde dwarsprofielen) is er geen hoogteprobleem. Indien sprake is van een erg laag overslagdebiet heeft voor macro-stabiliteit geen rekening te worden gehouden met infiltratie bij overslag. Als overslagdebiet groot is (stel >1 l/m/s dient wel met infiltratie bij overslag rekening te worden gehouden resulterende in een hoger freatisch vlak. Conservatieve aanname is om uit te gaan van volledige verzadiging. Dit is waarschijnlijk te conservatief en kan worden geoptimaliseerd (info via Andre van Hoven Deltares en KPR factsheet). Ook voor de semi-probabilistische stabiliteitsanalyses dient dus met infiltratie bij overslag te worden gerekend als het overslagdebiet 1 l/m/s of hoger is.
- Ook piping is een probleem. Dit zou nog verder kunnen worden onderzocht. Hierbij wordt gedacht aan tijdsafhankelijkheid omdat de duur van de hogere waterstanden kort is en een doorgaande pipe zich in het korte tijdsbestek mogelijk niet zou kunnen ontwikkelen. De technieken om tijdsafhankelijk te rekenen aan piping zijn echter waarschijnlijk nog niet ver genoeg ontwikkeld (af te stemmen met POV-P). Er wordt door Hans van der Sande (WS Scheldestromen) een onderzoek en rapportage opgesteld; dit biedt wellicht meer inzicht. Daarnaast bestaat de mogelijkheid om probabilistische analyses uit te voeren voor piping. In hoeverre dit is belegd in de POV-P is niet bekend. Timo Schweckendiek (Deltares) kan hier wellicht meer over zeggen.
- Uit de macro-stabiliteit analyses blijkt dat sprake is van relatief kleine glijcirkels die voor ca 30% door het kernmateriaal gaan. In de huidige schematisatie (lage freatische lijn) ligt nagenoeg al het kernmateriaal boven het freatisch vlak. Keuze lijkt reëel om voor dit materiaal uit te gaan van gedraineerde sterkteparameters. Omdat deze parameters dus grote invloed hebben is het van belang voldoende aandacht te schenken aan de sterkte van kernmateriaal (voldoende lab-onderzoek).
- Boringen zijn uitgevoerd in kruin en binnenteen van de 2 beschouwde dwarsprofielen. Sonderingen (klasse 1) t.p.v. deze reeds uitgevoerde boringen waren gepland maar hiervoor is op dit moment geen noodzaak. Mede gezien het

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief

Datum 20 december 2017
Onderwerp Inschatting kansrijkheid Actuele Sterkte POV-M voor Noordelijke Randmeerdijk
Pagina 4 van 6

dunne pakket slappe lagen (ca. 3m) zullen klasse 1 sonderingen ook niet zo veel opleveren voor bepaling van de grensspanningen. De eerste meter vanaf maaiveld (onverzadigde zone) geeft onbetrouwbare relatie tussen sterkte en sondeerwaarde.

- In de macrostabiliteitsberekeningen is uitgegaan van een verkeersbelasting/bovenbelasting van 13 kPa. Vanuit beheer kan mogelijk aannemelijk worden gemaakt dat dit niet realistisch is onder maatgevende omstandigheden (storm). Verwachting is dat dit significantie invloed heeft op de mate van stabiliteit.
- Voor de schematiseringsfactor is een waarde aangehouden van 1.2. Dit is een robuuste keuze voor een verkenningsfase maar verwachting is dat dit fors kan worden geoptimaliseerd. Als grondopbouw per vak weinig onzekerheden geeft en waterspanningen worden gemeten kan met een goede analyses (scenario's) mogelijk een waarde van 1.1 of lager worden onderbouwd. Voor analyses met model LiftVan is de norm voor de stabiliteitsfactor 1.19. Dit is uitgaande van een schematiseringsfactor van 1.20. Uitgaande van een schematiseringsfactor van 1.10 zou de stabiliteitseis 1.09 zijn. Berekende stabiliteitsfactoren zijn ongeveer 1.09. Door het nauwkeuriger bepalen van de schematiseringsfactor kan dus wellicht al aan de stabiliteits-eis worden voldaan.
- Profiel R032+20 is door WiBo maatgevend bevonden voor ca. 500m dijkstrekking. Uit de situatie lijkt dit profiel t.p.v. een oprit gekozen waardoor dit profiel wellicht niet representatief is voor de strekking van 500m maar wellicht slechts 50 a 100m). Dit kan nader worden onderzocht. T.p.v. het binnentalud is in profiel R032+20 zand gemodelleerd. In de overige profielen bestaat de kernmateriaal uit klei. Vraag is of dit een te eenvoudige weergave van de werkelijkheid is. Onder de weg zal sprake zijn van een zandcunet. Over de historie van de dijk is niet al te veel bekend. Joost geeft aan dat wel bekend is dat enige tijd geleden de dijk is afgevlakt teneinde een bredere kruin voor verkeer te verkrijgen. Het belang van goed inzicht in de dijksopbouw met handboringen is besproken. Voorgesteld is om evt. handboringen in kenmerkende dwarsprofielen uit te voeren (teen, talud, kruin) om dit vast te stellen.

Inspanning Stap 1

Stap (1) kan relatief eenvoudig worden uitgevoerd (bureau-werk)

- Om de schematiseringsfactor te verlagen kan het reeds geplande grondonderzoek bijdragen.
- Om bepaalde zaken 'zeker te weten', kan kleinschalig grondonderzoek (aanbrengen waterspanningsmeters en zetten van wat handboringen) onderbouwd bijdragen aan het verlagen van de schematiseringsfactor. WiBo kan dit op basis van de betrouwbare dat begin maart gereed hebben.
- Door het plaatsen van waterspanningsmeters ter bepaling van de hoogte van het freatisch vlak worden vastgesteld. Dit zou een ongunstiger uitgangspunt voor stabiliteit kunnen geven. Ook het rekening houden met infiltratie bij overslag (geldt met name voor het noordelijke deel) kan een ongunstiger uitgangspunt voor stabiliteit geven.
- De keuze van toepassen bovenbelasting of niet, kan bijdragen aan optimalisatie van de stabiliteit.

Conclusie stap 1: Een stabiliteitswinst van 0.1 lijkt niet onrealistisch.

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief

Datum 20 december 2017
Onderwerp Inschatting kansrijkheid Actuele Sterkte POV-M voor Noordelijke Randmeerdijk
Pagina 5 van 6

Werkessie stap 2: uitvoeren van faalkansanalyses (probabilistische analyses).
Opgemerkt wordt dat enkele aspecten genoemd bij 'stap 1' ook gelden voor deze stap.
Aanvullend hierop:

- In de profielen R032+20 en R077+00 is onder de slootbodem sprake van een dunne afdekkende grondlaag die zal opbarsten (c' en ϕ' = 0 is hier gemodelleerd). Ter bepaling van de fragility curve (Betrouwbaarheid uitgezet tegen de buitenwaterstand) zal hier mee rekening moeten worden gehouden. De helling van de curve zal voor en tijdens opbarsten anders zijn. Voor de profielen waar infiltratie bij golfoverslag relevant is (in ieder geval de profielen met hoogste tekort) zal de helling van de curve na infiltratie bij overslag ook anders (steiler) lopen. Hiermee dient ook rekening te worden gehouden.
- Voor de profielen waarbij infiltratie bij overslag relevant is dient hierop te worden getoetst. Dit geldt zowel voor semi-probabilistische (dus regulier onderzoek) als probabilistische analyses.
- Enige robuustheid in de verkenningsfase is nodig voor zowel semi-probabilistische als probabilistische stabiliteitsanalyses. Als de scope nl. kan worden verkleind is het van belang dat kan worden onderbouwd dat bijvoorbeeld komend 25 jaar aan de norm wordt voldaan. Belangrijk is in ieder geval om te communiceren dat eventueel goedkeuren leidt tot uitstel van de dijkversterking, maar dat het goed mogelijk is dat in de toekomst alsnog versterking nodig zal zijn.

Op basis van de ervaringen bij KIJK en de kalibratiestudie voor het WBI is de conclusie is dat een mogelijke stabiliteitswinst wordt verwacht vergelijkbaar met die genoemd bij stap 1 (een stabiliteitswinst van 0,1).

Inspanning Stap 2

Stap 2 (toepassen van de actuele sterkte) betreft een langere doorlooptijd en naast de te verwachten sterketoeename bestaat een mogelijkheid dat de uitkomsten tegen vallen (+/-15%; inschatting Joost), de onderzoeken zijn kostbaar en de acceptatie kost tijd. Zoals gepland kunnen we in maart/april de 2 profielen doorrekenen (wellicht ook focus op noordzijde gebied ivm infiltratie bij overslag; zie volgende paragraaf) en een doorvertaling maken naar de rest van het areaal.

Samenvatting, conclusies kansrijkheid actuele sterkte:

Met name in stap (1) zagen Ben Rijnveld (Fugro) en Arno aanknopingspunten voor aanscherping. De gemaakte keuzes (door WiBo en Arcadis) zijn vrij conservatief. Wanneer wordt gewerkt van grof naar fijn, dan zijn er geen vreemde keuzes gemaakt, maar wel conservatieve keuzes die voor een ruime scope zorgen. Aanname is, dat als de keuzes (o.a. de schematiseringsfactor verlagen (obv onderbouwingen), aangescherpte verkeersbelasting en anderzijds dat de hoogte van het freatisch vlak in de dijk mogelijk te optimistisch is) aangescherpt worden, de macro-stabiliteitsopgave waarschijnlijk voor een groot deel zal verdampen. Voor het niet-verdampende deel van (1), kan de actuele sterkte (stap 2) worden ingezet. De verwachting is dat deze bijdrage aan sterkte, ongeveer even groot is als de sterketoeename van (1).

11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief

Datum 20 december 2017
Onderwerp Inschatting kansrijkheid Actuele Sterkte POV-M voor Noordelijke Randmeerdijk
Pagina 6 van 6

De gezamenlijke optelling (van 1 en 2), maakt dat het toepassen van beide inspanningen als 'kansrijk' wordt bestempeld (waarschijnlijk is de uitvoerig van (1) voor een groot deel van het dijktraject reeds voldoende; WiBo ziet hier dezelfde kansen).

Doorvertaling naar scope NRD

Zoals hierboven verwoord, is de kans groot, dat met de toepassing van stap (1), de verbeteringscope voor een groot deel verdampt; stap (2) kan de resterende scope verder verlagen.

Grote kans is dat aan de noordzijde we een opgave houden, juist daar waar we een hoger overslagdebiet hebben ($>1\text{l/s/m}$) (relatie overslagdebiet, infiltrerend water en daarmee sterkteafname). Wellicht houden we hier 400m macrostabiliteit over, en wordt dit aangevuld/uitgebreid a.g.v. het overslagdebiet. Dit kan de keuze voor de door te rekenen profielen en te plaatsen sonderingen wellicht anders maken. Inzet op spuicapaciteit Reevedam (spuiprotocol) kan dus de hoogteopgave EN macrostabiliteitsopgave verkleinen!

Opvolgende werkzaamheden

Uit overleg met Wiertsema volgt dat de waterspanningsmeters plaatsen in handboringen, en verwacht dat dit eind januari gedaan kan worden (levertijd van de waterspanningsmeters is 2 tot 3 weken, daar komt de inschatting van eind januari vandaan); dan kan er in februari gemeten worden en hebben we in maart betrouwbare data voor de freatische lijn; ik krijg nog een inschatting van de kosten voor het plaatsen van de waterspanningsmeters.

Het extra lab-onderzoek agv de 2 boringen vervalt. Voor nu is de toepassing van het reguliere, aanvullende grondonderzoek (uitgevoerd in wk 50 en 51) voldoende. De reeds gestoken monsters dragen 'gewoon' bij aan de parameterset.

We stelen een PvA op om de toepassing van de actuele sterkte vorm te geven (uitvoeren stap 1, voorbereiden op stap 2). Inhoud van het PvA wordt mede op basis van de bovenstaande adviespunten opgesteld. In overleg met WiBo wordt een planning opgesteld, die mede de basis legt voor het vervolg van deze eerste sessie: het uitvoeren van stap 2

B.2 Expertsessie Actuele Sterkte en piping WSHD Normtraject 20-3 d.d. 13-04-2018



Verslag

Datum verslag 23 april 2018	Ons kenmerk 11201895-002-GEO-0001	Project 11201895-002	Opgemaakt door Arno Rozing
---------------------------------------	---	--------------------------------	--------------------------------------

Datum bespreking 13 april 2018	Aantal pagina's 5
--	-----------------------------

Vergadering
POV-M Actuele sterkte Activiteit 9 (project nr11201895)
Expertsessie Actuele sterkte en Piping WSHD Normtraject 20-3

Aanwezig
Bastiaan Los (WSHD), Jan-Kees Bossebroek (WSHD), Marc Hulst WSHD), Ben Rijnveld (POV-M Fugro), Ulrich Forster (Deltares), Arno Rozing (POV-M Deltares)

Voorstelronde:

Bastiaan Los: WSHD (Technisch manager Normtraject 20-3)
Jan-Kees Bossenbroek: WSHD (Adviseur Geotechniek en Waterkeringen)
Marc Hulst WSHD (Adviseur Geotechniek en Waterkeringen)
Ben Rijnveld: Fugro (betrokken bij POV-M Beter benutten actuele sterkte)
Ulrich Förster: Deltares (betrokken bij piping ontwikkelingen)
Arno Rozing: Deltares (betrokken bij POV-M Beter benutten actuele sterkte)

Aanleiding en doel overleg:

Aanleiding is een eerder overleg tussen POV-M en WSHD d.d. 30-01-2018 waarin door de POV-M o.a. is aangegeven dat er mogelijk grote te verzilveren nieuwe inzichten zijn, die de scope voor macrostabiliteit aanzienlijk kunnen verkleinen.
Doel van deze expert-sessie POVM is het maken van een eerste inschatting van kansrijkheid van actuele sterkte (ontwikkeld in de POVM) op de verkenningscope van Normtraject 20-3. Daarnaast zal ook de kansrijkheid van de toepassing van nieuwe ontwikkelingen m.b.t. piping worden meegenomen (dit valt buiten de activiteiten van de POV-M).

Toelichting Normtraject 20-3: (door WSHD)

WSHD is in 2018 gestart met het uitvoeren van de voorverkenning (2018-2019). Daarbinnen zal het nodige terrein- en labonderzoek worden uitgevoerd (2e kwartaal 2018 de uitvraag). Begin 2019 kan dan worden gestart met de veiligheidsanalyse. Doel van de voorverkenning is om de scope voor DV vast te stellen. Eerst wordt gefocust op de mogelijkheden van areaalverkleining als gevolg van nader grondonderzoek (terrein- labonderzoek en monitoring) en daarbij toepassen nieuwe inzichten en technieken.

De huidige scope is tot stand gekomen op basis van de resultaten van de eerder uitgevoerde toetsing en VNK-2.

In vorige toetsronde was de gehanteerde overschrijdingsfrequentie 1/4.000. In 2013 is een deel (2.2KM) van het normtraject 20-3 versterkt onder HWBP2 (met toen geldende normen). Signaleringskans voor dit dijktraject is nu 1/30.000.

Uit VNK volgde dat 5.6 km van de 22 km onvoldoende was (piping en macrostabiliteit binnenwaarts). Er zijn hoge faalkansen berekend. De VNK resultaten en de eerdere toetsingen geven geen duidelijk beeld van de veiligheidssituatie gezien de nieuwe normering en andere hydraulische rw waarmee het dijktraject nog niet is doorgerekend.

Versterking staat gepland van 2020-2025.



Datum	Ons kenmerk	Pagina
23 april 2018	11201895-002-GEO-0001	2/5

Voor onderzoek naar de kansrijkheid van actuele sterkte en nieuwe piping ontwikkelingen wordt gefocust op het dijkgedeelte langs het Spui. Dit is het slechtste gedeelte en hier wordt voornamelijk de grootste scope en meeste winst verwacht.

De veiligheidssituatie wordt besproken aan de hand van resultaten van analyses in 4 dwarsprofielen langs het Spui:

- Bernisse Spuidijk (STBI en STPH onvoldoende)
- Schuddebeurse dijk (STBI en STPH onvoldoende)
- Aaldijk (STBI onvoldoende)
- Kerkhofsdijk (STBI en STPH onvoldoende)

Piping:

Aan de hand van de resultaten van enkele profielen wordt het piping probleem besproken. Analyses zijn uitgevoerd conform WBI. Hieruit volgen net als bij VNK hoge faalkansen. Deze zijn echter wel sterk afhankelijk van het gekozen scenario (conservatief, verwachting of optimistische parameters). De uitkomsten zijn vooral afhankelijk van doorlatendheid. Piping is duidelijk een probleem (met name voor delen langs het Spui).

In het eerdergenoemde PvA voorverkenning van WSHD is het nader onderzoek hiernaar al goed aandacht gegeven. WSHD is voornemens om voor het dijktraject specifiek onderzoek uit te laten voeren. Fugro heeft hiervoor een PvA opgesteld. Hierbij is naast specifiek onderzoek (de trajectdekkende metingen, HPT/AMPT-sonderingen en de peilbuis- en waterspanningsmetingen) ook wordt aangegeven om sommen met DGeoFlow uit te voeren (evt. zelfs tijdsafhankelijk).

Daarnaast zullen er binnenkort diverse verkenningen en quick scans worden uitgevoerd (KPP Deltares in opdracht van RWS WVL: 'Plan van Aanpak KPP 2018 Piping'). Dit concept plan vormt het startpunt van de nodige ontwikkelingen in de toekomst (komende jaren). Hierbij ligt focus op toepassingsgerichtheid, het omgaan met onzekerheden en het aansluiten bij marktpartijen en dijkbeheerders.

Vraag in het kader van dit overleg is welke verkenningen relevant kunnen zijn voor Normtraject 20-3.

Uit het overleg volgt dat anisotropie en gelaagdheid en de invloed van getijdeafzettingen relevant zijn. Anisotropie en gelaagdheid worden echter al opgepakt binnen het PvA Fugro (samen met Deltares). De volgende onderwerpen zijn mogelijk ook relevant, nl. doorlatendheid van de deklaag in de polder, opbarsten van het veen en faalpad analyses. Laatstgenoemde verkenning is mogelijk zinvol om de uitlegbaarheid van het piping probleem en/of toepassen van maatregelen te vergroten. Ook vanwege potentiële toepasbaarheid voor andere beoordelingssparen (met name NWO's) is WSHD geïnteresseerd in deze methode. Deze methode wordt niet direct kansrijk gezien voor het op zich zelf significant verkleinen van de piping opgave. Voor deze 3 relevante verkenningen zou normtraject 20-3 mogelijk een pilot locatie kunnen zijn. Dit zal aan de trekkers van het onderzoeksplan worden doorgegeven waarna desgewenst nadere afspraken met WSHD kunnen worden gemaakt.

Macrostabieleit:

Resultaten beoordeling STBI (eerdere toetsronden, VNK) (WSHD):

Aan de hand van de resultaten van 4 profielen wordt het stabiliteitsprobleem besproken. Er zijn Critical State sommen met nieuwe normering uitgevoerd met ongedraineerde sterkteparameters. Hierbij is gerekend met de default karakteristieke ondergrenswaarden uit de WBI Schematiseringshandleiding. De resultaten zijn vergeleken met de in het verleden

uitgevoerde berekeningen met gedraineerde parameters (celproeven Toetsingen) en de VNK analyses. Ook zijn voor 2 profielen resultaten beschikbaar uit de zgn. 'Kosten- Baten Analyse'. De resultaten van de analyses op basis van de gedraineerde parameters uit de proevenverzameling van WSHD (Mohr Coulomb model) zijn aanzienlijk hoger (SF 1,02 – 1,30) dan de resultaten met default karakteristieke ondergrenswaarden voor de ongedraineerde parameters (SF 0,5 - 0,7).

Uitleg actuele sterkte / volledig probabilistisch (Arno):

Er wordt door Arno een korte toelichting gegeven over de mogelijke stappen binnen het actuele sterkte onderzoek. Dit aan de hand van de resultaten van het POV-M onderzoek Beter benutten actuele sterkte waarbij het DV-project KJK (HHSK) als referentieproject diende. De presentatie is bijgevoegd:

- Stap 0 Samengevat bestaat stap 0 uit een inschatting /bepaling van de kansrijkheid van het onderzoek. (in feite o.a. dit overleg)
- Stap 1 bestaat uit nadere detaillering schematisering (specifiek terrein- en labonderzoek en monitoring (waterspanningen)) en uitvoeren van semi-probabilistische stabiliteitsanalyses.
- Stap 2 bestaat uit het uitvoeren van faalkansanalyses (probabilistische analyses). In het algemeen levert stap 2 altijd wat op. Hiervoor is in principe geen aanvullend specifiek terrein- en labonderzoek nodig t.o.v. stap 1. Voor de analyses voor DV KJK is gerekend met een aangepaste faalkansruimteverdeling. 24 % i.p.v. 4% voor macrostabiliteit . Als gevolg hiervan is voor piping (niet relevant voor KJK) een faalkansruimte van 4 i.p.v. 24% gehanteerd. Hierdoor is de vereiste stabiliteitsfactor van 1.28 naar 1.19 gegaan. De keuze voor een andere faalkansverdeling voor Normtraject 20-3 zal mogelijk niet tot optimalisatie leiden omdat piping dan ongunstiger zal uitpakken. Dit zou echter kort kunnen worden verkend (aanbevolen). De afstand tussen de stabiliteitsnorm en berekende stabiliteitsfactor was voor de beschouwde cases van KJK circa 0.15-0.20. Door prob. analyses werd in 2 gevallen geheel en in 1 geval bijna voldaan aan de vereiste betrouwbaarheid.
- Stap 3 bestaat uit het uitvoeren van faalkansupdating (ofwel Bewezen sterkte). Hiervoor is relatief veel bureauwerk nodig, uit te voeren door specialisten. Ook het verzamelen van relevante historische gegevens (vb HW1953) kost veel inspanning (vooral voor het Waterschap). In dit kader wordt opgemerkt dat in het verleden voor Voorne Putten en in bijzonder voor Hellevoetsluis een Bewezen Sterkteonderzoek is uitgevoerd (conform TRAS) dat in een aantal gevallen tot goedkeuring heeft geleid. Deze gegevens zijn dus bruikbaar voor evt. toekomstig onderzoek. stap 3 is arbeidsintensief (qua doorlooptijd) en de potentiële winst is over het algemeen aanmerkelijk kleiner dan stap 2, maar kan in specifieke situaties net voldoende zijn om tot goedkeuring te komen.

Voor nagenoeg gehele resterende dijktraject van KJK zijn vervolgens ook prob. analyses uitgevoerd met gemiddeld genomen gunstigere resultaten dan de semi-probabilistische analyses. Opgemerkt wordt wel dat in één geval een ongunstiger resultaat werd bereikt in de probabilistische analyse in vergelijking met de semi probabilistische analyse. Dit is ook verklaarbaar omdat de partiele veiligheidsfactoren dusdanig zijn bepaald dat deze in ca. 80% van de gevallen tot een conservatieve inschatting van de faalkans leiden.

Normtraject 02-3:

Zoals eerder aangegeven zal voor Normtraject 20-3 in 2019 worden gestart met de veiligheidsanalyse. Als hiervoor stap 1 (actuele sterkte: semi-prob. Analyses en gedetailleerd grondonderzoek) is uitgevoerd is duidelijker wat de veiligheidssituatie is. Verwachting is dat het



Datum
23 april 2018

Ons kenmerk
11201895-002-GEO-0001

Pagina
4/5

stabiliteitsresultaat dan aanmerkelijk gunstiger zal uitpakken. Dit omdat gebruik van aanvullend grondonderzoek, monitoring en proevenverzameling tot een optimalisatie zou moeten leiden ten opzichte van het gebruik van de default waarden uit de Schematiseringshandleiding. Echter, de mogelijkheid bestaat dat de afstand tot de norm (met stap 1) nog groot blijft. Als van de resterende scope niet al te veel van de stabiliteitsnorm wordt afgeweken (stel 20%) kan stap 2 zeer effectief zijn. Dit om de scope te verkleinen voor macrostabiliteit. Overwogen kan ook worden om voor grondoplossingen probabilistisch te ontwerpen. Hierbij moet afwogen worden hoe om te gaan met het principe robuust vs sober ontwerpen.

WSHD is voornemens om binnen de verkenningfase een 2^e expertsessie actuele sterkte te organiseren (verwachting aug 2019) om de kansrijkheid van actuele sterkte stap 2 (en evt. 3) in te schatten. Indien de kansrijkheid positief wordt ingeschat, dan wordt voorzien om voor circa 3 dwarsprofielen daadwerkelijk probabilistische analyses te laten uitvoeren (Q4 2019). Daarna kan dat worden gezien of dit voor het gehele normtraject zinvol is.

Planning: Het uitvoeren van actuele sterkteanalyses (stap 2) kost relatief veel inspanning en doorlooptijd. Voor analyses in 3 dwp's wordt gedacht aan een doorlooptijd van 1 a 1,5 mnd (ervan uitgaande dat alle gegevens voorhanden zijn en mensen met ervaring met de methode de werkzaamheden uitvoeren).

Overige punten:

Nieuwe projectsoftware macro-stabiliteit. Opgemerkt wordt dat de user interface voor de nieuwe software betreffende macrostabiliteit voor beoordeling en ontwerp medio zomer 2018 beschikbaar is (bèta versie). HWBP/Deltares zoekt Waterschappen met pilotlocaties waarvoor in samenwerking met Deltares stabiliteitsanalyses met de nieuwe software kunnen worden getest/uitgevoerd. Voordeel is o.a. dat sommen die nu worden gemaakt straks niet naar de nieuwe UI behoeven te worden omgezet. Hierover kan contact worden opgenomen met Raymond van der Meij (Deltares).

Samenvatting, conclusies kansrijkheid piping en actuele sterkte macrostabiliteit:

Met de voorgenomen activiteiten in het huidige PvA Voorverkenning Normtraject 20-3 waarvan het detailplan van Fugro (onderzoeksvoorstel anisotropie) een onderdeel is wordt al goed aandacht gegeven aan onderzoek voor piping.

Binnen het op te starten onderzoek 'Plan van Aanpak KPP 2018', (KPP Deltares in opdracht van RWS WVL) zijn 3 mogelijk relevante nieuwe ontwikkelingen. Hiervoor zou normtraject 20-3 een pilot locatie kunnen zijn. Nadere afspraken hierover zijn nodig.

Hoewel in het algemeen de winst door toepassing van actuele sterkte macrostabiliteit groot is, is dit op dit moment nog moeilijk kwantitatief in te schatten. Dit omdat op dit moment nog geen stabiel beeld van de veiligheidsopgave beschikbaar is; Hiervoor zijn de resultaten van het aanvullend onderzoek en analyses benodigd. Verwachting is wel dat de stabiliteitsresultaten door toepassing van prob. analyses aanmerkelijk gunstiger zullen uitvallen. Voor wat betreft actuele sterkte is WSHD voornemens om medio aug 2019 een 2^e expertsessie te organiseren na het uitvoeren van stap 1 (semi prob. analyses). Op dat moment kan de kansrijkheid nog beter worden ingeschat.

Daarnaast zal binnenkort met WSHD worden overlegd over toepassing Bewezen Sterkte (actuele sterkte stap 3) voor toetsing van de Vestingwallen te Hellevoetsluis.

Datum
23 april 2018

Ons kenmerk
11201895-002-GEO-0001

Pagina
5/5

Acties:

- Nadere afspraak maken met Jan Kees Bossenbroek over toetsing Hellevoetsluis met mogelijke toepassing Bewezen Sterkte daarvoor (actie Arno)
- WSHD evt. meedoen met pilot gebruik nieuwe projectsoftware (User interface) macrostabiliteit. Evt. contact opnemen met Raymond van der Meij (06-47138515) (actie Bastiaan)
- Voor 3 relevante piping verkenningen zou normtraject 20-3 mogelijk een pilot locatie kunnen zijn. Dit doorgeven aan de trekkers van het onderzoeksplan en evt. nadere afspraken met WSHD maken (actie Ulrich).
- Presentatie actuele sterkte en presentatie Plan van Aanpak KPP 2018 Piping' rondsturen (actie Arno)
- Presentatie toelichting Normtraject rondsturen (actie Bastiaan)
- 2^e expertsessie actuele sterkte medio aug 2019 (actie Bastiaan)

Kopie aan

Dirk van Schie (POV-M), Meindert Van (POV-M), martin Schepers (POV-M),
Raymond van der Meij (Deltares), Marc Hijma Deltares

B.3 Expertsessie Actuele Sterkte WDOD Zwolle-Olst d.d. 25-04-2018



Verslag

Datum verslag 18 mei 2018	Ons kenmerk 1804-0002	Project 11201895-002	Opgemaakt door Arno Rozing
Datum bespreking 25 april 2018	Aantal pagina's 6		
Vergadering POV-M Actuele sterkte Activiteit 9 (project nr11201895) Expertsessie Actuele sterkte WDOD Zwolle Olst			

Aanwezig

Jan Gruppen, Bouke van Meekeren, Peter Hopman, Merel Nije Bijvank, Rob Wildeman, Bas Krewinkel (WDOD), Ben Rijnveld (POV-M Fugro), Arno Rozing (POV-M Deltares)

Afwezig

Joost Frakking (WDOD)

Voorstelronde:

Jan Gruppen: WDOD (Specialist Waterveiligheid)
 Peter Hopman: WDOD (Specialist Waterveiligheid)
 Bouke van Meekeren: WDOD (Specialist Waterveiligheid)
 Merel Nije Bijvank: WDOD (TM-team Zwolle-Olst)
 Rob Wildeman: WDOD (Stagiair TM-team Zwolle-Olst)
 Bas Krewinkel: WDOD (TM-team Zwolle-Olst)
 Ben Rijnveld: Fugro (betrokken bij POV-M Beter benutten actuele sterkte)
 Arno Rozing: Deltares (betrokken bij POV-M Beter benutten actuele sterkte)

Aanleiding en doel overleg:

Aanleiding is een eerder overleg tussen kernteam POV-M en WDOD in maart 2018 d.d. 30-01-2018 waarin door de POV-M o.a. is aangegeven dat er mogelijk grote te verzilveren nieuwe inzichten zijn, die de scope voor macrostabiliteit aanzienlijk kunnen verkleinen. Doel van deze expert-sessie POVM is het maken van een eerste inschatting van kansrijkheid van actuele sterkte (ontwikkeld in de POVM) op de verkenningsscope van Zwolle-Olst en evt. ook Vecht-Noord (hiervan is d.d. 19-04 ook info toegestuurd).

D-Geostability en projectsoftware:

De huidige beschikbare software om met ongedraineerde sterkte te rekenen wordt nog continue verbeterd.

Op dit moment wordt nieuwe projectsoftware macro-stabiliteit voor beoordeling en ontwerp ontwikkeld. Opgemerkt wordt dat de user interface voor deze software medio zomer 2018 beschikbaar is (bèta versie). Voordeel is o.a. dat sommen die nu worden gemaakt met de projectsoftware straks (2019) niet naar de nieuwe UI behoeven te worden omgezet. Uiteindelijk wordt dit in 2019 een definitieve versie (hier zit nog enige onzekerheid. D.d. 25-04 wordt overlegd over de financiering hiervan) die hetzelfde rekenhart zal krijgen als de projectsoftware.

Raymond komt binnenkort een dag naar Zwolle om met het projectteam de nieuwe projectsoftware te demonstreren a.h.v. cases Zwolle-Olst. Verder kan hierover contact worden opgenomen met Raymond van der Meij (Deltares).



Toelichting Zwolle-Olst: (door WDOD)

Het traject Zwolle–Olst ligt ten oosten van de IJssel en heeft een lengte van circa 30km. Piping is het grootste probleem en daarna volgt macrostabiliteit binnenwaarts STBI. T.b.v. STBI is het traject vooralsnog opgedeeld in 39 dijkvakken dit voornamelijk gezien de sterk heterogene ondergrondopbouw. Een deel van het traject is in 2010 versterkt doormiddel van bermen. De verkenningenfase loopt van 2017-2019 (3 jaar). De 1^e ontwerpronde (loep 0) is opgeleverd. Doel van de verkenningfase is om kansrijke oplossingsrichtingen te onderzoeken en evt. nadere scopebepaling. Eind 2019 zal VKA bekend zijn. De planfase staat gepland voor 2020-2022 en hierna start de uitvoering.

Geotechniek:

In het zuidelijkdeel en noordelijk is de ondergrond overwegend zand en in het midden is sprake van een tot circa 6 m dik pakket klei en veenlagen. In het verleden is binnendijks op veel trajecten geofysisch onderzoek uitgevoerd. Voornemen is om eind 2019 nader grondonderzoek uit te voeren. Er is al veel uitgevoerd maar er zijn nog witte vlekken. Qua sterkte is er discussie over de sterkte van siltige klei. Hierover is discussie gevoerd met Alexander van Duinen (Deltares).

Er is in 2016 is een gedetailleerde toets uitgevoerd NAV-nn (Nadere Analyse Veiligheidsprobleem met nieuwe normen). In een toegestuurde bijlage 5 (Onderbouwing analyses macrostabiliteit Zwolle-Olst (mei 2016)) zijn de uitgangspunten en berekeningsresultaten hiervan weergegeven.

Focus op detailinformatie van enkele representatieve (mogelijk te onderzoeken) dwarsprofielen (bijvoorbeeld 2 stuks macrostabiliteit). De veiligheidssituatie wordt besproken aan de hand van resultaten van analyses in 2 dwarsprofielen voor de vakken 35,1-35,3 en 35,3-35,5 en a.h.v. de resultaten in bijlage 5.

Hieruit volgt o.a.:

- Norm: Bishop 1.36 / 1.24 (STBI / STBU) en faalkansruimte factor van 0.04
Spencer en LiffVan 1.31 / 1.19 (STBI/ STBU)
Schematiseringsfactor (par 2.1.3) van 1.10 moet nog goed worden onderbouwd.
- Tijdenhorizon is 5 jaar nl. 2023.
- Modelleren opbarsten par 2.1.5. In 2015? Zijn vele peilbuismetingen uitgevoerd (ook in kader POV-Piping). In 2017 zijn ook vele peilbuismetingen uitgevoerd welke nog niet zijn verwerkt. Dit zal meer inzicht geven en mogelijk gunstigere resultaten opleveren. WDOD is voornemens dit te analyseren.
In veel gevallen speelt opbarsten.
- Freatische vlak is bepaald op basis TRWD (zie par 2.3) met behulp van bijlage 1 'Schatting Waterspanningen'. Aanbevolen wordt om vooral in de kleidijken waterspanningsmeters te plaatsen en te analyseren.
- Methode Restbreedte bij overhoogte is gebruikt i.v.m. soms brede kruin met asfaltweg. Het toepassen van deze methode dient met zorg te gebeuren, waarbij de relatie met het overslagdebiet van groot belang is. Toepassing van zonering vereist daardoor maatwerk. Hoewel hier mogelijkheden voor toepassing worden gezien zal dit goed moeten worden onderbouwd hetgeen op dit moment nog ontbreekt. KPR is hier ook mee bezig (betrokkenen Marieke de Visser, Jan Blinde, Cor Zwanenbrug)
- Er zijn 32 TXX CD op zand uitgevoerd (dijksmateriaal). Hieruit volgt een zeer geringe spreiding voor de bepaalde schuifsterkteparameters bij 20% rek. liggen. Dit geeft gemiddelde parameter $f_{gem} = 35,6^\circ$ en $c' = 0$ kPa. Daarbij geldt een (zeer) lage variatie ($VC = 4\%$).

- De sterkteparameters van siltige klei zijn op verschillende manieren bepaald. D.w.z. dat er op verschillende manieren met statistiek is omgegaan. Er is een eigen manier gevolgd omdat de officiële werkwijze volgens het Waterschap te conservatief uitpakt. Hierover is contact geweest met Alexander van Duinen die aangeeft dat de door het Waterschap gevolgde werkwijze te optimistisch is. Als er probabilistische gerekend wordt is het ook belangrijk om de statistische analyse conform de laatste inzichten uit te voeren.
- Conform KPR factsheets is ook nagedacht over de grootte van de in rekening te brengen verkeersbelasting (afhankelijk van de buitenwaterstand).

Stabiliteitsresultaten blz. 62 bijlage 5:

STBU: 0% onvoldoende

STBI: circa 25% van d dijkvakken voldoet niet maar afstand tot de norm is voor de helft relatief gering (norm voor Spencer = 1.31 en berekende stabiliteitsfactoren >1.10). Voor de andere helft zijn de berekende stabiliteitsfactoren erg laag 1.1 tot 0.9).

Opgemerkt wordt dat omdat opbarsten hier speelt het prob. resultaat gunstiger zou kunnen uitpakken dan in het geval er geen sprake is van opbarsten. De veel lagere faalkansen bij deze lagere waterstanden worden namelijk in de probabilistische analyse ook meegenomen.

Toelichting Vecht – Noord:

Wegens tijdgebrek is nauwelijks toegekomen aan het analyseren van de resultaten van Vecht-Noord. Duidelijk is wel dat hier sprake is van dijken met een kern van zand. De maatgevende glijcirkels gaan hoofdzakelijk (zo niet geheel) door deze zandkern.

Sterkte wordt dus allen bepaald door zand ($c=0$ $\phi = 33.4$ gr). Het freatisch vlak wijzigt iets met buitenwaterstand en dus ook de berekende stabiliteitsfactor (FoS). De FoS is hoger bij lagere buitenwaterstand verwachting is dat dit geen heel grote invloed heeft. Verkeersbelasting heeft bijna geen invloed op het stabiliteitresultaat. De ondergrond is vrij ongevoelig voor zettingen dus historische situatie (1995?) en toekomstige of huidige situatie zullen hierdoor niet veel verschillen. Als een bewezen sterkte analyse wordt uitgevoerd zullen de fragility-curves voor de toets/ontwerpsituatie en historische situatie waarschijnlijk dicht bij elkaar liggen. Dit zou de kansrijkheid van bewezen sterkte vergroten.

Vecht-Noord:

Actuele sterkte levert mogelijk wel iets op, vooral in combi met faalkans updating (stap 3). Hierdoor is het verschil tussen de karakteristieke en de gemiddelde waarde van de schuifsterkte van het zand erg gering. In stap 2 kan naar verwachting winst worden geboekt, omdat de onzekerheid in sterkteparameters vermoedelijk kleiner is dan waarop de kalibratie van de schadefactor op gebaseerd is. Interessant is mogelijk ook Stap 3 (FU), ervan uitgaande dat de beide fragility curves nagenoeg op elkaar liggen. De kans hierop is redelijk groot (verkeer heeft nauwelijks of geen invloed; diepere glijcirkels door klei lijken niet relevant (FoS groot); autonome bodemdaling zal gering zijn. Wel moet worden opgemerkt dat bewezen sterkte alleen significante winst op levert als er sprake is geweest van een 'overbelasting'. Deze hoeft echter niet per se door een hoogwater veroorzaakt te zijn, maar kan ook het gevolg zijn van een extreme verkeersbelasting.

Uitleg actuele sterkte / volledig probabilistisch (Arno):

Er wordt door Arno een toelichting gegeven over de mogelijke stappen binnen het actuele sterkte onderzoek. Dit aan de hand van de resultaten van het POV-M onderzoek Beter benutten actuele sterkte waarbij het DV-project KIJK (HHSK) als referentieproject diende. De presentatie is bijgevoegd:



- Stap 0 Samengevat bestaat stap 0 uit een inschatting /bepaling van de kansrijkheid van het onderzoek. (in feite o.a. dit overleg)
- Stap 1 bestaat uit nadere detaillering schematisering (specifiek terrein- en labonderzoek en monitoring (waterspanningen) en uitvoeren van semi-probabilistische stabiliteitsanalyses.
- Stap 2 bestaat uit het uitvoeren van faalkansanalyses (probabilistische analyses). In het algemeen levert stap 2 altijd wat op. Hiervoor is in principe geen aanvullend specifiek terrein- en labonderzoek nodig t.o.v. stap 1. Voor de analyses voor DV KIJK is gerekend met een aangepaste faalkansruimteverdeling. 24 % i.p.v. 4% voor macrostabiliteit . Als gevolg hiervan is voor piping (niet relevant voor KIJK) een faalkansruimte van 4 i.p.v. 24% gehanteerd. Hierdoor is de vereiste stabiliteitsfactor van 1.28 naar 1.19 gegaan. De keuze voor een andere faalkansverdeling voor Zwolle Olst zal mogelijk niet tot optimalisatie leiden omdat piping dan ongunstiger zal uitpakken. Dit zou echter kort kunnen worden verkend. De afstand tussen de stabiliteitsnorm en berekende stabiliteitsfactor was voor de beschouwde cases van KIJK circa 0.15-0.20. Door prob. analyses werd in 2 gevallen geheel en in 1 geval bijna voldaan aan de vereiste betrouwbaarheid.
- Stap 3 bestaat uit het uitvoeren van faalkansupdating (FU), ofwel Bewezen sterkte. Hiervoor is relatief veel bureauwerk nodig, uit te voeren door specialisten. Ook het verzamelen van relevante historische gegevens (vb HW1953 of 1995) kost veel inspanning (vooral voor het Waterschap). Stap 3 is arbeidsintensief (qua doorlooptijd) en de potentiële winst is over het algemeen aanmerkelijk kleiner dan stap 2, maar kan in specifieke situaties net voldoende zijn om tot goedkeuring te komen.

Voor nagenoeg het gehele resterende dijktraject van KIJK zijn vervolgens ook prob. analyses uitgevoerd met gemiddeld genomen gunstigere resultaten dan de semi-probabilistische analyses. Opgemerkt wordt wel dat in één geval een ongunstiger resultaat werd bereikt in de probabilistische analyse in vergelijking met de semi probabilistische analyse. Dit is ook verklaarbaar omdat de partiële veiligheidsfactoren dusdanig zijn bepaald dat deze in ca. 80% van de gevallen tot een conservatieve inschatting van de faalkans leiden. Er zijn dus ook gevallen waar het omgekeerde het geval is.

Samenvatting, conclusies kansrijkheid actuele sterkte macrostabiliteit:

Stap1 (nadere detaillering schematisering en semi-prob. analyses):

Er is al veel grondonderzoek beschikbaar maar er zijn nog wel enkele witte vlekken. WDO is voornemens om eind 2019 nader grondonderzoek uit te laten voeren. Vanuit technisch oogpunt kan het zinvol zijn om dit een aantal onderdelen zoveel mogelijk naar voren te trekken. De overweging om het laboratoriumonderzoek pas uit te voeren als er meer duidelijk is over hoe om te gaan met de siltige klei wordt als verstandig gezien, maar het is misschien wel al mogelijk om onderzoek gericht op de laagopbouw (bijv. geofysisch onderzoek) al naar voren te trekken. Daarnaast is tijdens het overleg geconstateerd dat voor een optimalere resultaat o.a. het volgende te doen:

- Verwerken en analyseren peilbuismetingen uitgevoerd in 2017
- Vooral in de kleidijken waterspanningsmeters plaatsen en analyseren.
- Onderbouwing schematiseringsfactor
- Onderbouwing restbreedte methode
- Onderbouwing sterkteparameters siltige klei (loopt al)

Datum
18 mei 2018

Ons kenmerk
1804-0002

Pagina
5/6

Stap 2: faalkansanalyses:

Circa 25% van de dijkvakken voldoet niet aan STBI maar afstand tot de norm is voor de helft relatief gering (norm voor Spencer = 1.31 en berekende stabiliteitsfactoren >1.10). Voor de andere helft zijn de berekende stabiliteitsfactoren erg laag 1.1 tot 0.9).

Voor met name de eerste helft is er een gerede kans dat door het uitvoeren van prob analyses aan de eisen t.a.v. STBI wordt voldaan. Piping zal in veel gevallen dan echter mogelijk nog steeds een probleem zijn.

Opgemerkt wordt dat omdat opbarsten hier speelt het prob. resultaat gunstiger zou kunnen uitpakken dan in het geval er geen sprake is van opbarsten. Bij lage waterstanden worden dan nl. lage faalkansen berekend. Ook hiervoor is de kans dus aanwezig dat door het uitvoeren van prob analyses voor STBI de norm wordt gehaald.

Opgemerkt wordt dat door het uitvoeren van probabilistische analyses ook het inzicht in de waterkering wordt vergroot, met name welke parameters dominant zijn in de beoordeling/ontwerp. Dit heeft ook meerwaarde bij het uitvoeren van nadere semi-probabilistische analyses en het opstellen van een grondonderzoeksplan.

Geconcludeerd is dat het zinvol zou zijn om in eerste instantie in circa 3 profielen te verkennen wat Actuele Sterkte op zou kunnen leveren. Hierbij wordt gedacht aan het nauwkeuriger uitvoeren van de semiprobabilistische analyses door bijv. de schematiseringsfactor te bepalen (stap 1) en het uitvoeren van prob. analyses (stap 2). Daarna kan dat worden gezien of dit voor het gehele dijktraject zinvol is als het nadere grondonderzoek (eind 2019 of evt. eerder) gereed is. Ook kunnen de resultaten van deze drie profielen gebruikt worden om de keuze voor aanvullend gericht onderzoek zoals waterspanningsmetingen (stap 1) te onderbouwen.

Stap 3: Faalkans Updating ofwel bewezen sterkte:

Voor Vecht Noord levert actuele sterkte mogelijk wel iets op vooral in combinatie met faalkans updating FU. In stap 2 zal hiermee naar verwachting niet veel winst worden geboekt.

Mogelijk dat door toepassing van stap 3 veel winst wordt geboekt. Aanbevolen wordt om een oriënterend onderzoek te doen hoe de historische belastingen zich verhouden tot de toets/ontwerpbelastingen. Dus eerst beoordeling kansrijkheid.

Planning: Het uitvoeren van actuele sterkteanalyses (stap 2) kost relatief veel inspanning en doorlooptijd. Voor analyses in 3 dwp's wordt gedacht aan een doorlooptijd van 1 a 1,5 mnd (ervan uitgaande dat alle gegevens voorhanden zijn en mensen met ervaring met de methode de werkzaamheden uitvoeren).

Vanuit de POV-M kan een deel van de begeleiding van de analyses worden bekostigd ervan uitgaande dat de werkzaamheden voor het einde van de POV-M plaatsvinden. De POV-M zal naar verwachting ergens in Q3 2018 ophouden te bestaan.

Acties:

- Presentatie actuele sterkte rondsturen (actie Arno)
- Nadere afspraken maken over uitvoeren evt. 'pilot' actuele sterkte 3 profielen (actie Jan en Arno)
- Nadere uitleg /demonstratie ongedraineerd rekenen met de projectsoftware door Raymond van der Meij (actie Raymond)



11203415-002-GEO-0004, 27 januari 2020, definitief



Datum
18 mei 2018

Ons kenmerk
1804-0002

Pagina
6/6

Kopie aan

Dirk van Schie (POV-M), Meindert Van (POV-M), Martin Schepoers (POV-M),
Raymond van der Meij (Deltares)



Memo

Datum 5 juli 2019	Ons kenmerk 11203415-002-GEO-0002	Aantal pagina's 111
Contactpersoon Arno Rozing	Doorkiesnummer +31(0)88 335 7454	E-mail Arno.Rozing@deltares.nl

Onderwerp
Conclusies en wenselijke ontwikkelingen n.a.v. vakdag actuele sterkte (POV-M RWS)

C Vakdag Actuele en Bewezen Sterkte (POVM / RWS) d.d. 31 januari 2019



Memo

Datum 5 juli 2019	Ons kenmerk 11203415-002-GEO-0002	Aantal pagina's 10
Contactpersoon Arno Rozing	Doorkiesnummer +31(0)88 335 7454	E-mail Arno.Rozing@deltares.nl

Onderwerp
Conclusies en wenselijke ontwikkelingen n.a.v. vakdag actuele sterkte (POV-M RWS)

1 Inleiding

Op donderdag 31 januari 2019 heeft Rijkswaterstaat en de POV Macrostabieleit een inhoudelijke middag georganiseerd over Actuele en Bewezen Sterkte voor macrostabieleit bij dijkversterking (voor een korte uitleg over actuele sterkte wordt verwezen naar bijlage A). De middag vond plaats in De Gelderlandfabriek in Culemborg (middagprogramma in bijlage B).

Deze middag was georganiseerd voor beheerders (technisch managers, specialisten geotechniek/waterkeringen), bureaus (betrokken bij beoordeling en ontwerp van keringen), kennismanagers, kennisplatforms en kennisinstellingen. Het doel van de middag was het identificeren van behoeftes voor een succesvolle implementatie, en het identificeren van

behoefte voor verdere ontwikkeling van actuele en bewezen sterkte (methodes, tools, leidraden/handvatten), door ervaringen met de toepassing in projecten met elkaar te delen. Naast inhoudelijke bevindingen over toepassing actuele en bewezen sterkte ging de belangstelling ook uit naar eventuele consequenties of randvoorwaarden aan de toepassing van de methode voor de keringbeheerder.

Dit document verzameld de conclusies en wenselijke ontwikkelingen n.a.v. deze vakmiddag.

2 Discussie punten

Per project presentatie was aangevraagd om te uitweiden over:

- 1 Wat missen we nog in methode en instrumentarium (software, handreikingen)?⁶
- 2 Wat is cruciaal voor de implementatie en acceptatie van het resultaat?⁷
- 3 Wat waren onze ervaringen met toepassen van actuele sterkte?

In bijlage C zijn de discussie punten per projectpresentatie aangetoond, en hieronder de belangrijkste punten uit de discussies samengevat.

1. Wat missen we nog in methode en instrumentarium (software, handreikingen)?

- Software/tools:
 - Mogelijkheid om andere variabelen/parameters dan sterkteparameters en waterspanningen als stochast in de prob. analyses te beschouwen⁸
 - Omgaan met meerdere maatgevende glijvlakken. De handreiking faalkans analyse macrostabiliteit kan hier bij helpen [Schweckendiek, et al.(2017)].
- Documenten/handvatten:
 - Handvatten voor het vooraf inschatten van kansrijkheid van de methode zijn nodig (AS stap 0) .
 - Correlaties tussen stochasten zijn een belangrijk aanname bij AS stap 2 en 3. Diverse correlaties verdienen nog meer aandacht (en handvatten voor het gebruik zijn nodig). Bijvoorbeeld correlaties van sterkteparameters van verschillende grondlagen.
 - Meerdere glijvlakken kunnen maatgevend zijn. Duidelijke handvatten hoe hiermee om te gaan zijn nodig. Meerdere glijvlakken kunnen maatgevend zijn voor verschillende waterstanden, of glijvlakken kunnen verschillend zijn voor semi-prob en prob. analyses.
 - Een fragility curve die op basis van de buitenwaterstand is gemaakt is niet altijd maatgevend. De fragility curve kan bijvoorbeeld ook o.b.v. verkeersbelasting

⁶ Wat zijn aanbevelingen voor aanpassing van de methode (t.a.v. complexiteit, benodigde gegevens algemeen en van observatie (alleen voor bewezen sterkte), verhoging rendement.

⁷ Implementatie/acceptatie van de methode door beheerder.

⁸ Of in ieder geval onderzoek waaruit volgt welke parameters je als stochast zou willen/moeten beschouwen. Denkende aan grondlagen, waterspanningen. Uit eerder onderzoek bij project KJK volgt dat volumegewicht als stochast waarschijnlijk niet/minder relevant is.

- worden gemaakt. Handreiking/Handvatten hiervoor zijn belangrijk. Zie [Kanning & Schweckendiek, (2017)].
- Handvatten voor de schematisatie van een overleefde situatie (observatie) en ook het inzetten van een proefbelasting, zoals infiltratieproef of proef met verkeer. Voor regionale keringen is een overleefde verkeersbelasting (of bouwfase) conditie (meestal) extremer dan de te beoordelen “hoog water” conditie. AS stap 3 lijkt heel geschikt hiervoor.
 - Meer informatie is nodig over koppeling DGeostability met Probabilistic toolkit.
- **Onderzoek:**
 - Vertaling van resultaat Bewezen Sterkte (AS stap 3) van dwarsprofiel naar dijkvak was reeds onderzocht (zie [Teixeira & Rosenbrand, 2017]) maar verdient nog verder onderzoek.
 - Hoe om te gaan met reststerkte. Niet alle glijvlakken zijn relevant voor overstroming, zoals bijvoorbeeld ondiepe glijvlakken of glijvlakken bij een dijk met brede kruin of een dijk waar een hoog en brede voorland aanwezig is.
 - Hoe om te gaan met Bewezen Sterkte zoals bijvoorbeeld bij een berekende hoog faalkans (of wel een lage β) bij laag/dagelijks buitenwaterstanden (die meermaals zijn opgetreden).
 - Hoe om te gaan met de onzekerheid in opbarsten en opdrijven (bv. toevoegen van een onzekerheid aan de sterktereductie factor? de uplift-factor? Of de volumegegewicht en waterspanningen?). De modellering van Uplift (opbarsten en/of opdrijven) in een probabilistische analyse verdient nog aandacht. Handreiking/Handvatten hiervoor zijn belangrijk.
 - Een betere definitie van het moment van begin van infiltratie door overslag (buitenwaterstand) en het moment van volledige verzadiging door infiltratie. Op dit moment worden 2 overslagdebieten gekozen: (i) waarbij de infiltratie begint en (ii) waarbij de dijk volledig verzadigd zit (meestal wordt 1 en 10 l/s/m gekozen maar dit is arbitrair).
 - De veiligheidsfilosofie voor regionale keringen vereist aandacht. De AS-methode is daar ook van toepassing.

2. Wat is cruciaal voor de implementatie en acceptatie van het resultaat?

- Specialistische kennis /ervaring en kennisoverdracht zijn belangrijk.
- Uitlegbaarheid / communicatie AS (bestuurders burgers).
- Robuust resultaat is wenselijk. Scope of resultaten moeten niet veel wijzigen (geldt voor zowel probabilistische als semi-probabilistische analyses).
- Het kunnen geven van een winstverwachting bij toepassing van de AS methode (vooraf).
- Bij het toepassen Bewezen Sterkte: de benodigde observatie dient nagenoeg gelijk of groter te zijn dan de belasting onder beoordeling of ontwerpcondities.
- ENW acceptatie/advies (is reeds beschikbaar – zie bijlage A).
- Het continue monitoren van maatgevende belastingen kan nodig zijn als dit (in de toekomst) als observatie nodig is voor goedkeuren (AS stap 3).

3. Wat waren onze ervaringen met toepassen van actuele sterkte?

- De AS werkwijze dwingt tot verdieping van uitgangspunten en berekeningen. De methode geeft veel inzicht in onzekerheden en derhalve welke onzekerheden er toe doen en waar je effort in zou kunnen steken om ze te verkleinen.
- Rendement van Bewezen Sterkte (AS stap 3) is afhankelijk van de beschikbaarheid en nauwkeurigheid van gegevens van de observatie en de observatie dient nagenoeg gelijk of groter te zijn dan de belasting onder beoordeling- of ontwerpcondities.
- Uitgangspunten samenstellen (eigenlijk AS stap 0) kost tijd en kan een iteratief proces zijn. Soms levert AS stap 1 al een scherpere beoordeling, omdat de uitgangspunten kritisch worden beoordeeld en bediscussieerd. Verder blijkt dat schematisatie keuzes belangrijke gevolgen kunnen hebben voor AS stap 2 (i.v.m. AS stap 1).
- AS stap 2 kost vooral meer tijd doordat men bekend dient te raken met de software en discussie en overleg over schematiseringskeuzes. De werkwijze op zichzelf maakt het omgaan met onzekerheden juist veel eerlijker, makkelijker en inzichtelijker.

3 Conclusies en wenselijke ontwikkelingen

Met de AS vakmiddag is een goed beeld ontstaan over de (on-)mogelijkheden om de methode in bepaalde situaties toe te passen. Tijdens de vakdag zijn de behoeftes voor een succesvolle implementatie, en voor verdere ontwikkeling van actuele en bewezen sterkte geïdentificeerd (methodes, tools, leidraden/handvatten), door ervaringen met de toepassing in projecten met elkaar te delen.

Ook wilden we criteria en eisen definiëren om op voorhand het te behalen rendement in te schatten (in termen van de overleefde belasting, de monitoring daarvan, bijkomende belastingen, overige/autonome ontwikkelingen zoals bodemdaling, etc.). Naast inhoudelijke bevindingen over de toepassing van Actuele en Bewezen Sterkte is ook ingegaan op eventuele consequenties van of randvoorwaarden voor de toepassing van de methode voor de keringbeheerder.

Belangrijkste benodigde/wenselijke ontwikkelingen:

- Update documentatie is nodig. Update en samenvoegen van AS documenten is dus wenselijk, inclusief “praktijk voorbeeld” en alle inzichten van laatste 3 jaren (2016-2019), zodat we tot één AS verhaal komen.
- Reststerkte door aanwezigheid van hoog voorland en door (kleine) glijvlakken die niet tot overstrooming leiden. Hoe deze aanwezige reststerkte voor macro-stabiliteit van het binnentalud kan worden meegerekend is nog niet onderzocht.
- Hoe we op dit moment opbarsten en opdrijven meenemen in een macro-stabiliteit berekening verdient nog aandacht. De modellering hiervan in een probabilistische analyse moet nog onderzocht worden.
- Betere inschatting van infiltratie door overslag is nodig. Voor zowel semi-probabilistische als probabilistische analyse geldt dat het bepalen van de illustratie punten voor het moment van overslag, waardoor er met verzadigde dijk gerekend gaat worden, erg onnauwkeurig is. Voor KIJK is Hydra-NL aangepast en dit zou ook relatief eenvoudig voor alle andere watersystemen moeten kunnen.



Datum
14 juni 2019

Ons kenmerk
11203415-002-GEO-0002

Pagina
23 van 111

Referenties

Kanning, W. & Schweckendiek, T. (2017). **Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating – Groene Versie – Macrostabieliteit Binnenwaarts**. Deltares rapport 11200575-014-GEO-0001, Versie 3, 22 september 2017, definitief.

Schweckendiek, T., van der Krogt, M., Rijnveld & Teixeira, A. (2017). **Handreiking Faalkansanalyse Macrostabieliteit – Groene versie**. Deltares rapport 11200575-016-GEO-0005, Versie 03, 3 oktober 2017, definitief

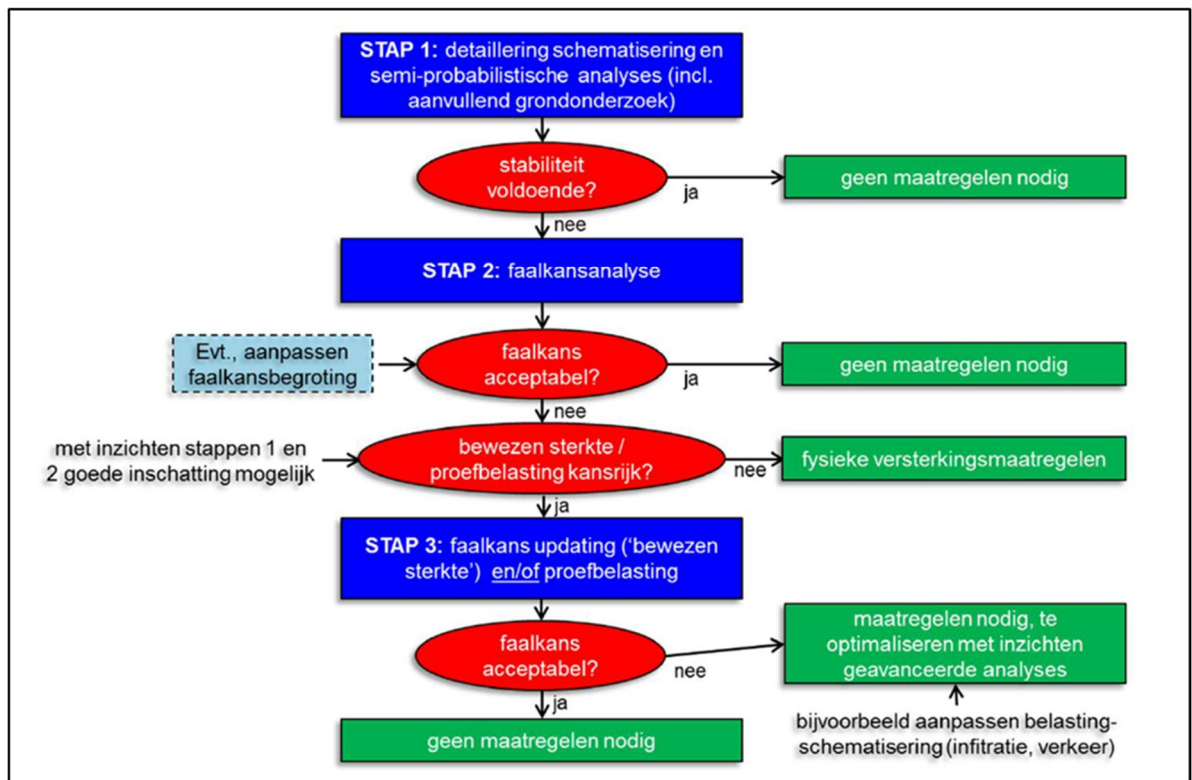
Teixeira, A. en Rosenbrand, E. (2017). **Doorvertaling van bewezen sterkte resultaten naar een dijkvak**. Deltares rapport 11200575-017, sep 2017, definitief.

Bijlage A

Methode actuele sterkte

In de hieronder figuur is in essentie het stappenplan voor Actuele Sterkte (AS) weergegeven, waarbij gewerkt wordt van grof naar fijn. De methode begint met het aanscherpen van de gewone (standaard) semi-probabilistische analyses (op basis van karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren) door schematiseren op maat en eventueel aanscherpen van de analyse op basis van aanvullend terreinonderzoek en/of monitoring gegevens. Hierbij worden de definitieve uitgangspunten voor de berekeningen vastgesteld (AS stap 1).

Vervolgens wordt de stap gemaakt naar probabilistische faalkansanalyses, waarbij rekenwaarden van parameters en belastingen worden vervangen door kansverdelingen (AS stap 2). Tenslotte, indien nodig, wordt de berekende faalkans bijgesteld door middel van het in rekening brengen van overleefde belastingcondities ('bewezen sterkte', AS stap 3).



Figuur 1 Hoofdstappen in faalkansanalyse en updating [Kanning & Schweckendiek, (2017)]

Vooraf deze drie actuele sterkte stappen is het van belang dat er een inschatting van kansen winst en risico van de AS methode. Deze voorstap is AS stap 0 genoemd. Daar zit ook de verzamelen en opstellen van uitgangspunten, die wel vooraf beschikbaar zijn (bv. areaal en onderzoekslocaties, grond sterkte-eigenschappen, buitenwaterstand, overslag, schematisaties van geometrie, lagen, waterspanningen, etc.).

Status probabilistische analyses



Datum

14 juni 2019

Ons kenmerk

11203415-002-GEO-0002

Pagina

25 van 111

ENW heeft positief geadviseerd over de methode en aangegeven dat de methode generiek toepasbaar is (advies van 9 februari 2017, met kenmerk ENW-V-17-09). Gesteld kan worden dat een faalkansberekening geheel in lijn is met zowel het OI2014-v4 als ook het WBI2017, waarbij wordt opgemerkt dat de faalkansberekening voorsorteert op de probabilistische analyse die waarschijnlijk ook in het WBI wordt opgenomen. De methode is beschreven in de "Handreiking Faalkansanalyse Macrostabieleit" [Schweckendiek et al. (2017)] en de "Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating" [Kanning & Schweckendiek, (2017)] - Deze zijn via de helpdeskwater website beschikbaar.



Datum
14 juni 2019

Ons kenmerk
11203415-002-GEO-0002

Pagina
26 van 111

Bijlage B

Programma:

12.00 uur	Inloop (met lunch)
13.00 uur	Welkom, door Henk van Hemert (RWS) en Martin Schepers (POVM)
13.30 uur	Projectpresentaties (deel I)
14.30 uur	Plenaire discussie
15.00 uur	Pauze
15.30 uur	Projectpresentaties (deel II)
16.30 uur	Plenaire discussie en afronding
17.00 uur	Borrel en napraten

Projectpresentaties:

- Dijkversterking KIJK (Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard): door Jasper Tamboer (HHSK) en Cor Bisschop (Green Rivers)
- Dijkversterking Zwolle- Olst (Waterschap Drents Overijsselse Delta): door Jan Gruppen (WDOD) en Ana Teixeira (Deltares)
- Markermeerdijken (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier): door Ben Castricum (Alliantie Markermeerdijken) en Anton van der Meer (Deltares)
- STOWA-studie regionale keringen: door Jordi Kames (WSRL)

Deelnemerslijst:

Wegens privacy redenen zijn de namen van de deelnemers niet genoemd



Bijlage C

Project: Vraag:	Zwolle-Olst	KIJK	STOWA	MMD
1	<ul style="list-style-type: none"> Mogelijkheid om andere variabelen/parameters als stochast in de prob. analyses te beschouwen Meerdere glijvlakken kunnen maatgevend zijn (zie ervaringen). Duidelijk handvatten hoe hiermee om te gaan. Handleiding voor Probabilistic Toolkit Handvatten/handreiking schematisatie keuzes zoals gedraineerd/ongedraineerd, cohesie en correlatie grondlagen Momenten van overslag en infiltratie 	<ul style="list-style-type: none"> Eigenschappen en dijksmateriaal 	<ul style="list-style-type: none"> Projectsoftware dient robuuster te zijn. Is soms nog instabiel Voor regionale keringen is nog onbekend of gedraineerd of ongedraineerd moet worden gerekend. Veiligheidsfilosofie is niet duidelijk. Voor stap 2 zijn te hanteren materiaalfactoren nog niet bekend e Duidelijker handreiking i.v.m. keuze gedraineerd/ongedraineerd gedrag in dijk boven freatisch vlak(dagelijks of bij hoge buitenwaterstand). Bèta-H relatie is niet altijd maatgevend. Kan ook verkeer zijn. Handreiking/Handvatten zijn belangrijk Vertaling van resultaat Bewezen Sterkte van dwarsprofiel naar dijkvak 	<ul style="list-style-type: none"> Hoe omgaan met verschillende glijvlakken en correlaties tussen grondlagen. Handvatten voor schematisatie overleefde situatie (observatie) Wat zegt berekende lage faalkans bij lagen buitenwaterstanden (die meermaals zijn opgetreden) Hoe om te gaan met reststerkte (Niet alle glijvlakken zijn relevant voor overstroming)
2	<ul style="list-style-type: none"> Zelf sommen 'in house' kunnen uitvoeren Kennisoverdracht 	<ul style="list-style-type: none"> Uitlegbaarheid/communicatie AS (bestuurders burgers). Draagvlak voor geloof in de methode (vooral in begin project 2017 was dit belangrijk) 	<ul style="list-style-type: none"> Diverse correlaties verdienen nog meer aandacht (en handvatten) Bijvoorbeeld correlaties van sterkteparameters van verschillende grondlagen Specialistische kennis/ervaring. Kennisoverdracht is belangrijk Gebiedsontwikkeling (vergunning):⁹ Het continue monitoren van maatgevende belastingen kan nodig zijn als dit (in de toekomst) als observatie nodig is voor goedkeuren.... 	<ul style="list-style-type: none"> Robuust resultaat (scope of resultaten moeten niet veel wijzigen (geldt voor alle stappen: prob. of semi-prob.))

⁹ Als scherp is beoordeeld wordt kan het bij vergunningaanvraag voor een (kleine) wijziging van het ontwerp nodig zijn dat daarvoor ook prob. analyses nodig zijn. Is dit wenselijk?



<p>3</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Alleen AS stap 1 en 2 zijn doorlopen voor dit project. Het werken met de software D-Geo stability projectsoftware ging snel. Vooral de koppeling met de Probabilistic Toolkit vereist nog ondersteuning. • Belangrijk om erg kritisch te zijn op de uitgangspunten, met name de probabilistische parameters. • Gevoeligheidsanalyses (semi-prob: AS stap 1) zijn erg belangrijk • Nog moeite met de resultaten van de (veel) gevoeligheidsanalyses vertalen naar een uitkomst voor een dijkvak. Extra grondonderzoek is hiervoor nodig, maar je weet wel "wat je zoekt". • Probabilistische methoden (Stap 2) kosten vooral meer tijd in het bekend raken met de software en schematiseringskeuzes. De werkwijze an sich maakt het omgaan met onzekerheden juist veel eerlijker/makkelijker/inzicht elijker. • Meerdere glijvlakken kunnen maatgevend zijn voor verschillende waterstanden of glijvlakken kunnen verschillend zijn voor semi-prob en prob. • Inspanning per som valt op zich mee. Meeste tijd gaat naar overleggen/bepalen uitgangspunten • Stapsgewijze aanpak helpt • Meerdere ervaringen zijn genoemd in de presentatie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Succes van AS komt vooral door het samen doen van gemotiveerde mensen • Vooraf inschatting van kansen winst en risico van de methode maken: was blijkaar positief (kost niets extra (HWBP innovatie) en levert potentieel iets op) • Het komen tot goede uitgangspunten voor de analyses is een iteratief proces • De invloed van verkeersbelasting bleek belangrijker dan de hoge buitenwaterstand • Prob. Analyses hebben veel inzicht gegevens. Het uiteindelijke ontwerp kan/is daardoor scherper gemaakt. • De methode is toepasbaar (doen!) • Meerdere ervaringen zijn genoemd in de presentatie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verkeersbelasting heeft grote invloed op resultaat. Zelfs met monitoring van hoge freatische lijnen was het bewezen sterkte effect klein door de dominantie van de verkeersbelasting. Een proefbelasting in de vorm van een verkeersbelasting (of het weglaten van de verkeersbelasting in de toets) zou theoretisch wel iets opleveren. • Onzekerheid van grensspanning (ook S) heeft grote invloed • Projectsoftware is soms nog instabiel • Meerdere ervaringen zijn genoemd in de presentatie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bewezen Sterkte analyses (stap 2 en 3) geven inzicht in benodigde belasting (observatie) om tot goedkeuring te kunnen overgaan. • Het bewezen sterkte effect was vrij groot maar niet genoeg om de norm te halen. Ondanks dit wordt het "geleerde" niet gebruikt om het ontwerp te verkleinen. Dus: bewezen sterkte bij ontwerpen heeft nog potentie. • Maatgevende glijvlakken..... • Meerdere ervaringen zijn genoemd in de presentatie.
----------	---	---	---	---



D Verslagen interviews 2019

Inleiding:

In 2016 is de POVM gestart met het project 'Beter benutten Actuele Sterkte Macrostabieleit'. Deze kennisinnovatie is als eerste toegepast door HHSK, binnen dijkversterking KIJK. Dat vormde de start voor toepassing in meer HWBP projecten, veelal binnen de verkenningsfase.

De POVM vindt het daarom een goed moment om de beschikbare kennis en ervaringen te gaan bundelen in één overzichtelijk document: de 'POVM Publicatie Actuele Sterkte voor Macrostabieleit'. Deze publicatie zal in 2020 verschijnen. Doelgroepen zijn projectmanagers, technisch managers en technisch uitvoerenden. De publicatie geeft hen niet alleen inzicht in de methodiek, maar illustreert ook de effecten en consequenties van toepassing, aan de hand van ervaringen uit praktijkprojecten. In 2019 stellen we ter voorbereiding een achtergrondrapport op, waarin we onder andere ook deze praktijkervaringen willen vastleggen.

Doel interview:

De praktijkervaringen met Actuele Sterkte willen we in kaart brengen door middel van interviews met vertegenwoordigers vanuit de doelgroep. Daarbij hopen we te horen wat de toepassing hen heeft opgeleverd, wat het heeft gekost en wat beter kan.

Het interview heeft op locatie plaatsgevonden waarbij de volgende vragen aan de orde zijn gekomen. In de met blauw gemarkeerde tekst zijn de antwoorden weergegeven

D.1 WSVV: Noordelijke Randmeerdijk

Interview met: Waterschap Vallei & Veluwe (WSVV) en Witteveen+Bos (Wi+Bo)

Geïnterviewden: Joost Borgers (Technisch Manager Dijkversterking Noordelijke Randmeerdijk, WSVV) Coen Steetzel (Adviseur Waterkeringen, Wi+Bo)

Interviewers: Arno Rozing (Deltares)

Datum: 15-11-2019

Vragenlijst en antwoorden:

1. Waarom is Actuele Sterkte (AS) als innovatie binnen het project toegepast? Denk bijvoorbeeld aan de volgende mogelijke doelen:

- opdoen van toepassingservaring en evalueren van winstpotentie,
- onderbouwen/optimaliseren scope,
- onderbouwen/optimaliseren ontwerpalternatieven,
- oplossen van knelpuntsituaties,
- besluitvormingsondersteuning,
- kennisontwikkeling,
- tegemoetkomen aan wensen bewoners (geen onnodige versterking),
- tegemoetkomen aan wensen bestuur (innovatie, aandacht voor burgerbelang, etc.)

Optimalisatie scope:

Er was een grote scope voor STBI. Na de expertsessie werd geconcludeerd dat de winstpotentie in basis groot zou kunnen zijn.

Opdoen toepassingservaring en kennisontwikkeling:

Het toepassen van AS heeft voor het Waterschap en Wi+Bo kennis opgeleverd. Uiteraard heeft de toepassing ook kennis voor de POVM opgeleverd. Het feite dat de POVM mede heeft bijgedragen (in de vorm van de expertsessie en ondersteuning tijdens het project) heeft er ook toe bijgedragen dat AS is toegepast.

2. Wat heeft AS toepassing u op hoofdlijnen opgeleverd in relatie tot de door u onder het vorige punt genoemde doelen. ?



Vooral scope-reductie:
In stap 1 en 2 is de scope gereduceerd van 7.200 m naar ongeveer 600 m. De nut en noodzaak van aanvullend terrein- en laboratoriumonderzoek en monitoring (waterspanningen) heeft dit duidelijk onderstreept.
In stap 2 zijn 2 profielen doorgerekend waarvan dit voor 1 profiel heeft geleid tot goedkeuring. Daarnaast is ervaring opgedaan en de kennis vergroot door toepassing van de methode (vooral m.b.t. stap 2: probabilistische analyses). Dit geldt niet alleen voor het Waterschap en Wi+Bo maar ook voor de POVM.

3. In welk van onderstaande onderdelen van de verkenningfase is AS toegepast.
 - a. Opstellen PvA, incl. verzamelen informatie en uitvoeren nader (grond)onderzoek
 - b. Opstellen kansrijke oplossingsrichtingen,
 - c. Selectie voorkeursalternatief,
 - d. Vaststelling voorkeursalternatief.
 - e. Parallel onderzoeksspoor

'Tijdens' het opstellen van (a) het PvA is AS als een min of meer (e) parallel onderzoeksspoor opgezet met de naam 'Scherp Toetsen'. In dit onderzoeksspoor is overigens niet alleen AS meegenomen.

4. De AS methodiek voor macro-stabiliteit bestaat uit maximaal 3 stappen, voorafgegaan door een kansenscan. Deze stappen zijn:

Stap 1: aanscherping van de semi-probabilistische schematisering, op basis van gericht verzamelde informatie;

Stap 2: Faalkansbepaling door middel van probabilistische analyse;

Stap 3: Faalkansupdate op basis van 'Bewezen sterkte'

Welke stappen zijn binnen uw project toegepast? En is daaraan voorafgaand een kansenscan (middels een expertsessie) uitgevoerd?

Er is een kansenscan uitgevoerd middels een expertsessie. De AS methodiek heeft voor dit project vooral bestaan uit stap 1 en 2. Binnen stap 1 is uitvoerig terrein- en laboratoriumwerk uitgevoerd. Daarnaast heeft monitoring van de waterspanningen plaatsgevonden en is n.a.v. dit alles de modelschematisering fors aangescherpt.

Tijdens het uitvoeren van stap 2 zijn de prob. uitgangspunten vastgesteld. Dit proces leverde op dat uitgangspunten voor stap 1 soms ook bijstelling behoeft. Stap 3 is niet uitgevoerd omdat dit door de forse scope-verkleining niet meer nodig was en er waren vanuit het verleden geen opgetreden en overleefde hoge belastingen beschikbaar/gedocumenteerd waardoor dit tot een (nog) gunstiger uitkomst zou leiden.

5. Wat was/is van elke uitgevoerde stap (inclusief de kansenscan) het afzonderlijke effect op de door u onder punt 1 genoemde doelen?

De expertsessie is een belangrijke stap geweest en om gezamenlijk de kansen in te schatten en heeft laten inzien dat de scope van STBI (maar ook voor piping en hoogte) vermoedelijk fors kon worden verkleind.

Door toepassing van stap 1 is niet alleen macrostabiliteit maar ook piping en hoogte uiteindelijk geoptimaliseerd in het 'Scherp Toetsen' spoor. In stap 1 is de scope gereduceerd van 7.200 m naar 1.000 m.

In stap 2 zijn 2 profielen probabilistisch doorgerekend waarvan dit voor 1 profiel heeft geleid tot goedkeuring. Door toepassing van stap 2 is de scope verder verkleind (1 van de 2 dijkvakken goedgekeurd). Van 1.000 m naar circa 600 m.

Met name door het uitvoeren van stap 2 is kennis ontwikkeld binnen het waterschap en is de toepassingservaring vergroot. (zie verder bij punt 2).



6. Wat zijn de consequenties van AS toepassing in termen van onder andere tijd/planning, geld, risico's, communicatie en verdere projectbeheersing.
AS was onderdeel van het 'Scherp Toetsen' waarin onderzoek naar piping en hoogte was uitgevoerd. De planning (VKA) is hierdoor opgeschoven in de tijd. De opdrachtgever (Adriaan Smeenk van WSVV) heeft hier weloverwogen extra tijd (6 maanden) voor gegeven.
Het uitvoeren van het 'Scherp Toetsen' spoor, waarvan AS dus een onderdeel is, heeft circa k€ 500,- gekost, maar heeft uiteindelijk een veelvoud opgeleverd.
Risico was dat de investering uiteindelijk niet zou opleveren wat dan vertraging en imagoschade zou hebben opgeleverd.
Toepassing voor het gehele traject kost veel inspanning en veel doorlooptijd. Dit zal goed moeten worden ingepast in het proces.
7. Wat zijn uw ervaringen met de door de POVM gefaciliteerde expertsessie als instrument voor de kansenscan? En welke tips heeft u eventueel om het nut en de effectiviteit van deze kansenscan nog te vergroten?
De kansenscan/expertsessie is hier een belangrijke stap geweest om gezamenlijk de kansen op scopeverkleining voor het traject in beeld te brengen en was erg nuttig. Het geeft een beter beeld van de kansen. Het bleek snel duidelijk dat er goede kansen lagen bij toepassing van stap 1 en 2 voor macrostabiliteit, maar ook voor hoogte en piping.
8. Bij een eventuele verkennende toepassing van de AS stappen 2 en eventueel ook 3 op geselecteerde locaties: welke meerwaarde had deze verkenning voor u? En welk vervolg of welke verbreding (voor het gehele dijktraject) was/is er daarna nog nodig om de onder punt 1 door u genoemde doelen te bereiken? Welke problemen of belemmeringen ervaart u daarbij en/of welke aanpak beveelt u aan.
Meerwaarde voor stap 2 voor het project is dat nu de scope is verkleind en dat de nieuwe inzichten vanuit de POVM zijn meegenomen. Voor de resterende scope is het niet nodig aanvullende analyses uit te voeren (stap 2).
Voor een dijkvak wordt een probabilistisch ontwerp van de versterking overwogen. Het zou in eerste instantie zinvol zijn om te bekijken wat het verschil is tussen een semi-prob en een prob. ontwerp.
9. Het is bij semi-probabilistisch beoordelen en ontwerpen vereist om de schematiseringsonzekerheid te modelleren via scenario's met kans van voorkomen. Voor ontwerp wordt daaruit dan vaak een schematiseringsfactor afgeleid voor het gehanteerde basisscenario. Hoe er in de probabilistische analyses vanaf AS stap 2 rekening gehouden met deze schematiseringsonzekerheid?
Op basis van het uitgebreide onderzoek in stap 1 zijn de onzekerheden in kaart gebracht en is ten behoeve van stap 2 uitgegaan van het maatgevende profiel met grondopbouw en een bovengrens van de waterspanningen. Hierdoor zijn er geen noemenswaardige restonzekerheden.
Omdat de waterspanning als bovengrens in de analyses is gemodelleerd kan dit door dit te modelleren als stochasten worden geoptimaliseerd (met een minder conservatief resultaat als gevolg. Dit wordt voor de PU fase in de aanbevelingen opgenomen.
10. Bij eventuele toepassing van AS voor ontwerpdoeleinden: hoe is daarbij de mogelijk gewenste robuustheid ingebracht en welke eisen zijn daarvoor geformuleerd?
(Nog) niet van toepassing.
Opgemerkt wordt wel dat dit lastig is omdat er meerdere mogelijkheden zijn.
Opgemerkt wordt dat zou kunnen worden gesteld dat probabilistisch rekenen überhaupt robuuster is dan semi-prob. rekenen en dus ook een robuuster ontwerp oplevert. In gemiddeld 20% van de gevallen weten we dat het semi-prob. resultaat niet voldoet aan de gestelde eis (zie kalibratielijin). Bij prob rekenen wordt de werkelijkheid beter berekend.



Hierdoor kan gesteld worden dat een prob. ontwerp robuuster is ondanks het feite dat gemiddeld in 80% van de gevallen een minde conservatieve versterkingsmaatregel wordt berekend.

11. Wat ging bij de huidige toepassing goed en wat ging minder goed?
Het kostte relatief veel tijd om de uitgangspunten duidelijk te krijgen voor de prob. berekeningen. Hierover is veel discussie gevoerd. Oorzaak is dat nog een slag nodig is die veel tijd kan kosten om vanuit de semi-prob. uitgangspunten de uitgangspunten voor de prob. berekeningen af te leiden.
De samenwerking binnen het team tussen verschillende partijen (WSVV, Wi+Bo, Deltares en POVM) voor stap 2 ging prima. Op kantoor bij Deltares zijn door Wi+Bo en Deltares elk een dwarsprofiel berekend.
Omdat dit het tweede HMBP project was waarbij AS werd toegepast werkte de software nog niet optimaal. Daarnaast is het zowel door het ingenieursbureau als het Waterschap gewenst dat het uitvoeren van de prob. analyses wordt geoptimaliseerd waardoor dit minder tijd vergt.
12. Wanneer zou u AS bij volgende projecten wel of niet toepassen (denkende aan relatie andere faalmechanismen die wellicht al niet voldoen, robuustheid, knelpuntsituaties). En binnen welke projectfase(n)? zou u het dan willen inzetten.
Als de inschatting is dat er kansen zijn (optimalisatie of twijfel voor wat betreft de scope) dan zou je het willen/moeten toepassen. De expertsessie is hierbij belangrijk omdat de kansen erg project specifiek zijn. Daarbij is het van belang om in te schatten of dit effect heeft/zal hebben op het VKA of op andere faalmechanismen. Hierbij dient dan ook naar eventuele optimalisatie binnen andere faalmechanismen te worden gekeken.
Ook belangrijk is de gebruikersvriendelijkheid van de software en automatisering.
De fase waarbinnen AS zou kunnen/moeten vallen is de verkenningsfase t.b.v. vaststelling van de scope.
Uiteindelijk hoort toepassing van AS natuurlijk bij de Beoordeling. Hiermee bereik je een stabielere scope voorafgaand aan de versterking.
13. Wat zijn naar uw inschatting de consequenties van AS toepassing voor het toekomstige beoordelingsproces
Duidelijk is dat de beoordeling dan ook probabilistisch zal zijn voor het betreffende project. De gemaakte (uitgebreide) rapportage van het AS project en onderliggende data moet input kunnen zijn. Hierin moet dan voldoende robuustheid zitten zodat het in de Beoordeling geen knelpunt vormt.
14. Heeft u verdere opmerkingen, vragen, tips of verbeterpunten?
Het zou zinvol zijn op richtlijnen te geven voor bepaling van de maatgevende/kritieke glijvlakken (reststerke) (redactie: Hiernaar is onderzoek gestart waarvan de eerste resultaten medio zomer 2020 worden verwacht).
Modellering van het freatisch valk als gevolg van infiltratie bij overslag geeft veel discussie en heeft grote consequenties. Onderzoek hiernaar wordt als erg belangrijk gezien.

D.2 WDOD: Zwolle–Olst

Interview met: Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD)

Geïnterviewden: Jan Gruppen (adviseur Waterveiligheid) Peter Hopman (Specialist)



Datum
14 juni 2019

Ons kenmerk
11203415-002-GEO-0002

Pagina
D-7 van 111

Waterveiligheid)

Interviewers: Arno Rozing en Bernard van der Kolk (Deltares)

Datum: 4-11-2019

Vragenlijst en antwoorden:

1. Waarom is Actuele Sterkte (AS) als innovatie binnen het project toegepast? Denk bijvoorbeeld aan de volgende mogelijke doelen:
 - opdoen van toepassingservaring en evalueren van winstpotentie,
 - onderbouwen/optimaliseren scope,
 - onderbouwen/optimaliseren ontwerpalternatieven,
 - oplossen van knelpuntsituaties,
 - besluitvormingsondersteuning,
 - kennisontwikkeling,
 - tegemoetkomen aan wensen bewoners (geen onnodige versterking),
 - tegemoetkomen aan wensen bestuur (innovatie, aandacht voor burgerbelang, etc.)

Onderbouwing scope:

Er is een grote scope voor STBI binnen het HWBP-project Zwolle-Olst. De semi-prob. analyses geven aan dat resultaat in veel gevallen niet heel ver van de norm ligt en dat winstpotentie in basis groot zou kunnen zijn. Opgemerkt wordt wel dat er ook een scope is voor wat betreft piping en andere faalmechanismen.

Tegemoet komen aan wensen bestuur (Innovatie): Dit was niet de driver om te starten met het onderzoek maar achteraf bleek dit te worden omarmd door het bestuur.

Opdoen toepassingservaring en kennisontwikkeling:

Het Waterschap heeft interesse om zelf de berekening uit te voeren t.b.v. toepassingservaring en kennisontwikkeling bij het Waterschap zelf. Hierdoor kan de methodiek gemakkelijker breder (andere projecten) worden ingezet. In de nabije toekomst volgen nog een aantal HWBP projecten met een scope betreffende STBI.

2. Wat heeft AS toepassing u op hoofdlijnen opgeleverd in relatie tot de door u onder het vorige punt genoemde doelen. ?
 - 2 van de 3 geanalyseerde profielen/dijkvakken zijn goedgekeurd voor STBI (hoewel nog niet definitief oordeel)
 - Er is een duidelijk advies geformuleerd naar de Plan-uitwerkingsfase (PU-fase) met aanbevelingen en voorgestelde aanpassingen van de uitgangspunten
 - Resultaten zijn zodanig dat nu wordt overwogen om AS toe te passen voor andere projecten en dat het uitvoeren van prob. analyses de standaard wordt.
 - Er is ervaring gedaan met toepassing van de methode
 - Het zelf aan de knoppen zitten heeft kennis opgeleverd over statistiek, probabilistische rekenen, verbreding van het netwerk (Deltares, KPR). Dit is versterkte doordat nauw wordt samengewerkt met experts en of dat experts in de buurt zijn voor vragen.
3. In welk van onderstaande onderdelen van de verkenningsfase is AS toegepast.
 - a. Opstellen PvA, incl. verzamelen informatie en uitvoeren nader (grond)onderzoek
 - b. Opstellen kansrijke oplossingsrichtingen,
 - c. Selectie voorkeursalternatief,
 - d. Vaststelling voorkeursalternatief.
 - e. Parallel onderzoeksspoor

Voorafgaan aan het opstellen van (a) het PvA is AS als een (e) parallel onderzoeksspoor opgezet zodat de resultaten in de PU-fase kunnen worden toegepast.

4. De AS methodiek voor macro-stabiliteit bestaat uit maximaal 3 stappen, voorafgegaan door een kansenscan. Deze stappen zijn:



Stap 1: aanscherping van de semi-probabilistische schematisering, op basis van gericht verzamelde informatie;

Stap 2: Faalkansbepaling door middel van probabilistische analyse;

Stap 3: Faalkansupdate op basis van 'Bewezen sterkte'

Welke stappen zijn binnen uw project toegepast? En is daaraan voorafgaand een kansenscan (middels een expertsessie) uitgevoerd?

Er is een kansenscan uitgevoerd middels een expertsessie. De AS methodiek heeft voor dit project vooral bestaan uit stap 2 en in mindere mate stap 1. Laatstgenoemde stap was nl. al uitgevoerd in de Nadere Veiligheids Analyse (NAV) Tijdens het uitvoeren van stap 2 dienen echter prob. uitgangspunten te worden vastgesteld. Dit proces levert op dat uitgangspunten voor stap 1 soms ook bijstelling behoeft.

5. Wat was/is van elke uitgevoerde stap (inclusief de kansenscan) het afzonderlijke effect op de door u onder punt 1 genoemde doelen?
De kansenscan heeft laten inzien dat de scope van STBI vermoedelijk fors kon worden verkleind.
Door toepassing van stap 2 is de scope verkleind (2 dijkvakken van de 3 vooralsnog goedgekeurd) en verwachting is uitgesproken dat dit meer scopeverkleining gaat opleveren als dit voor het gehele dijktraject wordt toegepast.
Met name door het uitvoeren van stap 2 is kennis ontwikkeld binnen het waterschap en is de toepassingservaring vergroot. (zie verder bij punt 2)
6. Wat zijn de consequenties van AS toepassing in termen van onder andere tijd/planning, geld, risico's, communicatie en verdere projectbeheersing.
Toepassing voor het gehele traject kost veel inspanning en veel doorlooptijd. Dit zal goed moeten worden ingepast in het proces.
Risico is dat nieuwe technieken zich altijd verder (moeten) ontwikkelen en dat dit meevallers en tegenvallers oplevert. Bij tegenvallers kan een probleem ontstaan als hierdoor het resultaat veel conservatiever uitvalt.
Verder biedt het toepassen van AS kansen om de scope (terecht) te verkleinen, wat natuurlijk een forse kostenvermindering inhoudt.
7. Wat zijn uw ervaringen met de door de POVM gefaciliteerde expertsessie als instrument voor de kansenscan? En welke tips heeft u eventueel om het nut en de effectiviteit van deze kansenscan nog te vergroten?
De kansenscan was erg nuttig. Het geeft een beter beeld van de kansen op scopeverkleining voor het traject. Voornemen is om dit ook te doen voor andere trajecten die in de nabije toekomst versterking behoeven.
Voordeel van het zelf uitvoeren van de prob. analyses is dat in vervolg de kansenscan geheel of deels zelf kan worden uitgevoerd. Mensen van WDOD zouden nu ook kunnen helpen bij het uitvoeren van expertsessies bij andere waterschappen.
8. Bij een eventuele verkennende toepassing van de AS stappen 2 en eventueel ook 3 op geselecteerde locaties: welke meerwaarde had deze verkenning voor u? En welk vervolg of welke verbreding (voor het gehele dijktraject) was/is er daarna nog nodig om de onder punt 1 door u genoemde doelen te bereiken? Welke problemen of belemmeringen ervaart u daarbij en/of welke aanpak beveelt u aan.
Meerwaarde voor het project is dat nu een gericht advies naar de PU fase kan worden gegeven om AS toe te passen voor het gehele traject. Voornemen is om dit te verbreden naar toekomstige versterkingsprojecten. Doordat ook meerdere ingenieursbureaus ervaring opbouwen wordt ook belangrijk dat (wellicht juist door hun) slimme automatisering wordt ontwikkeld waardoor de analyses sneller kunnen worden uitgevoerd. Automatisering is belangrijk.



9. Het is bij semi-probabilistisch beoordelen en ontwerpen vereist om de schematiseringonzekerheid te modelleren via scenario's met kans van voorkomen. Voor ontwerp wordt daaruit dan vaak een schematiseringsfactor afgeleid voor het gehanteerde basisscenario. Hoe er in de probabilistische analyses vanaf AS stap 2 rekening gehouden met deze schematiseringonzekerheid?
In feite is hier nog onvoldoende rekening mee gehouden maar in deze verkennende fase kon dit ook nog moeilijk. In deze fase was toepassing ook niet wenselijk om een goede vergelijking mogelijk te maken tussen stap 1 en 2.
Qua ondergrond en geometrie geeft dit aan dat de huidige analyses mogelijk te optimistisch zijn. Omdat de waterspanning als bovengrens in de analyses is gemodelleerd kan dit door dit te modelleren als stochasten worden geoptimaliseerd (met een minder conservatief resultaat als gevolg. Dit wordt voor de PU fase in de aanbevelingen opgenomen.
10. Bij eventuele toepassing van AS voor ontwerpdoeleinden: hoe is daarbij de mogelijk gewenste robuustheid ingebracht en welke eisen zijn daarvoor geformuleerd?
(Nog) niet van toepassing.
Opgemerkt wordt wel dat als met prob. analyses de scope is verkleind, het voor de naastliggende vakken gewenst is een prob ontwerp te maken om discontinuïteit (groot verschil met naastliggend dijkvak) zoveel mogelijk te voorkomen. Daarnaast zijn de gegevens al voorhanden. Om robuustheid in te brengen kan worden gedacht aan het verlagen van de toelaatbare faalkans met bijvoorbeeld een factor 10. Hierover moet nog goed worden nagedacht.
Opgemerkt wordt dat zou kunnen worden gesteld dat probabilistisch rekenen überhaupt robuuster is dan semi-prob. rekenen en dus ook een robuuster ontwerp oplevert. In gemiddeld 20% van de gevallen weten we dat het semi-prob. resultaat niet voldoet aan de gestelde eis (zie kalibratielijn). Bij prob rekenen wordt de werkelijkheid beter berekend. Hierdoor kan gesteld worden dat een prob. ontwerp robuuster is ondanks het feite dat gemiddeld in 80% van de gevallen een minde conservatieve versterkingsmaatregel wordt berekend.
11. Wat ging bij de huidige toepassing goed en wat ging minder goed?
Vooraf moeten de uitgangspunten duidelijk zijn. Hoewel dit vooraf ook duidelijk was, is het niet geheel gelukt om de uitgangspunten duidelijk te krijgen voor de prob berekening. Oorzaak is dat nog een slag nodig is die veel tijd kan kosten om vanuit de semi-prob. uitgangspunten de uitgangspunten voor de prob. berekeningen af te leiden.
Het project was zeer nuttig. Het netwerk is verbreed en de toepassingservaring is vergroot. Het in het rapport beschrijven van een doorkijk /vertaling van de resultaten van enkele dwarsprofielen naar het gehele dijktraject was zinvol. De kansenscan is daarmee geüpdatet.
12. Wanneer zou u AS bij volgende projecten wel of niet toepassen (denkende aan relatie andere faalmechanismen die wellicht al niet voldoen, robuustheid, knelpuntsituaties). En binnen welke projectfase(n)? zou u het dan willen inzetten.
Als er een significante scope is qua STBI wordt overwogen om AS toep te passen in alle toekomstige projecten. Daarbij is het van belang om in te schatten of dit effect heeft/zal hebben op het VKA of op andere faalmechanismen. Ook belangrijk is de gebruikersvriendelijkheid van de software en automatisering.
Of dit in de verkenningfase of in de PU-fase zou moeten plaatsvinden is nog lastig.
13. Wat zijn naar uw inschatting de consequenties van AS toepassing voor het toekomstige beoordelingsproces



Duidelijk is dat in 2023 probabilistisch rekenen binnen riskeer nodig zal zijn

14. Heeft u verdere opmerkingen, vragen, tips of verbeterpunten?
Geen

D.3 WSHD: Vestingwal te Hellevoetsluis

Interview met: Waterschap Hollandse Delta (WSHD)

Geïnterviewden: Bastiaan Los (Technisch Manager Dijkversterking Normtraject 20-3), Jan-Kees Bossenbroek (Specialist Waterkeringen)

Interviewer: Arno Rozing (Deltares)

Datum: 4-11-2019

Vragenlijst en antwoorden:

1. Waarom is Actuele Sterkte (AS) als innovatie binnen het project toegepast? Denk bijvoorbeeld aan de volgende mogelijke doelen:

- opdoen van toepassingservaring en evalueren van winstpotentie,
- onderbouwen/optimaliseren scope,
- onderbouwen/optimaliseren ontwerpalternatieven,
- oplossen van knelpuntsituaties,
- besluitvormingsondersteuning,
- kennisontwikkeling,
- tegemoetkomen aan wensen bewoners (geen onnodige versterking),
- tegemoetkomen aan wensen bestuur (innovatie, aandacht voor burgerbelang, etc.)

Onderbouwing scope:

Vooraf was duidelijk was dat een regulier toets/beoordeling afkeuren zou betekenen van de gehele strekking van de Vestingwal. In 2003 was reeds een Toetsing uitgevoerd met Bewezen Sterkte, met goedkeuring van een groot deel van de Vestingwal als gevolg. Toets op maat is dus noodzakelijk voor onderbouwing scope.

Oplossen knelpuntsituaties:

Een eventueel noodzakelijke versterking mag het aanblik van de Vestingwal niet aantasten (monument). Het gehele traject is in feite een knelpuntsituatie.

Kennisontwikkeling:

Voor de nabije toekomst is het belangrijk om goed op de hoogte te zijn van deze (nieuwe) kennisontwikkelingen.

2. Wat heeft AS toepassing u op hoofdlijnen opgeleverd in relatie tot de door u onder het vorige punt genoemde doelen. ?

Een van de 2 beoordeelde profielen kan worden goedgekeurd en het tweede profiel kan worden geoptimaliseerd en daarmee wordt verkleining van de scope bereikt hoewel het uitrollen van As voor het gehele traject nog dient plaats te vinden

3. In welk van onderstaande onderdelen van de verkenningfase is AS toegepast.
- a. Opstellen PvA, incl. verzamelen informatie en uitvoeren nader (grond)onderzoek
 - b. Opstellen kansrijke oplossingsrichtingen,
 - c. Selectie voorkeursalternatief,
 - d. Vaststelling voorkeursalternatief.
 - e. Parallel onderzoeksspoor

De reguliere beoordeling voor dit deel van normtraject 20-4 is overgeslagen (zie punt 1). AS valt onder de toets op maat



4. De AS methodiek voor macro-stabiliteit bestaat uit maximaal 3 stappen, voorafgegaan door een kansenscan. Deze stappen zijn:
 - Stap 1: aanscherping van de semi-probabilistische schematisering, op basis van gericht verzamelde informatie;
 - Stap 2: Faalkansbepaling door middel van probabilistische analyse;
 - Stap 3: Faalkansupdate op basis van 'Bewezen sterkte'Welke stappen zijn binnen uw project toegepast? En is daaraan voorafgaand een kansenscan (middels een expertsessie) uitgevoerd?
Alle stappen zijn toegepast. Een kansen scan is niet uitgevoerd maar op basis van het Bewezen Sterkte onderzoek uit 2003 was ingeschat dat de kansrijkheid van stap 3 groot was.
5. Wat was/is van elke uitgevoerde stap (inclusief de kansenscan) het afzonderlijke effect op de door u onder punt 1 genoemde doelen?
Stap 3 leverde de het meeste op en heeft de scope geoptimaliseerd (een profiel is goedgekeurd). Verwachting is dat met de aanbevelingen de resterende scope voor het grootste gedeelte van het traject kan worden verkleind.
6. Wat zijn de consequenties van AS toepassing in termen van onder andere tijd/planning, geld, risico's, communicatie en verdere projectbeheersing.
De scopeverkleining alleen al levert veel op (besparing dijkversterking) uitgaande van goedkeuring in 2 profielen. Toepassing voor het gehele traject kost veel inspanning en veel doorlooptijd. Een profiel doorrekenen t/m stap 3 kost veel tijd voor wat betreft het uitvoeren van de berekeningen. Dit geldt vooral voor stap 3, mede omdat hiervoor veel informatie door het Waterschap moet worden geleverd over de historische belastingsituatie. Niet alleen de inspanning maar ook de doorlooptijd kan dan groot zijn. Hoewel het veel oplevert en de businesscase snel rond is, is techniek niet altijd leidend. Binnen 'Beoordeling' is de businesscase minder makkelijk gemaakt in vergelijking met versterking. Het onderzoek (met name stap 3) kost veel geld in relatie tot de kosten van het uitvoeren van een regulier beoordeling.
7. Wat zijn uw ervaringen met de door de POVM gefaciliteerde expertsessie als instrument voor de kansenscan? En welke tips heeft u eventueel om het nut en de effectiviteit van deze kansenscan nog te vergroten?
Is niet voor dit project uitgevoerd.
8. Bij een eventuele verkennende toepassing van de AS stappen 2 en eventueel ook 3 op geselecteerde locaties: welke meerwaarde had deze verkenning voor u? En welk vervolg of welke verbreding (voor het gehele dijktraject) was/is er daarna nog nodig om de onder punt 1 door u genoemde doelen te bereiken? Welke problemen of belemmeringen ervaart u daarbij en/of welke aanpak beveelt u aan.
De profielen zijn nagenoeg goedgekeurd. Met uitvoering de aanbeveling kan dit nu worden uitgerold voor de gehele Vestingwal. Het is complexe materie en de wens is om de analyses of zelf te kunne uitvoeren of goed te kunne doorgronden om voor vervolgprojecten de rol van deskundig opdrachtgever goed te kunnen vervullen.
9. Het is bij semi-probabilistisch beoordelen en ontwerpen vereist om de schematiseringonzekerheid te modelleren via scenario's met kans van voorkomen. Voor ontwerp wordt daaruit dan vaak een schematiseringsfactor afgeleid voor het gehanteerde basisscenario. Hoe is er in de probabilistische analyses vanaf AS stap 2 rekening gehouden met deze schematiseringonzekerheid?
De profielen zijn maatgevend voor een klein dijkvak waarvoor de maatgevende grondopbouw is gekozen. Qua grondopbouw is er slechts een kleine kans op een conservatievere opbouw. De waterspanningen zijn als stochast gemodelleerd. Gezien



bovengenoemde zijn er geen restonzekerheden waar rekening mee moet worden gehouden waardoor geen aparte scenario's behoeven te worden beschouwd.

10. Bij eventuele toepassing van AS voor ontwerpdoeleinden: hoe is daarbij de mogelijk gewenste robuustheid ingebracht en welke eisen zijn daarvoor geformuleerd?
Niet van toepassing
11. Wat ging bij de huidige toepassing goed en wat ging minder goed?
De doorlooptijd van de analyses was lang, maar dit lag niet op het kritieke pad. Hier is moeilijk grip/controle op te houden. Uit het verkennend onderzoek volgde diverse aanbevelingen. Lastige daarbij is of en zo ja wanneer deze aanbevelingen zouden moeten worden opgevolgd. Bij de aanbevelingen zou dit meer aandacht behoeven.
12. Wanneer zou u AS bij volgende projecten wel of niet toepassen (denkende aan relatie andere faalmechanismen die wellicht al niet voldoen, robuustheid, knelpuntsituaties). En binnen welke projectfase(n)? zou u het dan willen inzetten.
Het zou zinvol zijn ook bij Beoordeling een scan te maken van kritische locaties en knelpunten waarbij de kans op succes door toepassing van AS wordt ingeschat.
13. Wat zijn naar uw inschatting de consequenties van AS toepassing voor het toekomstige beoordelingsproces
Er zal voor STBI gemiddeld een aanmerkelijk gunstiger resultaat worden bereikt (minder conservatief).
14. Heeft u verdere opmerkingen, vragen, tips of verbeterpunten?
Geen

D.4 WSHD: Normtraject 20-3

Interview met: Waterschap Hollandse Delta (WSHD)

Geïnterviewden: Bastiaan Los (Technisch Manager Dijkversterking Normtraject 20-3), Jan-Kees Bossenbroek (Specialist Waterkeringen)

Interviewer: Arno Rozing (Deltares)

Datum: 4-11-2019

Vragenlijst en antwoorden:

1. Waarom is Actuele Sterkte (AS) als innovatie binnen het project toegepast? Denk bijvoorbeeld aan de volgende mogelijke doelen:

- opdoen van toepassingservaring en evalueren van winstpotentie,
- onderbouwen/optimaliseren scope,
- onderbouwen/optimaliseren ontwerpalternatieven,
- oplossen van knelpuntsituaties,
- besluitvormingsondersteuning,
- kennisontwikkeling,
- tegemoetkomen aan wensen bewoners (geen onnodige versterking),
- tegemoetkomen aan wensen bestuur (innovatie, aandacht voor burgerbelang, etc.)

Het tegemoetkomen aan de wensen van bestuur is (innovatie):

In Normtraject 20-3 zitten een aantal knelpuntsituaties. En het traject staat bekend om het toepassen van innovaties waaronder AS. Het bestuur hecht hier veel waarde aan.

Onderbouwing scope:



Voor nadere onderbouwing en hopelijk verkleining van scope is het van belang o.a. AS toe te passen.

Kennisontwikkeling:

Voor de nabije toekomst is het belangrijk om goed op de hoogte te zijn van deze (nieuwe) kennisontwikkelingen

2. Wat heeft AS toepassing u op hoofdlijnen opgeleverd in relatie tot de door u onder het vorige punt genoemde doelen. ?

Uit de expertsessie volgde dat de kansrijkheid voor scopeverkleining groot is. AS zal hierdoor worden toegepast voor dit traject. O.a. hierdoor staat dit traject nu bekend als innovatief.

3. In welk van onderstaande onderdelen van de verkenningsfase is AS toegepast.
 - a. Opstellen PvA, incl. verzamelen informatie en uitvoeren nader (grond)onderzoek
 - b. Opstellen kansrijke oplossingsrichtingen,
 - c. Selectie voorkeursalternatief,
 - d. Vaststelling voorkeursalternatief.
 - e. Parallel onderzoekspoor

In de voorverkenning (wordt ingangstoets) zullen AS stap 1 en 2 gaan plaatsvinden. Stap 3 zal worden toegepast binnen (b) en (c) voor enkele knelpuntsituaties waar in 2003 t.b.v. de Toetsing Beween sterkte is toegepast.

4. De AS methodiek voor macro-stabiliteit bestaat uit maximaal 3 stappen, voorafgegaan door een kansenscan. Deze stappen zijn:

Stap 1: aanscherping van de semi-probabilistische schematisering, op basis van gericht verzamelde informatie;

Stap 2: Faalkansbepaling door middel van probabilistische analyse;

Stap 3: Faalkansupdate op basis van 'Bewezen sterkte'

Welke stappen zijn binnen uw project toegepast? En is daaraan voorafgaand een kansenscan (middels een expertsessie) uitgevoerd?

Het toepassen van AS stap 1 en 2 zal gaan plaatsvinden in de voorverkenning. Stap 3 zal optioneel zijn voor enkele knelpuntsituaties waar in 2003 t.b.v. de Toetsing Beween sterkte is toegepast (afhankelijk van de inschatting van de kans op succes). Voorafgaand heeft al een kansenscan (middels een expertsessie met POVM) plaatsgevonden.

5. Wat was/is van elke uitgevoerde stap (inclusief de kansenscan) het afzonderlijke effect op de door u onder punt 1 genoemde doelen?

Het AS onderzoek zelf moet nog plaatsvinden. Op basis van de kansenscan is ingeschat dat de kans op scopeverkleining voor wat betreft Macrostabiele van het binnentalud (STBI) groot is.

6. Wat zijn de consequenties van AS toepassing in termen van onder andere tijd/planning, geld, risico's, communicatie en verdere projectbeheersing.

Op basis van de kansenscan volgt dat de kans op scopeverkleining groot is. Dit levert veel besparing op dijkversterking. Toepassing voor het gehele traject kost veel inspanning en veel doorlooptijd. Dit zal goed moeten worden ingepast in het proces. Hoewel het veel oplevert en de businesscase snel rond is, is techniek niet altijd leidend.

7. Wat zijn uw ervaringen met de door de POVM gefaciliteerde expertsessie als instrument voor de kansenscan? En welke tips heeft u eventueel om het nut en de effectiviteit van deze kansenscan nog te vergroten?

De expertsessie was zeer nuttig maar kwam aanvankelijk iets te vroeg in het proces. Belangrijk is evenwel om dit proces vroegtijdig op te starten.



8. Bij een eventuele verkennende toepassing van de AS stappen 2 en eventueel ook 3 op geselecteerde locaties: welke meerwaarde had deze verkenning voor u? En welk vervolg of welke verbreding (voor het gehele dijktraject) was/is er daarna nog nodig om de onder punt 1 door u genoemde doelen te bereiken? Welke problemen of belemmeringen ervaart u daarbij en/of welke aanpak beveelt u aan.
[Het uitvoeren van het verkennende AS onderzoek moet nog plaatsvinden](#)
9. Het is bij semi-probabilistisch beoordelen en ontwerpen vereist om de schematiseringonzekerheid te modelleren via scenario's met kans van voorkomen. Voor ontwerp wordt daaruit dan vaak een schematiseringsfactor afgeleid voor het gehanteerde basisscenario. Hoe er in de probabilistische analyses vanaf AS stap 2 rekening gehouden met deze schematiseringonzekerheid?
[Nog niet van toepassing](#)
10. Bij eventuele toepassing van AS voor ontwerpdoeleinden: hoe is daarbij de mogelijk gewenste robuustheid ingebracht en welke eisen zijn daarvoor geformuleerd?
[Nog niet van toepassing](#)
11. Wat ging bij de huidige toepassing goed en wat ging minder goed?
[Nog niet van toepassing](#)
12. Wanneer zou u AS bij volgende projecten wel of niet toepassen (denkende aan relatie andere faalmechanismen die wellicht al niet voldoen, robuustheid, knelpuntsituaties). En binnen welke projectfase(n)? zou u het dan willen inzetten
[Eerst maar een uitvoeren voor Normtraject 20-3](#)
13. Wat zijn naar uw inschatting de consequenties van AS toepassing voor het toekomstige beoordelingsproces?
[Als binnen het dijkversterkingsproject de scope voor STBI probabilistisch wordt vastgesteld zal dit ook prob. moeten worden beoordeeld.](#)
14. Heeft u verdere opmerkingen, vragen, tips of verbeterpunten?
[Geen](#)



E Voor- en nadelen probabilistische rekentechnieken bij ontwerpen

Deltares d.d. juni 2019

Inleiding

Dit document geeft een eerste aanzet voor een visie op het toepassen van probabilistische rekentechnieken bij dijkversterkingsontwerpen. Hierin zijn drie stappen te onderscheiden:

- als eerste de analyses ten behoeve van de scope-bepaling van de dijkversterking. Dit is al in meerdere projecten succesvol toegepast om de scope naar beneden toe bij te stellen.
- ten behoeve van de dijkversterking die 'in scope' is na deze analyses is duidelijker waar de onzekerheden zitten die het zwaarst meetellen (dus waar nader onderzoek mogelijk kansrijk is). Hiermee kan de scope mogelijk nog verder worden verkleind.
- voor de resterende versterkingsopgave kan worden nagedacht over probabilistisch ontwerpen. Dit onderwerp is betrekkelijk nieuw, en zal nog goed moeten worden doordacht voordat het een geaccepteerde toepassing is.

Vooralsnog gaat dit memo grotendeels over het toepassen van probabilistisch rekenen bij macrostabiliteit binnenwaarts, al worden er enkele opmerkingen over verdere ontwikkelingen geplaatst.

Daarnaast wordt een opsomming van voor- en nadelen van de inzet van probabilistisch rekenen bij ontwerpen gegeven.

Doel van dit document is om input te geven voor een workshop over probabilistisch rekenen bij ontwerpen die voor en met WSRL wordt georganiseerd (medio 2019). De workshop moet resulteren in een memo over omgaan met probabilistische rekentechnieken bij dijkversterking (vooral nog vooral macrostabiliteit binnenwaarts) binnen WSRL.

Dit document is tot stand gekomen door gesprekken met diverse collega's en verslagen en presentaties van Actuele Sterkte bijeenkomsten. Uit gesprekken met de collega's volgen twee beelden. Enerzijds het beeld dat probabilistisch toetsen en ontwerpen altijd gedaan zou moeten worden omdat het beter aansluit bij de werkelijkheid, gemiddeld minder conservatief en niet moeilijker dan semi-probabilistisch is. Dit is de overheersende mening. Anderzijds is er het beeld dat we vaak erg veel moeite hebben om goede semi-probabilistische analyses uit te voeren (met alle recente aanpassingen in het WBI en OI), gekoppeld aan de vraag of we, zolang we de mechanica niet volledig snappen, al dan wel de stap naar probabilistisch moeten en kunnen gaan zetten. Zou er niet eerst een 'tool' moeten komen waarbij iedereen eenduidig probabilistisch een beoordeling kan uitvoeren en pas daarna de stap naar ontwerpen zetten. Hoewel dit een valide argument is, spreekt hier ook uit dat de stap richting meer en verdergaande integratie van probabilistische rekentechnieken feitelijk wordt onderschreven. Het gaat over het tempo waarin dit gebeurt en welke hindernissen onderweg moeten worden overwonnen voor het zo ver is.



Visie

Probabilistisch ontwerpen heeft de toekomst. Het streven is dat de WBI beoordeling probabilistisch gaat worden en probabilistisch ontwerpen sluit daar goed op aan. Bovendien is probabilistisch ontwerpen niet moeilijker of tijdrovender dan semi-probabilistisch ontwerpen. Uiteraard is probabilistisch ontwerpen geen doel op zichzelf, maar een middel om tot een veilige dijk te komen. Met probabilistisch ontwerpen wordt het ontwerp beter en de verwachting is dat in de meeste gevallen, 80%, het ontwerp minder conservatief wordt met minder of kleinere versterkingsopgave. In de gevallen waar het ontwerp niet minder conservatief wordt voldoet de kering wel aan de norm, tevens is wel inzicht verkregen in de parameters/aspecten die de grootste invloed hebben op het resultaat en waar extra onderzoek wellicht uitkomst biedt. De eerste resultaten voor STBI laten zien dat met probabilistisch ontwerpen een veilige dijk met kortere berm wordt ontworpen dan met semi-probabilistisch ontwerpen wat de inpassing van dijkversterkingen vergemakkelijkt en goedkoper maakt. In veel andere projecten wordt geconstateerd dat de scope met prob. rekenen wordt verkleind. Uiteraard zal probabilistisch ontwerpen in het begin onwennig zijn en meer tijd kosten, maar verwacht wordt dat het op den duur net zo snel gaat als semi-probabilistisch ontwerpen. Dat een kleinere of korter berm wordt ontworpen komt vooral doordat in een probabilistische STBI berekening onzekerheden expliciet worden meegenomen. In de faalkansanalyse worden karakteristieke en rekenwaarden vervangen door kansverdelingen van bijvoorbeeld grondparameters. Het conservatisme dat inherent is aan een semi-probabilistische aanpak wordt vermeden.

Probabilistisch ontwerpen zal in 80% van de gevallen minder conservatief worden omdat de 'kalibratielij' niet meer wordt gebruikt. Maar er is de vrees is dat door probabilistisch te gaan ontwerpen de dijkversterking minder robuust wordt. Die robuustheid zou dan vooral zitten in verborgen veiligheid in de huidige ontwerpmethodologie waarbij gebruik wordt gemaakt van de kalibratielij. Echter in de 20% van de gevallen dat niet een minder conservatief ontwerp kan worden gemaakt wordt met een probabilistisch ontwerp wel aan de norm voldaan. Dus gesteld kan worden dat lokaal wat wordt ingeleverd wordt op veiligheid (minder conservatief) maar over het gehele dijktraject is probabilistisch ontwerpen veiliger/ robuuster.

Vooralsnog is het niet mogelijk om een heel dijktraject probabilistisch te ontwerpen voor alle faalmechanismen. Enerzijds lijkt het bijhouden van een goede boekhouding van alle vakinformatie (keuzes in de probabilistische analyse) voor het hele traject een moeilijke opgave en anderzijds is het nog niet voor alle relevante faalmechanismen mogelijk om deze probabilistisch te benaderen. Dus vooralsnog wordt er gericht op het probabilistisch ontwerpen van STBI op doorsnede niveau en wordt gezocht naar mogelijkheden om methodes voor probabilistisch ontwerpen voor andere faalmechanismen verder uit te breiden. Hierbij wordt opgemerkt door hoogte en piping prob. kunnen worden bepaald. Maar inmiddels wordt er binnen BOI wel nagedacht hoe er ook eventueel ontwerpfunctionaliteiten aan Riskeer kunnen worden toegevoegd.



Overzicht voor- en nadelen

Onderstaande lijst is een eerste aanzet en de lijst is niet uitputtend. Opgemerkt wordt dat probabilistisch ontwerpen wordt bedoeld op ontwerpen per doorsnede en vooralsnog wordt gericht op macro-stabiliteit binnenwaarts (STBI).

Voordelen

Opgemerkt wordt dat de voor- en nadelen op willekeurige volgorde staan en er niet is gerangschikt naar mate van relevantie of impact.

Expliciet/ nauwkeuriger

1. Door expliciet in rekening brengen van onzekerheden inzicht in de dominante onzekerheden en waar eventueel ruimte voor optimalisatie zit.
2. Scherpere analyse (beter aansluitend bij de werkelijke sterkte), locatie specifiek, minder conservatief (in de meeste gevallen) doordat de 'conservatieve' kalibratielijn niet wordt gebruikt.
3. De kans dat een ander dan het semi-prob glijvlak maatgevend is wordt inzichtelijker en de analyse wordt daardoor beter.
4. Je krijgt meer inzicht in de invloed van de buitenwaterstand op de stabiliteit (stabiliteit per waterstand), met daarbij de invloed van opdrijven/opbarsten en golfoverslag. Ook de invloed van evt. voorland wordt inzichtelijk. Hiervoor worden fragility curves gebruikt. Deze zouden overigens ook voor semi-prob. berekeningen gemaakt kunnen worden.
5. Mechanismes als infiltratie door overslag zijn mee te nemen in de analyse (na aanpassing HydraNL). Ook verkeersbelasting (afhankelijk van de waterstand) kan meegenomen worden. Wel is het van belang om de kans op optreden van een waterstand of verkeersbelasting te kennen of kunnen berekenen. Dit kan ook in de semi-prob. analyse, maar is geen praktijk.
6. De invloeden van metingen en monitoring kunnen expliciet worden meegenomen
7. Directe input voor op maat analyses met faalpaden, o.a. voor NWO's (bv. veiligheidsraamwerk kabels en leidingen). Of analyses met reststerkte of restbreedte na een eerste afschuiving.
8. Prob. analyse is in feite beter uitlegbaar omdat dit de basis is en daaruit is de semi-prob. analyses afgeleid.
9. In basis zijn voor het uitvoeren van prob analyses niet meer uitgangspunten en parameters nodig dan voor semi. prob analyses. Ofwel als je semi prob. analyses kunt uitvoeren kun je ook prob. analyses uitvoeren .

Bewezen Sterkte

10. *Je kunt bewezen sterkte/ faalkans update toepassen op basis van observaties in het verleden of proefbelastingen die goed gemeten/gemonitord zijn .*

Beoordeling

11. *Je sluit aan bij de overstromingskans benadering en (toekomstig) probabilistisch toetsen, sluit aan bij WBI/OI*



Algemeen

12. *ENW heeft positief geadviseerd over toepassing de methode¹⁰*
13. *Reeds positieve ervaring in meerdere projecten met probabilistisch beoordelen (Markermeerdijken, KJK, Vallei en Veluwe, Zwolle-Olst, Vestingwal te Hellevoetsluis (faalkans updating), ...) en beperkte ervaring met ontwerpen binnen GoWa, TiWa en SAFE.*
14. *Er is ondersteunende software beschikbaar (D-GeoStability (projectversie), Probabilistic Toolkit) en met de nieuwe D-GeoStability moet het nog makkelijker gaan).*

Nadelen

Filosofie

1. *Probabilistisch ontwerpen vereist ook probabilistisch toetsen, in het standaard instrumentarium voor de gedetailleerde toets (Riskeer) wordt dit nog niet gefaciliteerd waardoor het nu automatisch een toets op maat wordt. Probleem is wel tijdelijk, wordt op voorgesorteerd voor 2023.'*
2. *Voor ontwerpen is een robuust systeem (marge op onvoorzien, bv kennisontwikkeling) wenselijk. Robuustheid lijkt makkelijker in te bouwen in een semi-prob systeem, maar dat komt waarschijnlijk doordat we nog geen ervaring hebben hoe om te gaan met toekomstige veranderingen bij een prob. ontwerp.*
3. *Als scherp prob. is ontworpen, kan het bij een vergunningaanvraag, voor een (kleine) wijziging van het ontwerp, nodig zijn dat daarvoor ook prob. analyses nodig zijn.*

Berekeningen

4. *Het controleren van berekeningen en resultaten is tijdrovender.*
5. *Eventuele correlaties tussen grondeigenschappen of state parameters zijn onbekend maar hebben wel invloed op het resultaat. Er moeten dus soms binnen de probabilistische aanpak nog conservatieve aannames worden gemaakt. Het is niet altijd voor iedereen duidelijk wat conservatieve aannames zijn.*

Ervaring / opstart perikelen

6. *Probabilistische methoden kosten vooral meer tijd in het bekend raken met de software en schematiseringskeuzes. De werkwijze an sich maakt het omgaan met onzekerheden juist veel eerlijker/makkelijker/inzichtelijker.*
7. *Specialistische kennis benodigd. Kennis van probabilistiek, statistiek en waterkeringen is benodigd of helpt om efficiënt goede analyses te maken en de resultaten te beoordelen.*
8. *Het vergt (vooralsnog) meer inspanning om een goede set uitgangspunten te krijgen. Dit komt omdat er nog geen rekening wordt gehouden met probabilistische analyses tijdens het verzamelen en opstellen van de uitgangspunten. Als dit wel gebeurt, is de extra inspanning zeer beperkt. Opgemerkt wordt dat er nog wel een aantal uitgangspunten zijn, zoals*

¹⁰ De methode die is toegepast is beschreven in de "Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating" [Kanning & Schweckendiek, 2017] - te downloaden via de POV-M website. ENW heeft positief geadviseerd over de methode en aangegeven dat de methode generiek toepasbaar is (advies van 9 feb 2017, met kenmerk ENW-V-17-09). Gesteld kan worden dat een faalkansberekening geheel in lijn is met zowel het OI2014-v4 als ook het WBI2017, waarbij wordt opgemerkt dat de faalkansberekening voorsorteert op de probabilistische analyse die waarschijnlijk ook in het WBI wordt opgenomen.



bijvoorbeeld correlaties tussen grondlagen, waarvan nog niet duidelijk is hoe die goed gekozen moeten worden.

Methode/ software

9. *De probabilistische methodiek is nog niet optimaal, zo is het vanwege de rekentijd nog nodig om het glijvlak vast te zetten. Momenteel worden nieuwe rekenmethodes onderzocht. Er wordt al nagedacht over het simplificeren en automatiseren van het uitvoeren van prob. analyses.*
10. *Er is bruikbare software beschikbaar, maar de koppeling tussen D-GeoStability en de Probabilistic Toolkit is niet altijd optimaal, maar eventuele problemen zijn meestal snel verholpen.*

Volledig probabilistisch ontwerpen per traject

Dit is nog toekomst muziek waar nog veel onderzoek en keuzes voor nodig zijn en wordt vooralsnog alleen kort aangestipt en niet uitvoerig behandeld.

11. *Als je gaat uitwisselen met andere vakken/ doorsnedes en mechanismen geeft dat heel veel administratie en benodigde communicatie tussen ontwerpers/ partijen. Voordeel is wel dat het lengte effect ook expliciet in rekening wordt gebracht.*

Opmerkingen/ aandachtspunten

Kalibratielij

In een probabilistische analyse is de 'kalibratielij' niet meer benodigd om van een stabiliteitsfactor naar een bèta (ofwel faalkans) te komen. Hierdoor valt er extra 'ruis'/onzekerheid, die de kalibratielij introduceert, weg.

Illustratiepunten t.b.v. overslag

Voor zowel semi-prob. als probabilistische analyse geldt dat het bepalen van de illustratiepunten voor het moment van overslag, waardoor er met verzadigde dijk gerekend gaat worden, erg onnauwkeurig is. Voor KIJK is HydraNL aangepast en dit zou ook relatief eenvoudig voor alle andere watersystemen moeten kunnen. Tot op heden is dit nog niet gebeurd, mogelijk vanwege gebrek aan financiers. Overigens is in de semi-probabilistische methode overslag als los faalmechanisme beschouwd met een eigen eis.

Overige Aandachtspunten:

- *Mogelijkheid om andere variabelen/parameters als stochast in de prob. analyses te beschouwen. Nu is het de sterkte, state, buitenwaterstand en modelfactor. Idealiter ook freatische lijn, stijghoogtes, grondlaag ligging,*
- *Gebruikers wensen handvatten hoe om te gaan met het feit dat meerdere glijvlakken maatgevend kunnen zijn. De handreiking faalkansanalyse macrostabiliteit kan hier bij helpen.*
- *Handvatten/handreiking gewenst schematisatie keuzes zoals gedraineerd/ongedraineerd, cohesie en correlatie grondlagen. Dit geldt gedeeltelijk ook voor semi-probabilistisch ontwerpen.*
- *Diverse correlaties verdienen nog meer aandacht (en handvatten). Bijvoorbeeld correlaties van sterkteparameters van verschillende grondlagen*
- *Update documentatie is nodig*
- *Koppeling D-GeoStability met Probabilistic toolkit is voor beginnende gebruikers lastig, maar is met een recente update van de D-GeoStability minder nodig.*
- *De modellering van Uplift (Opbarsten + Opdrijven) in een probabilistische manier verdient nog aandacht (en handvatten).*
-



Andere faalmechanismen

Naast STBI zijn er ook nog andere mechanismen waarvan het wenselijk is om deze probabilistisch te ontwerpen. Onderstaand een beknopt overzicht met aangeven de status van probabilistisch ontwerpen.

1. Grasbekleding, GEKB kan al officieel probabilistisch (common practice), GEBU nog niet, wel kalibratiestudie uitgevoerd, dus bouwstenen zijn beschikbaar. GABI en GABU ook nog geen kalibratiestudie uitgevoerd;
2. Piping (STPH), eerste verkennende berekeningen zijn uitgevoerd
3. STBU, wordt aan gewerkt / staat op de agenda van POVM
4. Overige bekledingen (?)
5. Hoogte?

F Gebruikte begrippen en afkortingen

Begrijpelijkst	
Belasting	Op een constructie (een waterkering) uitgeoefende uitwendige krachten, ofwel de mate waarin een constructie door in- en uitwendige krachten wordt aangesproken, uitgedrukt in een fysische grootheid
Betrouwbaarheidseis	Zie "doelbetrouwbaarheid"
Betrouwbaarheidsindex (β)	Waarde die de mate van 'betrouwbaarheid' van een waterkering weergeeft. Een hoge waarde van de betrouwbaarheidsindex correspondeert met een kleine faalkans
Bezwijken	Het optreden van verlies van inwendig evenwicht (bijvoorbeeld afschuiven) en/of het optreden van verlies van samenhang in materiaal (bijvoorbeeld het verweken) en/of het optreden van ontoelaatbaar grote vervormingen van de waterkering
Binnendijks	Aan de kant van het land, de polder of het binnenwater
Binnentalud	Het hellende vlak van het dijklichaam aan de binnenzijde van de dijk
Binnenteen	De onderrand van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld)
Buitendijks	Aan de kant van de kerende zijde (hoogwaterzijde en in dit geval dus de zijde van de haven)
Buitentalud	Hellend vlak van het dijklichaam aan de kerende zijde
Buitenteen	De onderrand van het dijklichaam aan de buitendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld en/of voorland)
Buitenwater	Oppervlaktewater waarvan de waterstand direct onder invloed staat van waterstand op zee, de grote rivieren.
Critical State	De schuifspanningstoestand waarbij de uiteindelijke sterkte is bereikt en waarbij doorgaande schuifrek plaatsvindt bij gelijkblijvend volume.
D-Geo Stability	Software voor glijvlakberekeningen
Dijkvak	Een deel van een waterkering met min of meer gelijke sterkte-eigenschappen en belasting
Doelbetrouwbaarheid	De minimaal vereiste betrouwbaarheidsindex bij een bepaalde faalkanseis
Faalkans	Kans op overschrijden van een grenstoestand
Faalkans per dijkdoorsnede en faalmechanisme	De kans op het optreden van een faalmechanisme zoals macro-instabiliteit in een dijkdoorsnede. Doorvertaling via lengte-effect factor van de faalkanseis per traject naar de maximaal toelaatbare kans op het optreden van een faalmechanisme als macro-instabiliteit in een doorsnede. Daarbij wordt gebruik gemaakt van een faalkansbegroting.
Faalkanseis per dijktraject	De maximaal toelaatbare faalkans voor een traject. Voor primaire keringen is deze faalkanseis vastgelegd in een wettelijke norm.
Faalkansberekening	Zie probabilistische analyse
Faalkansbegroting	Verdeling van de maximaal toelaatbare faalkans per dijktraject over de faalmechanismen. Wordt toegepast in de gedetailleerde toets per dijkvak, waarbij een faalkansbegroting wordt voorgeschreven. In de gedetailleerde toets per traject wordt de faalkansbegroting vrijgelaten.

Faalkansruimtefactor	De verhouding tussen de maximaal toelaatbare faalkans voor een mechanisme en de maximaal toelaatbare faalkans voor een dijktraject. Deze verhouding volgt uit de faalkansbegroting.
Faalmechanisme	De wijze waarop een waterkering faalt
Falen	Het niet meer vervullen van de primaire functie (keren van buitenwater) en/of het niet meer voldoen aan de vastgestelde criteria
Freatische vlak	De vrije grondwaterspiegel
Glijvlakmodel	Rekenmodel waarmee de weerstand van een grondmoot tegen afschuiven langs een schuifvlak wordt berekend
Grensspanning	De effectieve verticale spanning die in samendrukkingproeven de overgang markeert van elastische herbelasting naar maagdelijke belasting met blijvende plastische vervorming
Groene dijk	Een dijk die zijn sterkte uitsluitend aan grond ontleent, zonder toepassing van constructieve elementen.
Grenstoestand	De toestand waarin de sterkte van een constructie of een onderdeel daarvan nog juist evenwicht maakt met de daarop werkende belastingen
Kansverdelingsfunctie	Een functie die van een stochastische variabele aangeeft wat de kans is dat deze variabele kleiner dan of gelijk aan een bepaalde waarde is
Karakteristieke waarde	Waarde van een stochastisch variabele met een voorgeschreven onder- of overschrijdingskans. De karakteristieke sterkte van grond is bijvoorbeeld de sterkte met 5 % onderschrijdingskans
Kruin	De strook tussen buitenkruinlijn en binnenkruinlijn
Kruinhoogte	De hoogte van de kruin, meestal uitgedrukt bij een bepaalde locatie (bv buiten- en/of binnenkruinlijn en/of de referentie)
Lengte-effect	Invloed van de door ruimtelijke autocorrelatie bepaalde variaties van dijk- en ondergrondeigenschappen binnen een dijktraject op de faalkans van (een faalspoor binnen) dat dijktraject. Wiskundig gezien gelijk is aan de verhouding tussen de faalkans van een "uniform" dijktraject en de faalkans van een dwarsdoorsnede uit dat traject
Macrostabiliteit	De weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond
Materiaalfactor (γ_m)	Partiële factor die op karakteristieke waarden van materiaalsterkte wordt toegepast om onzekerheden bij een referentiewaarde van de doelbetrouwbaarheid te verdisconteren
Modelfactor (γ_d)	Partiële factor die onzekerheden in berekeningsmethode verdisconteert
Macro-instabiliteit	Het afschuiven van grote delen van het grondlichaam van een dijk langs rechte of gebogen glijvlakken, dan wel het evenwichtsverlies ten gevolge van het ontstaan van grote plastische zones
Ontwerppunt	Het ontwerppunt is die combinatie van waarden van stochasten met de grootste kans van voorkomen waarvoor geldt dat de grenstoestandfunctie (sterkte minus belasting) gelijk aan nul is. Het ontwerppunt wordt teruggerekend vanuit de kansen en de invloed coëfficiënten
Overschrijdingsfrequentie	Het gemiddelde aantal keren dat in een bepaalde tijd een verschijnsel een zekere waarde bereikt of overschrijdt
Overschrijdingskans	De kans dat de ontwerpwaterstand bereikt of overschreden wordt
Overstromingskans	De kans dat een gebied overstroomt doordat de waterkering rondom dat gebied (de dijkkring) op één of meer plaatsen faalt

Partiële veiligheidsfactor	Factor waarmee de representatieve waarden van sterkte en belasting worden aangepast om zeker te stellen dat gebruik van de resulterende rekenwaarden in een semi-probabilistische analyse leidt tot een faalkans kleiner dan de faalkanseis
Polderpeil	Het peil van het oppervlaktewater binnen een beheergebied
Potentiaal	De stijghoogte in een aquifer
Pre-Overburden Pressure	De mate waarin de grond voorbelast is geweest, uitgedrukt in de grensspanning $\sigma_{v,v}$ minus de effectieve verticale spanning σ_v
Probabilistische analyse	Is een analyse waarbij expliciet rekening wordt gehouden met risico's en/of onzekerheden. In deze analyse wordt aan elke mogelijke waarde van een onzekere grootheid een kans van voorkomen of kansdichtheid toegekend. Dit wordt ook wel faalkansanalyse genoemd. In deze analyses is gebruikt gemaakt van FORM (First Order Reliability Method. Andere methode zijn: Numerieke integratie en Monte Carlo-analyse. (ook wel faalkansanalyse genoemd)
Rekenwaarde	Is een unieke waarde uit de veelheid van mogelijke waarden van een onzekere grootheid. Rekenwaarden zijn representatieve waarden (bv. 5%-ondergrenswaarden). Deze representatieve waarden worden mogelijk gedeeld of vermenigvuldigd met een partiële veiligheidsfactor
Schadefactor (γ_n)	De minimaal benodigde stabiliteitsfactor in een semi-probabilistische glijvlakberekening die op conservatieve wijze correspondeert met de maximaal toelaatbare faalkans. De relatie tussen schadefactor en faalkans wordt bepaald door kalibratie op resultaten van semi-probabilistische en probabilistische berekeningen, voor meerdere representatieve gevallen
Schematiseringsfactor	Een partiële factor die op basis van een scenarioanalyse afdekt dat binnen het geschematiseerde dijkvak nog een meer ongunstige situatie kan voorkomen voor de deterministisch aangenomen geometrie, laagliggingen, stijghoogteverlopen en dergelijke.
Semi-probabilistische analyse	In deze analyses wordt het faalmechanisme niet gevoed met kansverdelingen maar met rekenwaarden (ook wel deterministische analyse genoemd)
Stabiliteitsfactor	De factor waarin het verschil tussen sterkte en belasting wordt uitgedrukt voor het mechanisme macrostabiliteit binnenwaarts
Stijghoogte	Het niveau tot waar het water zou stijgen in een peilbuis met filter ter plaatse van het punt
Stochastische variabele	Een onzekere grootheid die wordt gekarakteriseerd door een kansverdelingsfunctie
Toetspeil	Te hanteren buitenwaterstand voor Toetsing (VTV). Is sinds 2017 (WBI2017) Waterstand bij de Norm (WBN)
Variatiecoëfficiënt (VC)	De relatieve waarde van de standaardafwijking ten opzichte van de verwachtingswaarde
Verhang	De verhouding tussen het verschil in stijghoogte tussen twee punten en de afstand tussen die punten; wordt ook gradiënt genoemd
Verval	Het verschil in stijghoogte tussen twee punten, bijvoorbeeld de twee zijden van een waterkering
Verwachtingswaarde	Het gewogen gemiddelde van een stochast
Voorland	Het gebied aansluitend aan de buitenzijde van de waterkering.

Afk./Symb.	Eenheid	Omschrijving
------------	---------	--------------

a	[-]	Fractie van de lengte van het traject dat gevoelig is voor het betreffende mechanisme [-]
AS	[-]	Actuele Sterkte
b	[m]	Lengte van het onafhankelijke, equivalente vakken voor het betreffende faalmechanisme
ω	[-]	Faalkansruimtefactor voor het betreffende mechanisme
L_{traject}	[m]	Lengte van het dijktraject waarop de norm van toepassing is (voor KIJK: 19.200 m)
N	[-]	Lengte-effectfactor
β	[-]	Betrouwbaarheidsindex (op jaar basis)
$\beta_{\text{eis,dsn}}$	[-]	Vereiste betrouwbaarheidsindex voor een doorsnede
$\beta_{\text{eis,STBI,q}}$	[-]	Vereiste betrouwbaarheidsindex voor een doorsnede bij significante golfoverslag
P_{max}	[per jaar]	Maximale faalkans op trajectniveau
$P_{\text{eis,dsn}}$	[per jaar]	Maximale faalkans op doorsnedeniveau
P_{flinst}	[per jaar]	Kans op falen gegeven een instabiliteit
μ	[-]	Gemiddelde waarde
σ	[-]	Standaardafwijking
$\sigma_{\text{vo}} = \sigma_{\text{vi}}$	[kN/m ²]	In situ verticale totaalspanning (initieel)
$\sigma'_{\text{vo}} = \sigma'_{\text{vi}}$	[kN/m ²]	In situ verticale totaalspanning
σ'_{vw}	[kN/m ²]	Grensspanning
VC	[-]	Variatiecoëfficiënt (σ / μ)
γ_{unsat}	[kN/m ³]	Volumieke gewicht van de grondsoort – niet verzadigd = natuurlijk
γ_{sat}	[kN/m ³]	Verzadigd volumieke gewicht van de grondsoort
γ_n	[-]	Partiële factor die verband houdt met de normhoogte, het al dan niet falen door hoogwater en het lengte-effect (schadefactor)
γ_d	[-]	Modelfactor afhankelijk van toegepast rekenmodel (LiftVan, Spencer en/of Bishop)
q	[l/s/m]	Golfoverslag debiet
c'	[kPa]	Effectieve cohesie
ϕ'	[°]	Effectieve hoek van inwendige wrijving
m	[-]	Sterktetoename-exponent
S	[-]	Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio
s_u	[kN/m ²]	Ongedraineerde schuifsterkte
POP	[kPa]	Pre-Overburden Pressure
POV-M	[-]	Project Overstijgende Verkenning Macrostablieit
STBI	[-]	Macrostablieit binnenwaarts
h_{ill_1}	[m tov NAP]	Waterstand in het illustratiepunt (ontwerppunt) bij 1 l/s/m
h	[m tov NAP]	Buitenwaterstand aan de dijk
h_p	[m tov NAP]	Polder water niveau
IL	[m]	Verticale indringingslengte,
PL	[-]	Phreatic level = freatische lijn = grondwaterstand
PL1	[m tov NAP]	stationaire freatische lijn niveau
PL2	[m tov NAP]	stijghoogte aan de bovenkant van de indringingslaag op de onderste aquifer (watervoerende zandlaag). De PL2 is niet afhankelijk van de stijghoogte in de onderliggende aquifer en is constant over de gehele

		geometrie. De gebruiker vult de stijghoogte PL2 buitenwaarts en binnenwaarts in, evenals de dikte van de indringingslaag (in m). Voor PL2 wordt het minimum genomen van de opgegeven PL2 en de opgegeven Gemiddelde waterstand.
PL3	[m tov NAP]	Stijghoogte in de onderste aquifer, oftewel onderste watervoerende zandlaag. De waarde wordt gelijk geacht aan de buitenwaterstand. Het verloop van PL3 waarde is afhankelijk van de opgegeven leklengte en eventuele opdrijfcorrectie.
HBN	[m tov NAP]	Hydraulisch Belasting Niveau (ook wel minimaal benodigde kruinhoogte)
MHW		Maatgevend Hoog Water (tegenwoordig WBN genoemd)
WBN	[m tov NAP]	Waterstand Bij Norm (voorheen in oude norm: MHW – Maatgevend Hoog Water)
GHW	[m tov NAP]	Gemiddeld hoog water (buitenwaterstand)
WS	[-]	Waterschap