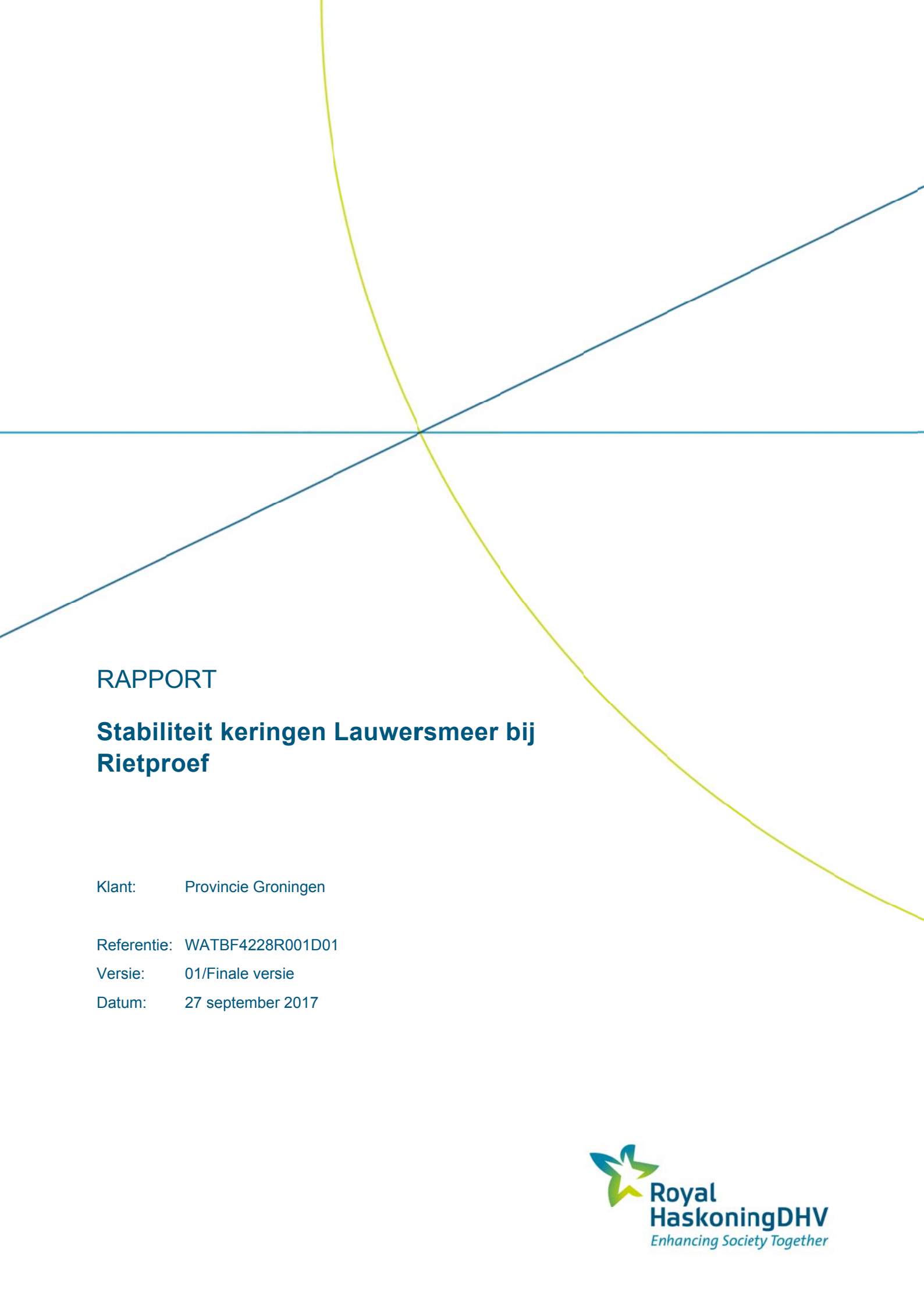




RAPPORT

Stabiliteit keringen Lauwersmeer bij Rietproef

Klant: Provincie Groningen

Referentie: WATBF4228R001D01

Versie: 01/Finale versie

Datum: 27 september 2017

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Netherlands
Water

Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Stabiliteit keringen Lauwersmeer bij Rietproef

Ondertitel:
Referentie: WATBF4228R001D01
Versie: 01/Finale versie
Datum: 27 september 2017
Projectnaam: Rietproef STBI
Projectnummer: BF4228
Auteur(s): Andries van Houwelingen, Willem Frederik Louwersheimer, Sytske Stuij

Opgesteld door: Sytske Stuij

Gecontroleerd door: Willem Frederik Louwersheimer

Datum/Initialen: 27-09-2017 / WFL

Goedgekeurd door: Martijn van Houten

Datum/Initialen: 27-09-2017 /MvH

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Uitgangspunten	2
2.1	Toetsing 2015	2
2.2	Norm en vergelijkingswaarde	3
2.3	Partiële factoren	4
2.4	Grondeigenschappen	5
2.5	Dwarsprofielen	6
2.6	Modellering freatische lijn	6
2.7	Verkeersbelasting	8
2.8	Nieuwe versie software D-Geostability	8
3	Berekeningsresultaten binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)	9
3.1	Locatiespecifiek	10
3.2	Kanttekeningen bij de oorspronkelijke DAM berekeningen	17
3.3	Kanttekeningen bij de modellering van de freatische lijn	17
4	Conclusie	18

1 Inleiding

De provincie Groningen wil de Rietproef uitvoeren, waarbij het dagelijks peil in het Lauwersmeer gedurende 6-8 weken wordt verhoogd van NAP-0,93 m naar NAP-0,52 m. Ten behoeve van de uitvoering van de Rietproef wordt een monitoringsplan opgesteld waarin wordt aangegeven hoe monitoring van grondwaterstandsveranderingen in de omgeving plaatsvindt, waarbij tevens opgenomen wordt op welke moment er sprake is van kritische waarden. Een van de onderdelen betreft de monitoring van de grondwaterstanden in de keringen rondom Lauwersmeer.

De stijging van het peil van het Lauwersmeer leidt ook tot veranderingen van de grondwaterstand in de keringen. Dit heeft mogelijk invloed op de stabiliteit van de keringen. Wat het effect is op de stabiliteit van deze keringen bij een tijdelijk verhoogde boezemwaterstand, zoals bij de inzet van de Rietproef, is in deze rapportage vastgesteld.

2 Uitgangspunten

2.1 Toetsing 2015

De uitgangspunten en resultaten uit de toetsing van de regionale keringen uit 2015 door het waterschap Noorderzijlvest (NZV) zijn overgenomen bij de beoordeling van de Rietproef. Uit de toetsing uit 2015 volgde dat een aantal profielen niet voldoen aan de stabiliteit bij een peil van NAP +0,4 m (maatgevende hoogwaterstand). Dit onderzoek richt zich op deze profielen. Van de profielen waar de stabiliteit voldoende is bij een peil van NAP +0,4 m, geldt dat de stabiliteit ook voldoende is bij een peil van NAP - 0,52 m.

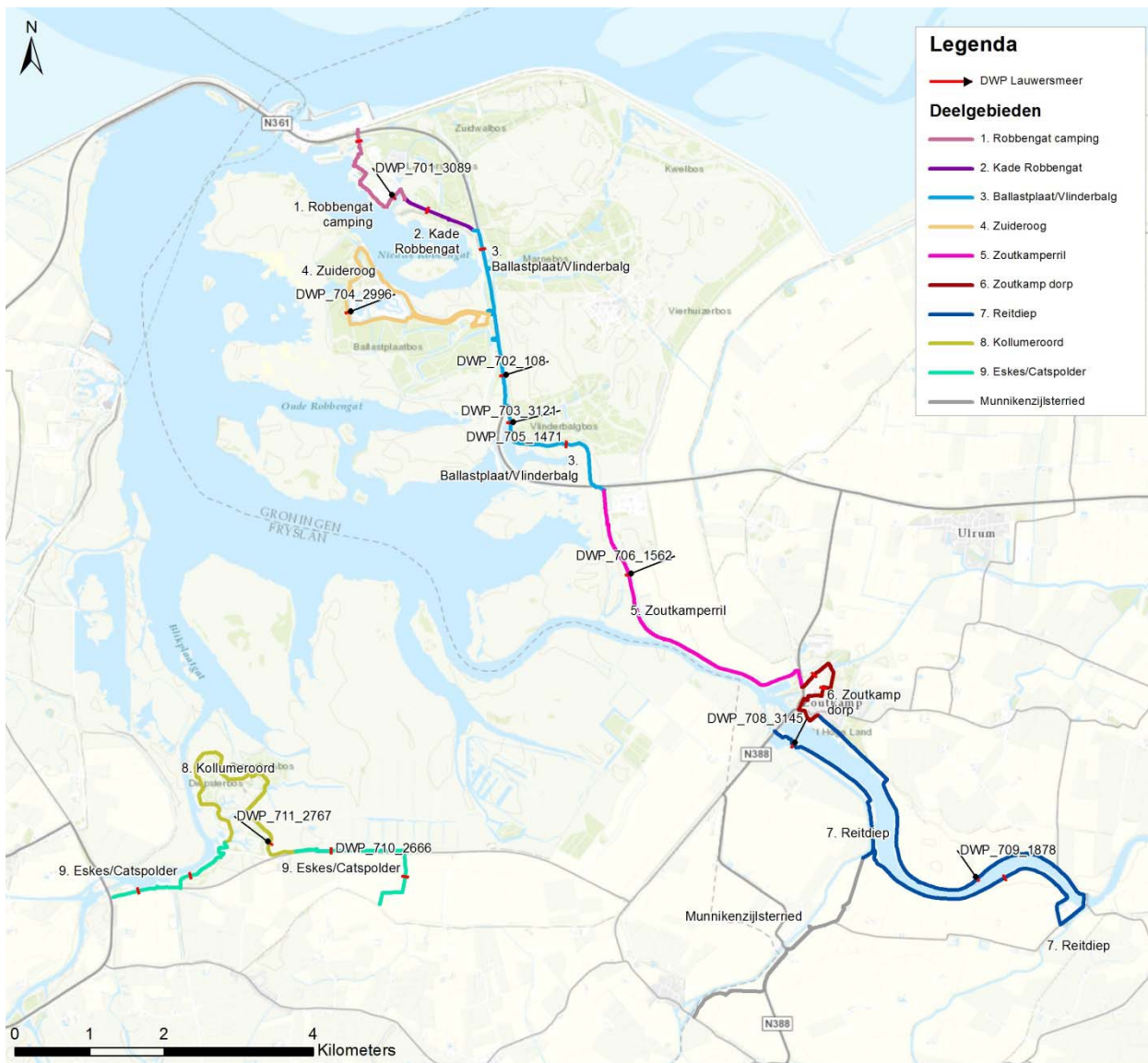
Resultaten stabiliteitstoetsing 2015

Van de 21 dijkvakken rond het Lauwersmeer zijn er 10 stabiliteitsberekeningen beschikbaar. Van deze 10 stabiliteitsberekeningen, voldoen 5 profielen niet op stabiliteit bij het maatgevende toetspeil (NAP +0,4m). De overige 11 dijkvakken voldoen met een eenvoudige toetsing aan de stabiliteit op basis van de combinatie geometrie (flauw binnentalud) en bodem.

Een overzicht van de profielen is weergegeven in Tabel 1, waarbij de 5 dikgedrukte profielen in de toetsing van 2015 niet voldoen aan de stabiliteit. Het gaat hierbij om representatieve profielen voor ieder van de dijkvakken. In Figuur 1 zijn de dijkvakken rond het Lauwersmeer weergegeven.

Tabel 1: Overzicht toetsing 21 dijkvakken met berekeningsprofielen (rood voldoet in toetsing 2015 niet op stabiliteit STBI)

Dijkvak	Profiel met stabiliteitsberekening	Dijkvak	Profiel met stabiliteitsberekening
Kade Robbengat Noordzijde_4		Linker Reitdiepdijk_1	DWP_708_3145
Kade Robbengat Noordzijde_3	DWP_701_3089	Kade Munnekezijlsterried Oostzijde_2	
Kade Robbengat Noordzijde_2		Rechter Reitdiepdijk_1	DWP_709_1878
Kade Robbengat Noordzijde_1		Linker Reitdiepdijk_2	
Zuideroog_1	DWP_704_2996	Kade Munnekezijlsterried Oostzijde_1	
Kade Ballastplaat_1	DWP_702_108	Kade Dokkumerdiep Oostzijde_2	
Kade Vlinderbalg Noordzijde_2	DWP_703_3121	Kade Dokkumerdiep Oostzijde_1	DWP_710_2666
Kade Vlinderbalg Noordzijde_1	DWP_705_1471	Kade Dokkumerdiep Oostzijde (Kollumerwaard)_1	DWP_711_2767
Kade Zoutkamperril Noordzijde_1	DWP_706_1562	Kade Eskespolder_2	
Kade H.D. Louwes_2		Kade Eskespolder_1	
Kade H.D. Louwes_1			



Figuur 1: Overzicht profielen met stabiliteitsberekening

2.2 Norm en vergelijkingswaarde

De veiligheidsnorm van de keringen rondom het Lauwersmeer is in 2005 door Provinciale Staten van de Provincie Groningen vastgesteld. De norm van de keringen waarmee de keringen in de toetsing worden vergeleken is de norm van 1/300 per jaar horende bij een IPO-klasse IV. Dit komt tot uiting in de schadefactor. Bij een norm van 1/300 per jaar hoort een schadefactor van 0,95. Wanneer de keringen een lagere stabiliteitsfactor hebben dan de norm stabiliteitsnorm, dan worden de keringen afgekeurd. Deze norm is gebaseerd op een analyse van de gevolgen van inundatie op de economische waarde in het achterland van de keringen. De buitenwaterstand (MBP NAP+0,4m) zorgt na doorbraak van de keringen voor een bepaald niveau van inundatie in het achterland. Afhankelijk van de gevolgen voor de economische waarde is de kering genormeerd.

Voor de situatie bij inzet Rietproef is er sprake van een tijdelijk verhoogde boezemwaterstand. Er is geen specifieke norm op basis van verlies van economische waarde voor het achterland gemaakt. De gevolgen door inundatie na doorbraak zijn veel geringer, omdat de buitenwaterstand minder hoog staat. Om toch een beeld van de stabiliteit van de keringen te krijgen wordt er gebruik gemaakt van een vergelijkingswaarde met de norm.

2.3 Partiële factoren

Het addendum bij LTR biedt de keuze tussen twee sets met partiële factoren, zoals weergegeven in onderstaand kader. De partiële factoren zijn belangrijk uitgangspunten voor de geotechnische berekeningen. De partiële factoren bepalen namelijk samen met de grondparameters en het profiel van de kering de uiteindelijke stabiliteitsfactor van de kering.

De LTR [STOWA, 2007] geeft aan voor de berekening van rekenwaarden van de schuifsterkteparameters uit te gaan van de materiaalfactoren zoals beschreven in het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [TRWG 2001].

Dit Addendum biedt aanvullend de mogelijkheid om uit te gaan van de materiaalfactoren die specifiek voor boezemkaden zijn afgeleid (beschreven in de Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Boezemkaden [STOWA, 2009]). Toepassing van deze materiaalfactoren is uitsluitend toegestaan in combinatie met het hanteren van een schematiseringsfactor. Voor deze schematiseringsfactor geldt een waarde van 1,2. Deze waarde kan worden verlaagd tot max. 1,0, op basis van een gedetailleerde uitwerking gelijk de benadering zoals die voor primaire waterkeringen geldt.

Ervan uitgaande dat 'deze' verwijst naar de materiaalfactoren volgens het addendum en 'aanvullend de mogelijkheid' geen verplichting betekent, zijn er twee keuzes:

- 1 Materiaalfactoren uit TRWG en geen schematiseringsfactor
- 2 Materiaalfactoren uit Addendum Boezemkades en schematiseringsfactor is 1,2

Om de volgende redenen is in deze analyse gekozen om geen schematiseringsfactor toe te passen en TRWG-materiaalfactoren te gebruiken (aanpak 1) zoals dat ook voor de toetsing in 2015 is gedaan:

- I. Conform eerdere studies
- II. Een schematiseringsfactor is nodig als een gemiddelde situatie wordt gemodelleerd. Vervolgens wordt de invloed van mogelijke negatieve scenario's beoordeeld. Dit zijn ondergrondscenario's en waterspanningsscenario's.
 - a. Door het gebruik van stochastisch ondergrond schematisering (SOS) worden de mogelijke scenario's (ook negatieve) echter al in rekening gebracht
 - b. Denkbare waterspanningsscenario's hebben vanwege het beperkte verval over de keringen in dit gebied een beperkte invloed.

Bovenstaande aanpak resulteert in de volgende partiële factoren:

Materiaalfactoren:	$\gamma_{m,\varphi,zand}$	=	1,10
	$\gamma_{m,\varphi,klei}$	=	1,20
	$\gamma_{m,\varphi,veen}$	=	1,25
	$\gamma_{m,c}$	=	1,25
Schadefactoren:	$\gamma_{n,1/300jr}$	=	0,95
Modelfactor:	$\gamma_{d,Bishop}$	=	1,00

2.4 Grondeigenschappen

De grondeigenschappen in de kering bestaan in de stabiliteitsberekening uit de bodemopbouw en de grondparameters. De bodemopbouw geeft de opbouw van grondlagen in de ondergrond weer. De grondparameters geven de sterkte van de grond weer.

Bodemopbouw

Rond het Lauwersmeer zijn 45 handboringen uitgevoerd ter plaatse van de regionale keringen. De maximaal verkende diepte van de handboringen is MV -5 m. Onder de maximaal verkende diepte is de bodemopbouw geschematiseerd aan de hand van Regis.

De gegevens uit dit lokale grondonderzoek worden gebruikt om de bodemopbouw te schematiseren. Met ieder van de handboringen is een ondergrondscenario gemaakt.

Vervolgens zijn aan de handboringen kansen gekoppeld. Vooralsnog is er vanuit gegaan dat alle boringen even representatief zijn/even vaak voorkomen zijn. Als er 4 boringen in een dijkvak beschikbaar zijn, is de geschatte kans van voorkomen van het betreffende profiel 25%. In geval van 5 boringen is dit 20% etc.

Tijdens het booronderzoek zijn naast het hoofdbestanddeel ook de bijmengingen en de consistentie vastgelegd, zoals:

- Ks2h2_KSTV = Klei, matig siltig, matig humeus, vast
- Kz3h2_KMST = Klei, sterk zandig, matig humeus, matig vast
- Etc.

Dit resulteert in veel verschillende grondlagen. Omwille van de modellering en aansluiting op andere studies zijn lagen met vergelijkbare hoofdlithologie samengevoegd.

Grondparameters

De grondparameters geven de geotechnische eigenschappen van de grond weer, zoals sterkte of volumegewicht. Deze eigenschappen kunnen onder meer bepaald worden in het laboratorium al dan niet gecombineerd met het gebruik van een (lokale) proevenverzameling. Het ene type klei is anders dan het andere type. Afhankelijk van de (gedeelte) ontstaansgeschiedenis van een gebied (en bodemopbouw) kan de proevenverzameling van nabij gelegen grondonderzoek hiervoor gebruikt worden. De aangehouden grondparameters zijn overgenomen uit de proevenverzameling van de Dijkversterking Eemshaven Delfzijl (Deltares, 1220173-006-GEO-003-jvm, januari 2016) en aangevuld met de waarde uit tabel 2b van EC7. In de onderstaande tabel zijn de representatieve waarden van de grondparameters van de verschillende lagen weergegeven.

Grondsoort	Code	γ [kN/m ³]	c'_{rep} [kPa]	ϕ'_{rep} [°]
Dijkmateriaal (klei)	Ha-dijk-kleiig	17,0/17,0	2,5	20,0
Zand	Tcsf	17,0/19,0	0,0	30,0
Klei (organisch)	Tfco	14,8/14,8	1,4	21,3
Rivierzand ($q_c > 15$ MPa)	Pfc	18,0/20,0	0,0	32,5
Klei (anorganisch)	Tfcc	17,1/17,1	1,1	24,2
Veen	Shpp	10,6/10,6	11,0	13,5
Leem vast	Lzg_LSTV	21,0/21,0	2,5	27,5
Leem matig vast	Lzg_LMST	20,0/20,0	1,0	27,5
Leem slap	Lzg_LSLA	19,0/19,0	0,0	27,5

2.5 Dwarsprofielen

De dwarsprofielen uit de toetsing van 2015 zijn gegenereerd uit de hoogtedata van AHN2 door om de 50 meter een profiel haaks op de waterkering te trekken. Vervolgens is per dijkvak een representatief profiel opgesteld. Deze representatieve profielen zijn in het kader van de toetsing berekend met DAM. De profielen die voldoen bij MBP zijn niet getoetst in het kader van de Rietproef. Als de keringen voldoen bij een MBP van NAP +0.4 m, dan voldoen de keringen immers ook bij een verhoogd dagelijks peil van NAP -0.52 m.

Op vijf plaatsen voldoet de huidige kering (voor een deel van de ondergrondscenario's) in de toetsing niet aan de stabiliteitsnorm bij een MBP van NAP +0.4 m. Het betreft de volgende profielen:

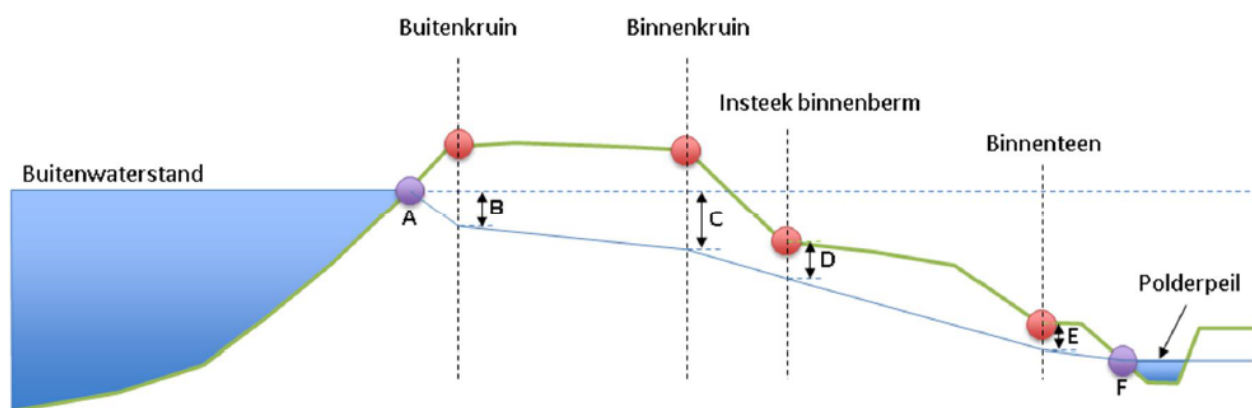
- DWP_704_2996 (Zuideroog)
- DWP_706_1562 (Zoutkamperril)
- DWP_708_3145 (Reitdiep-Westzijde)
- DWP_709_1878 (Reitdiep-Oostzijde)
- DWP_711_2767 (Kade Dokkumerdiep Oostzijde (Kollumerwaard));

In de analyses van de Rietproef is uitgegaan van het maatgevende ondergrondscenario waarbij in de toetsing de laagste stabiliteitsfactor is berekend:

- DWP_704_2996 (Zuideroog); ondergrondscenario 704_1 met $SF_{MBP} = 0.88$
- DWP_706_1562 (Zoutkamperril); ondergrondscenario 706_4 met $SF_{MBP} = 0.75$
- DWP_708_3145 (Reitdiep-Westzijde); ondergrondscenario 708_2 met $SF_{MBP} = 0.70$
- DWP_709_1878 (Reitdiep-Oostzijde); ondergrondscenario 709_9 met $SF_{MBP} = 0.62$
- DWP_711_2767 (Kade Dokkumerdiep Oost (Kollumerwaard)); ondergrondscenario 711_11 met $SF_{MBP} = 0.77$

2.6 Modellerings freatische lijn

De grondwaterstand in de kering (het freatisch vlak) is gemodelleerd volgens het ExpertKnowledgeRRD model in DAM. In deze methode wordt het freatisch vlak gedefinieerd in maximaal 6 punten.



De punten B en C worden gedefinieerd ten opzichte van het boezempeil. De punten D en E zijn gerefereerd aan het maaiveldniveau. Indien de punten C en D hoger liggen dan het voorgaande punt (respectievelijk B en C) wordt dit overigens automatisch gecorrigeerd / verlaagd in DAM. Dit zou namelijk betekenen dat de binnenberm hoger ligt dan de kruin. Daarnaast controleert DAM of de punten D en E niet lager liggen dan het polderpeil. Als er geen berm aanwezig is in het profiel, dan wordt punt D

overgeslagen. De hoogte van punt F, ter plaatse van de teensloot, is gelijk aan het polderpeil. In het geval dat er geen sloot aanwezig is, ligt de freatische lijn automatisch 1 cm onder maaiveld.

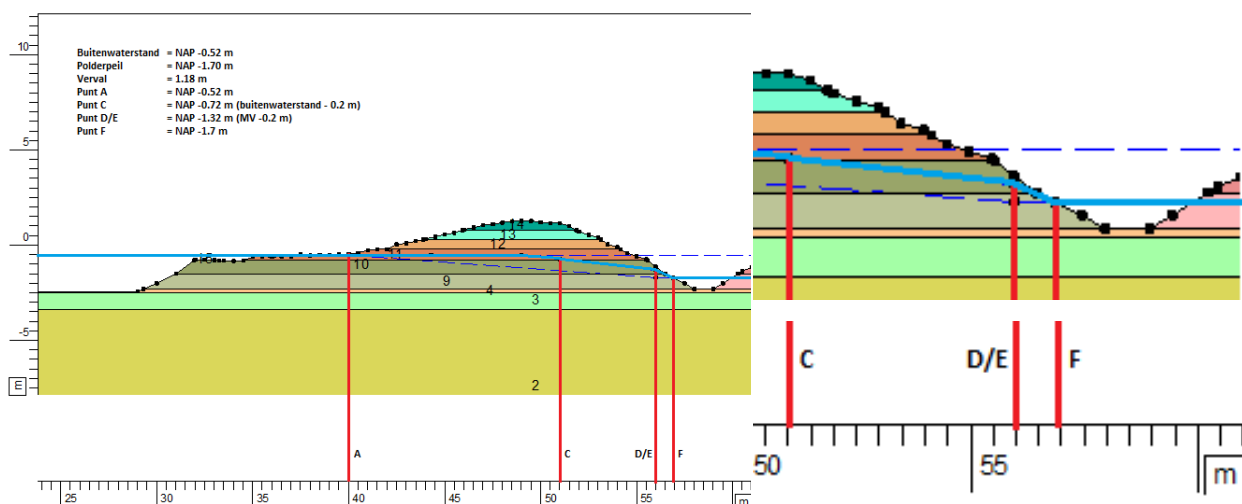
In het projectgebied hebben de keringen veelal een beperkte hoogte en zijn de karakteristieke punten van de kering niet altijd even goed definieerbaar. In de eerder uitgevoerde toetsing zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Punt C. Offset 0,1 m indien het verval over de kering kleiner is dan 1 m en een offset van 0,2 m indien het verval groter is.
- Punt D. Offset 0,1 m indien het verval over de kering kleiner is dan 1 m en een offset van 0,2 m indien het verval groter is.
- Punt E. Hier is het gemiddelde tussen boezempeil en polderpeil gehanteerd. In de profielen waar de slootbodembodem hoger ligt dan het polderpeil is het gemiddelde tussen boezempeil en slootbodembodem gehanteerd. Dit resulteert in een locatie specifieke offset.
- Punt F. Soms ligt de slootbodembodem boven het polderpeil. In de profielen waar de slootbodembodem hoger ligt dan het polderpeil is de freatische lijn gelijk verondersteld aan sloot bodembodem.

Bij de keringen in het projectgebied zijn met name de ligging van punten D en E bepalend voor de binnenwaartse stabiliteit. Punt E ligt veel dichterbij de teensloot (punt F) dan bij het contact met de buitenwaterstand (punt A). Het betreft dus een conservatieve aanname dat het freatische vlak ter plaatse van punt E even hoog ligt als het gemiddelde tussen buitenwaterstand (A) en polderpeil (F). Deze modellering representeert opbolling van de freatische lijn door hevige regenval. Hoe hoger de buitenwaterstand, hoe hoger de opbolling van de freatische lijn (de buitenzijde draineert minder in dat geval).

In geval van het ontbreken van een binnenberm is punt D gelijk aan punt E. Dit is het geval bij een aantal profielen langs het Lauwersmeer. Waar het binnentalud direct overgaat in het sloottalud is de binnenteen gedefinieerd op 1 m afstand (horizontaal in de dijk) van het wateroppervlak in de sloot. Dit is een conservatieve (maar gebruikelijke) benadering voor het modelleren van de opbolling van de freatische lijn. Deze benadering kan alleen worden aangepast op basis van nader onderzoek van de invloed van de freatische lijn op de stabiliteit van het profiel.

Ter illustratie is de modellering van de freatische lijn ter plaatse van DWP_709_1878 hieronder weer-gegeven.



2.7 Verkeersbelasting

In overeenstemming met voorgaande studies is, op locaties waar de kruin toegankelijk is voor verkeer, een verkeerbelasting op de kruin gehanteerd van 13 kPa over een breedte van 2,5 m en geen spreiding in de ondergrond. De aangenomen consolidatiegraad in klei- en veenlagen ten gevolge van deze verkeerbelasting is 0%. Voor de overige keringen zonder weg op de kruin is een belasting op de kruin van 5 kPa toegepast over een breedte van 2,5 m, eveneens met 0% consolidatie.

2.8 Nieuwe versie software D-Geostability

Recent is de Deltares-software D-Geostability geüpdatet van versie 16.1 naar 16.2. De toetsing van 2015 is uitgevoerd met versie 16.1. Ervaringen met berekeningen in andere versterkingsprojecten laten een sterke reductie zien van de stabiliteitsfactor in het Bishop $c\phi$ -model (uitgaande van non-associatief gedrag). Oorzaak hiervan is de aangepaste beschrijving van de schuifsterkte. Voorheen is impliciet uitgegaan van associatief gedrag, terwijl dit in versie 16.2 expliciet gebeurt. Met versie 16.2 worden bij aanname $\psi = \phi'$ (dilatatiehoek = effectieve hoek van inwendige wrijving) dezelfde resultaten verkregen als in versie 16.1. Om trendbreuk te voorkomen is in de berekeningen uitgegaan van $\psi = \phi'$ (zonder omrekening zoals beschreven in het Best Guess Equivalent model uit de ontwerprichtlijn "Ontwerp stabiliteitsschermen (type II) in primaire waterkeringen". Dit is in lijn met de aanpak zoals gehanteerd bij andere projecten met vergelijkbare toepassing van deze leidraad voor HHNK en WSRL.

3 Berekeningsresultaten binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)

De berekeningsresultaten van de berekende profielen zijn in onderstaande tabel dikgedrukt. Uit de tabel is af te leiden dat:

- 2 van de 6 berekeningen is de stabiliteitsfactor bij inzet van de Rietproef (NAP-0,52m) **groter** dan de vergelijkingswaarde;
- 3 van de 6 berekeningen is de stabiliteitsfactor bij inzet van de Rietproef (NAP-0,52m) **kleiner** dan de vergelijkingswaarde, **maar** is er voldoende **restbreedte**;
- 1 van de 6 berekeningen is de stabiliteitsfactor bij inzet van de Rietproef (NAP-0,52m) **kleiner** dan de vergelijkingswaarde, namelijk bij profiel DWP_709_1878.

Profiel ¹	Ondergrond-scenario	SF bij BP = -0.93m	SF bij BP = -0.52m	SF bij BP = +0.4m	STBI bij Rietproef	opmerking STBI bij Rietproef
DWP_701_3089				1.28	VOLD	
DWP_704_2996	704_1	1.07	1.02	0.88	VOLD	Voldoende bij verhogen peil voor rietproef (dagelijkse situatie)
DWP_702_108				1.25	VOLD	
DWP_703_3121				2.46	VOLD	
DWP_705_1471				1.36	VOLD	
DWP_706_1562	706_4	0.93	0.86	0.75	VOLD *	Voldoende restbreedte
DWP_708_3145	708_2	0.91	0.84	0.7	Nadere analyse	Voldoende bij verhogen peil voor rietproef (dagelijkse situatie)
		1.04	1.04	0.9	VOLD ²	
DWP_709_1878	709_9	0.8	0.76	0.62	Nader onderzoek nodig	Stabiliteitsfactor van de kering ligt lager dan de vergelijkingswaarde van 0,95. Er wordt geadviseerd het waterschap te vragen een beheerdersoordeel op te laten stellen en nader onderzoek uit te voeren. Met het nader onderzoek kan de invloed van de freatische lijn op de stabiliteit nader in beeld worden gebracht.
DWP_710_2666				1.21	VOLD	
DWP_711_2767	711_11	1.14	0.88	0.77	VOLD *	Voldoende restbreedte

¹ Dikgedrukte profielen zijn de berekende profielen in de analyse van augustus 2017.

² Bij de kade aan de westzijde van het Reitdiep is in de toetsing uitgegaan van een (laag) waterpeil in de Munnekezijlsterried van NAP -1.6 m; gelijk aan polderpeil. De resultaten bij dit peil zijn cursief weergegeven. Aanvullende berekeningen zijn uitgevoerd waarbij het peil aan de binnenzijde gecorrigeerd is naar NAP -0.52 m; gelijk aan het streefpeil in het Munnekezijlsterried.

3.1 Locatiespecifiek

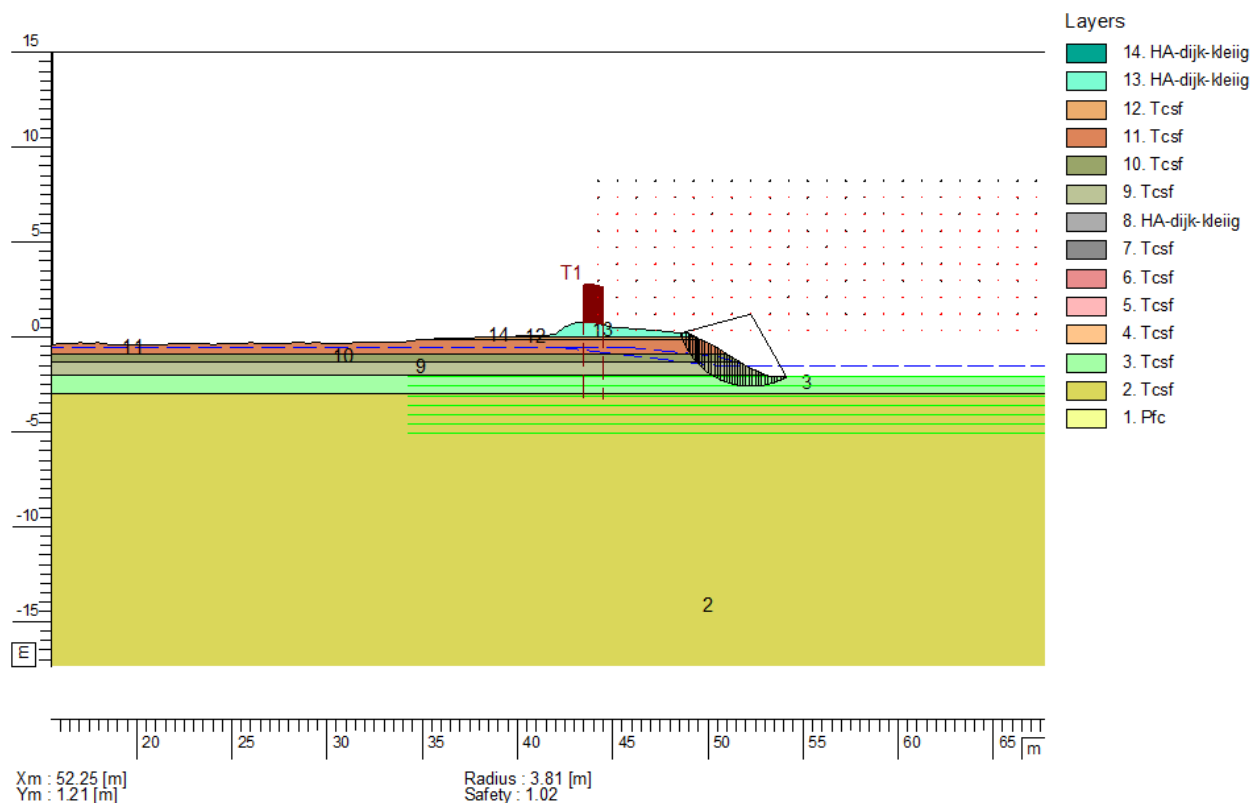
Voor de 5 (dikgedrukte) profielen die in de toetsing van 2015 niet voldoen op stabiliteit bij het maatgevend toetspeil (NAP+0,4m) zijn 6 berekeningen gemaakt. Voor profiel DWP_708_3145 is een extra berekening uitgevoerd voor de optimalisering van de uitgangspunten. De resultaten zijn per berekening hieronder toegelicht.

Dijkvak	Profiel met stabiliteitsberekening
Zuideroog_1	DWP_704_2996
Kade Zoutkamperril Noordzijde_1	DWP_706_1562
Linker Reitdiepdijk_1 (deels)	DWP_708_3145 (2x)
Rechter Reitdiepdijk_1	DWP_709_1878
Kade Dokkumerdiep Oostzijde (Kollumerwaard)_1	DWP_711_2767

DWP_704_2996

Ook na verhogen van het peil in het kader van de Rietproef voldoet de waterkering bij het Zuideroog in de dagelijkse situatie. Daarmee is de stabiliteitsfactor van de kering groter dan de vergelijkingswaarde. Het maatgevende glijvlak bij een waterstand van NAP -0.52 m is weergegeven in onderstaand figuur.

Critical Circle Bishop



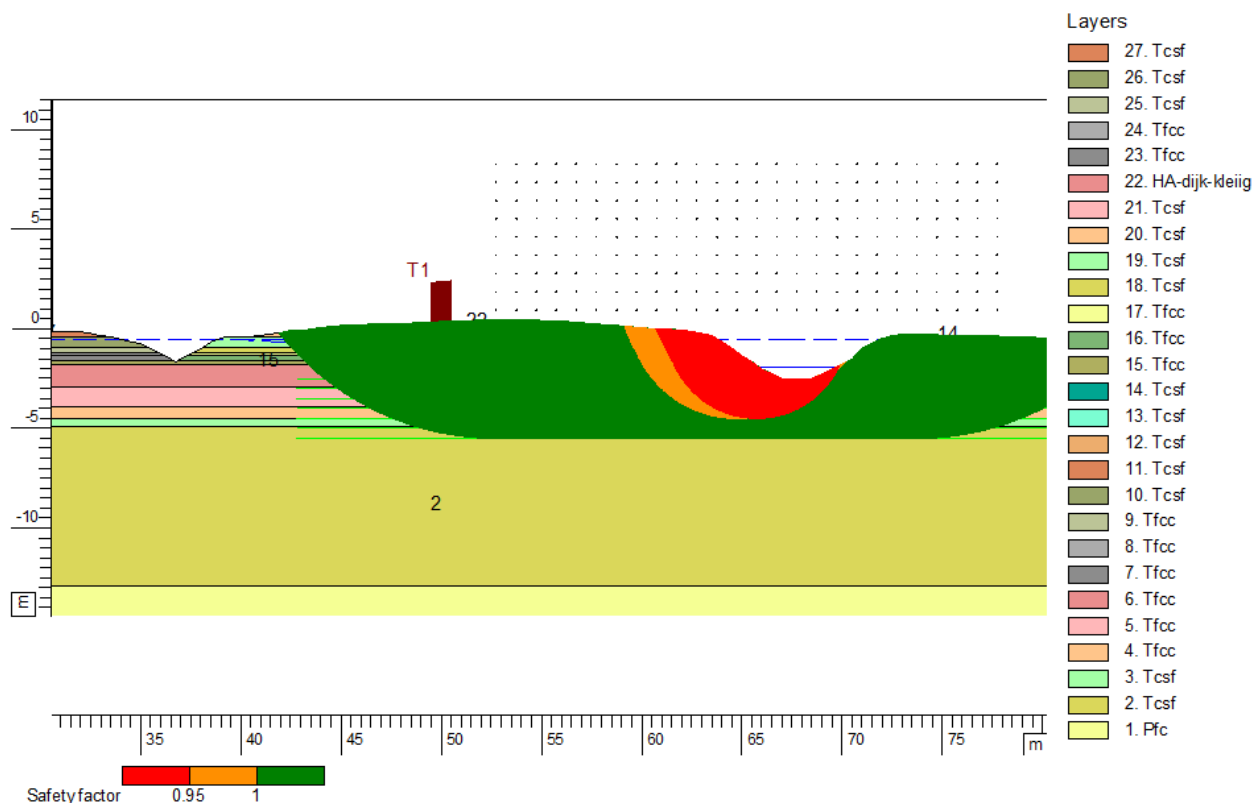
DWP_704_2996 Maatgevend glijvlak ($SF=1.02>0.95$) na verhoging van het dagelijks peil naar NAP -0.52 m in het kader van de Rietproef

DWP_706_1562

Bij tijdelijke verhoging van de boezemwaterstand door de Rietproef is de stabiliteitsfactor lager dan de vergelijkingswaarde. Dit is eveneens van toepassing bij dagelijks boezempeil bij natte omstandigheden. Dit kan erop duiden dat de modellering te conservatief is. Het conservatisme zit in het samenspel van de factoren: de diepte van de watergang, het verloop van de freatische lijn en/of de bodemopbouw en sterkte.

Hoewel de kering aan de binnenzijde rekenkundig instabiel is, vormt dit geen bedreiging voor de waterveiligheid in de dagelijkse situatie in verband met de grote restbreedte. Het volgende figuur laat de ligging van het normglijvlak ($SF_{norm}=0.95$) zien bij een verhoogd dagelijks peil van NAP -0.52 m.

Safety Overview



DWP_706_1562 Normglijvlak ($SF=0.95$) na verhoging van het dagelijks peil naar NAP -0.52 m in het kader van de Rietproef

Ook als de het sloottalud zou bezwijken door verhoging van de dagelijkse buitenwaterstand, dan nog is het restprofiel ruim voldoende om het water te keren en treedt er geen inundatie van het achterland op.

In de situatie van de toetsing uit 2015, onder maatgevende omstandigheden met een buitenwaterstand van NAP +0.4 m dan is de ligging van het normglijvlak vergelijkbaar. Bij een peil van NAP +0.4m is echter de kering te laag om te kunnen voldoen in een restprofielbenadering (zie oorspronkelijke toets) en dus onvoldoende.

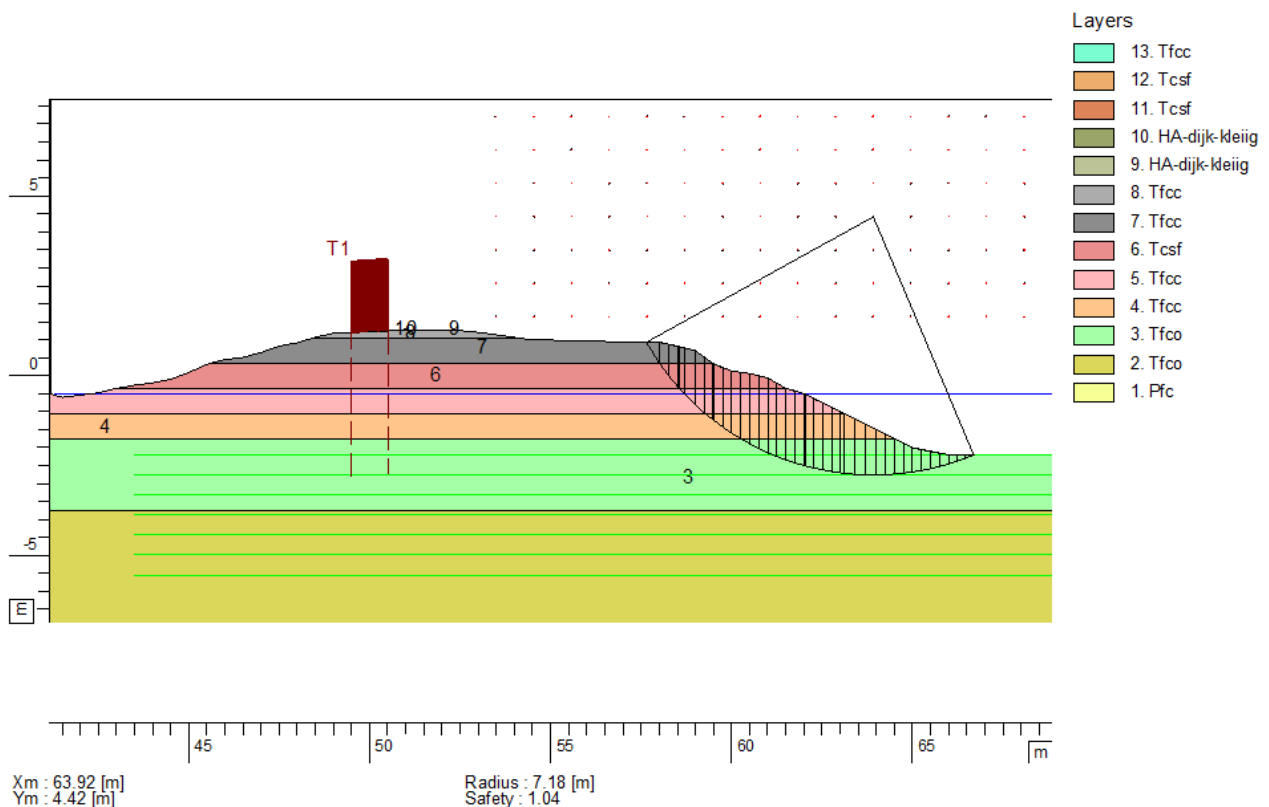
DWP_708_3145

Voor dit profiel zijn er twee berekeningen uitgevoerd. In eerste instantie is alleen de bestaande berekening van de toetsing aangepast met een nieuwe buitenwaterstand (peil Rietproef). Hieruit volgde dat de stabiliteitsfactor kleiner zou zijn dan de vergelijkingswaarde.

Nadere analyse van de gegevens liet zien dat in de toetsing het polderpeil aan de binnenzijde van de kering te laag was ingeschat. Dit dijkvak vormt de scheiding tussen de Lauwersmeerboezem (Reitdiep) en de Friese Boezem (Munnikezijlsterried). Bij deze kade aan de westzijde van het Reitdiep is in de toetsing uitgegaan van een (laag) waterpeil in de Munnekezijlsterried van NAP -1.6 m; gelijk aan polderpeil. Aanvullende berekeningen zijn uitgevoerd waarbij het peil aan de binnenzijde gecorrigeerd is naar NAP -0.52 m; gelijk aan het streefpeil in het Munnekezijlsterried (streefpeil Friese Boezem).

Bij tijdelijke verhoging van de boezemwaterstand door de Rietproef (en gecorrigeerde binnenwaterstand) is de stabiliteitsfactor groter dan de vergelijkingswaarde. De binnenwaartse stabiliteit is meer afhankelijk van de steundruk van het water in het Munnekezijlsterried, dan van het peil in het Reitdiep. Het maatgevende glijvlak bij een binnenwaterstand van NAP -0.52 m (zowel binnen als buiten) is weergegeven in onderstaand figuur.

Critical Circle Bishop

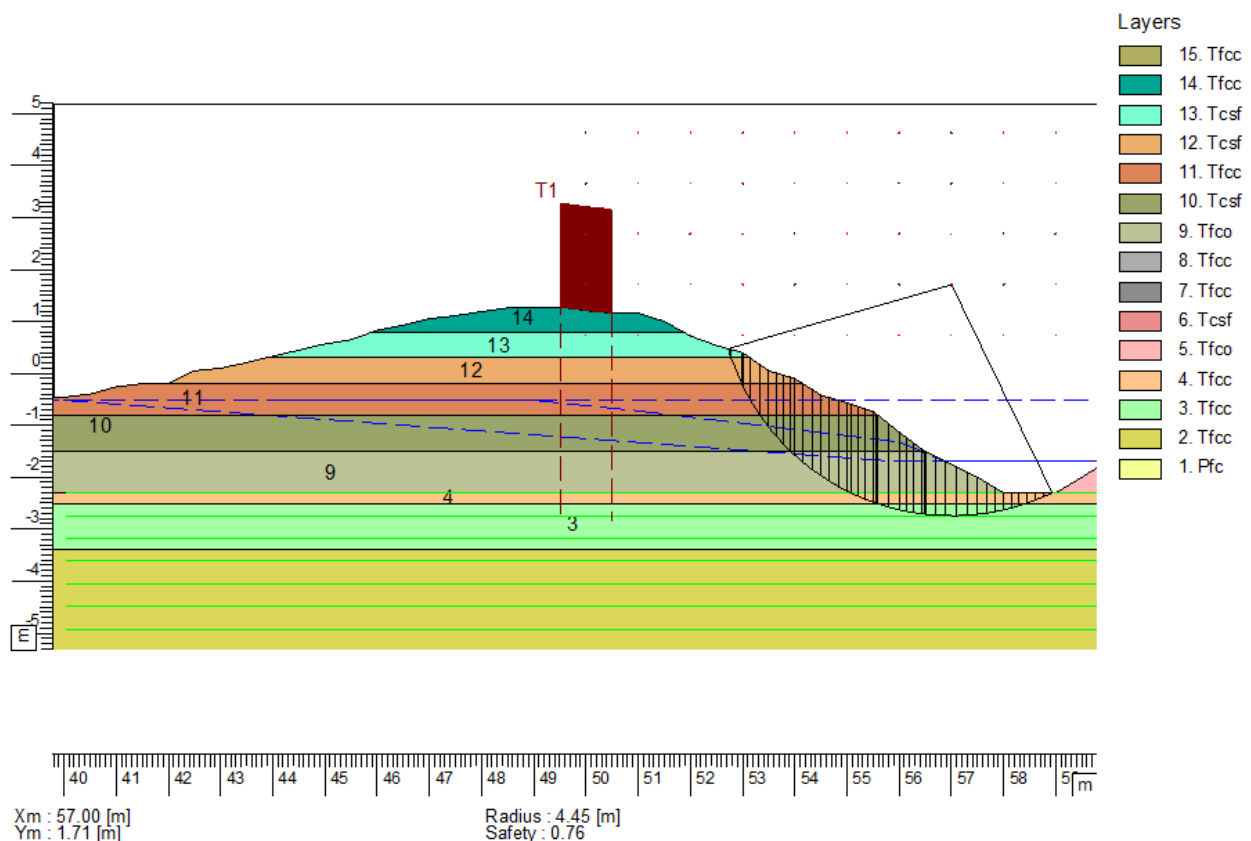


DWP_708_3145 Maatgevend glijvlak ($SF=1.04>0.95$) na verhoging van het dagelijks peil naar NAP -0.52 m in het kader van de Rietproef

DWP_709_1878

Bij tijdelijke verhoging van de boezemwaterstand door de Rietproef is de stabiliteitsfactor kleiner dan de vergelijkingswaarde. Dit is ook het geval bij dagelijks boezempeil, wanneer rekening wordt gehouden met opbolling van de freatische lijn tegen het binnentalud van het profiel. Het huidige steile binnentalud (ca. 1:2) is ook zonder verval over de kering rekenkundig instabiel. Dit duidt erop dat de modellering te conservatief is. Aanpassing van de uitgangspunten voor deze specifieke berekening kan alleen op basis van nader onderzoek van de invloed van verschillende knoppen op de stabiliteit van het profiel. De knoppen waaraan kan worden gedraaid zijn parameters zoals het verloop van de freatische lijn, sterkte grondlagen (eventueel bewezen sterkte), bodemopbouw of diepte van de watergang. Meer onderzoek naar de juistheid van aannames voor deze drie factoren (sloot, grondwater en ondergrond) kan uitsluitend geven over de werkelijke stabiliteit van kering. Het berekende maatgevende glijvlak bij een waterstand van NAP -0,52 m is weergegeven in onderstaand figuur.

Critical Circle Bishop

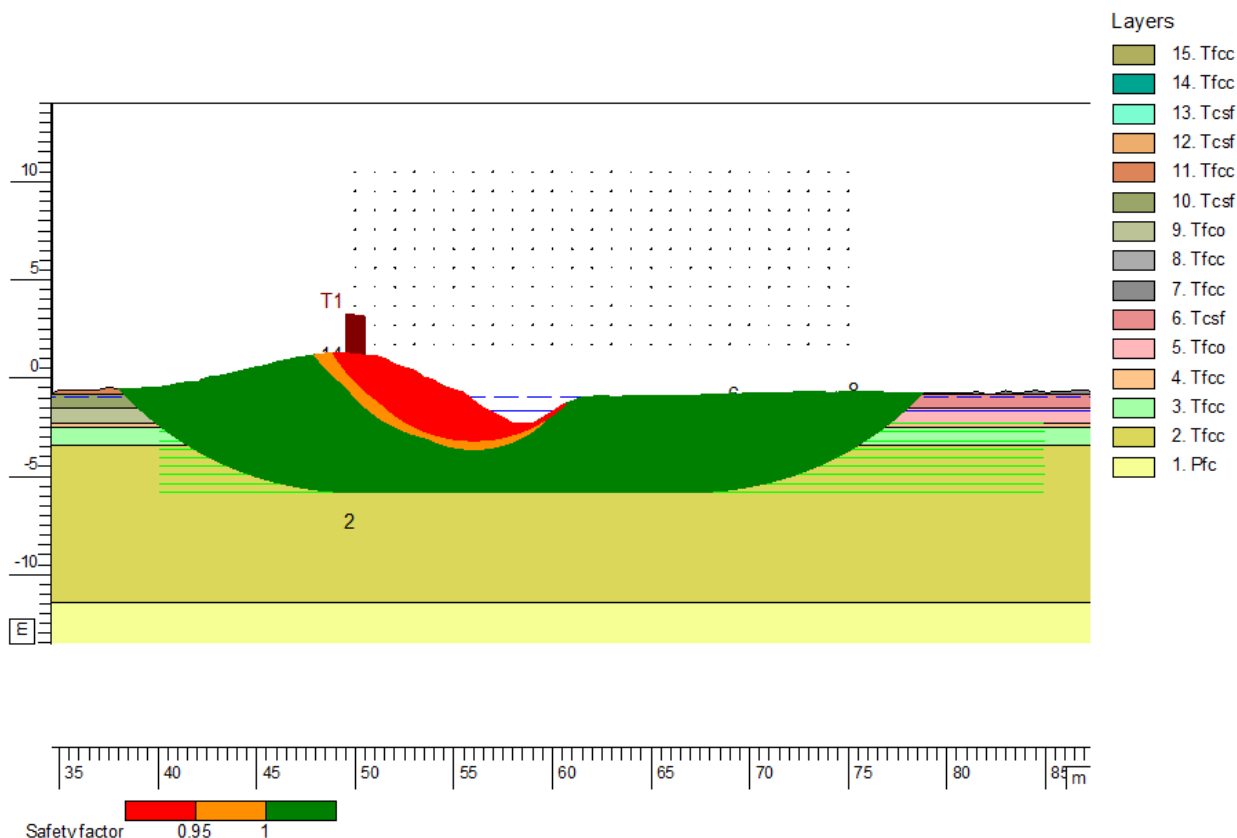


DWP_709_1878 Maatgevend glijvlak ($SF=0.76<0.95$) na verhoging van het dagelijks peil naar NAP -0.52 m in het kader van de Rietproef

Bij de kering langs het Reitdiep ontbreekt de binnenberm (punt D) in het profiel. Het steile binnentalud heeft geen berm en gaat hier direct over in het sloottalud (punt E). De modellering van de freatische lijn volgt hier de gebruikelijke benadering door deze op 1 m afstand (horizontaal in de dijk) van het wateroppervlak in de sloot te leggen. Hierdoor komt de freatische lijn op 0,2 m onder maaiveld (MV-0,2m) te liggen. De opbolling van de freatische lijn drukt hierdoor tegen het binnentalud van het profiel aan. De opbolling is een **geometrische** voorstelling van de freatische lijn onder invloed van grote neerslag. Deze neerslag is niet expliciet gedefinieerd.

Het glijvlak van de vergelijkingswaarde (met $SF=0.95$) loopt, zowel bij dagelijks boezempeil als bij het tijdelijk opzetten van het boezempeil voor de Rietproef, door de kruin. Het binnentalud is dus onvoldoende stabiel, inclusief de kruin van de dijk. Dit leidt niet direct tot inundatie van het achterland, maar de kering is wel gefaald op binnenwaartse instabiliteit. Het volgende figuur laat de ligging van het normglijvlak ($SF_{norm}=0.95$) zien bij huidig dagelijks peil van NAP -0.93 m. Een restbreedtebenadering biedt hier daarom geen uitkomst.

Safety Overview



DWP_709_1878 Normglijvlak ($SF=0.95$) door de kruin in de huidige dagelijkse situatie met peil van NAP -0.93 m

Er vanuit gaande dat de freatische lijn ter plaatse van de kruin evenveel verhoogd wordt als het peil in het Reitdiep, dan neemt de binnenwaartse stabiliteit van de kering met 5% af ten opzichte van de huidige dagelijkse situatie.

Gevoeligheidsanalyse

- De bovenbelasting heeft bij DWP_709 geen invloed op het kritieke glijvlak. Het is daarom niet zinvol om de bovenbelasting te verwijderen;
- De kruin van de kering is niet voldoende breed om met een restbreedtebenadering inundatie van het achterland te voorkomen;

Opties vergroten van stabiliteitsfactor

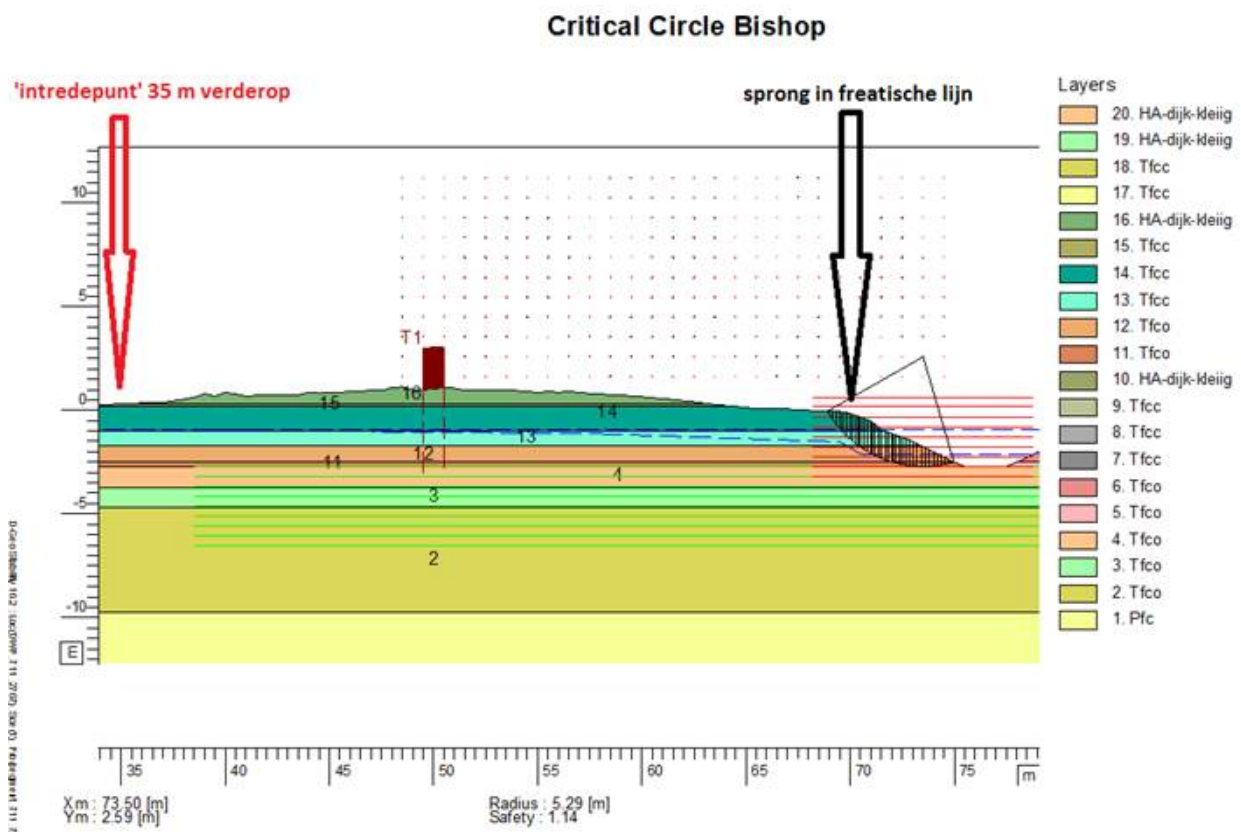
- Minder diepe sloot (verifiëren in het veld; diepte is nu een aanname);
- Sloot op grotere afstand van de teen (fysiek de sloot verleggen);
- Aanpassen verloop freatische lijn door minder opbolling in de dijk (kan alleen met langdurige meting met peilbuizen en dan moet de waterstand ook eerst daadwerkelijk variëren);
- Sterkere ondergrond (aantonen d.m.v. veld- en labonderzoek)

Er wordt **geadviseerd een beheerdersoordeel** op te stellen en een **nader onderzoek** naar de juistheid van aannames voor de drie belangrijkste invloedsfactoren (sloot, grondwater en ondergrond)

Bovenstaande laat zien dat deze kering nadere aandacht van de beheerder verdient. Dit is ook bij de beheerder van het waterschap bekend. Voorafgaand aan het inzetten van bergingscapaciteit van het Lauwersmeer wordt (de stabiliteit van) het binnentalud visueel gecontroleerd. De kering langs het Reitdiep zit in het verbeterprogramma van de keringen rondom het Lauwersmeer en voldoet voor 2020 aan de waterveiligheidsnorm.

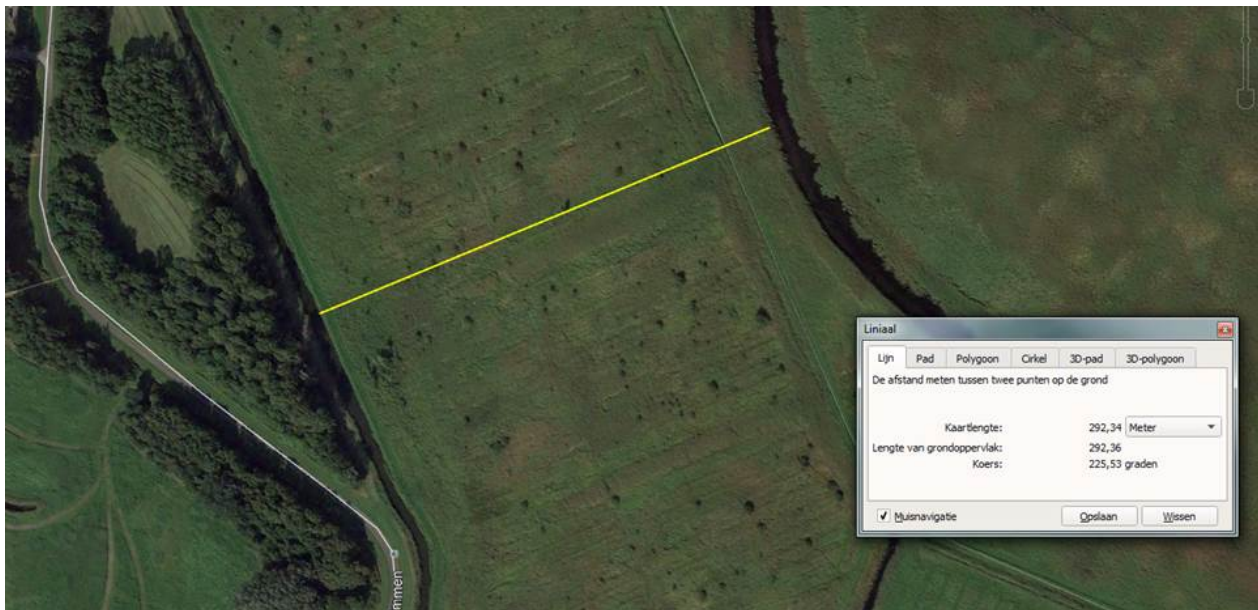
DWP_711_2767

De kering van DWP_711 is 30 m breed. Falen betekent hier het inzakken van het sloot talud. Door de wijze waarop de freatische lijn gedefinieerd is, zou het peil in het Lauwersmeer invloed hebben op de stabiliteit van de slootkant tientallen meters verderop. Dit is geen reëel probleem, meer een gevolg van de geometrische definitie van de freatische lijn. Ook als de slootkant in zakt is er geen waterveiligheidsprobleem en treedt er geen inundatie van het achterland op.

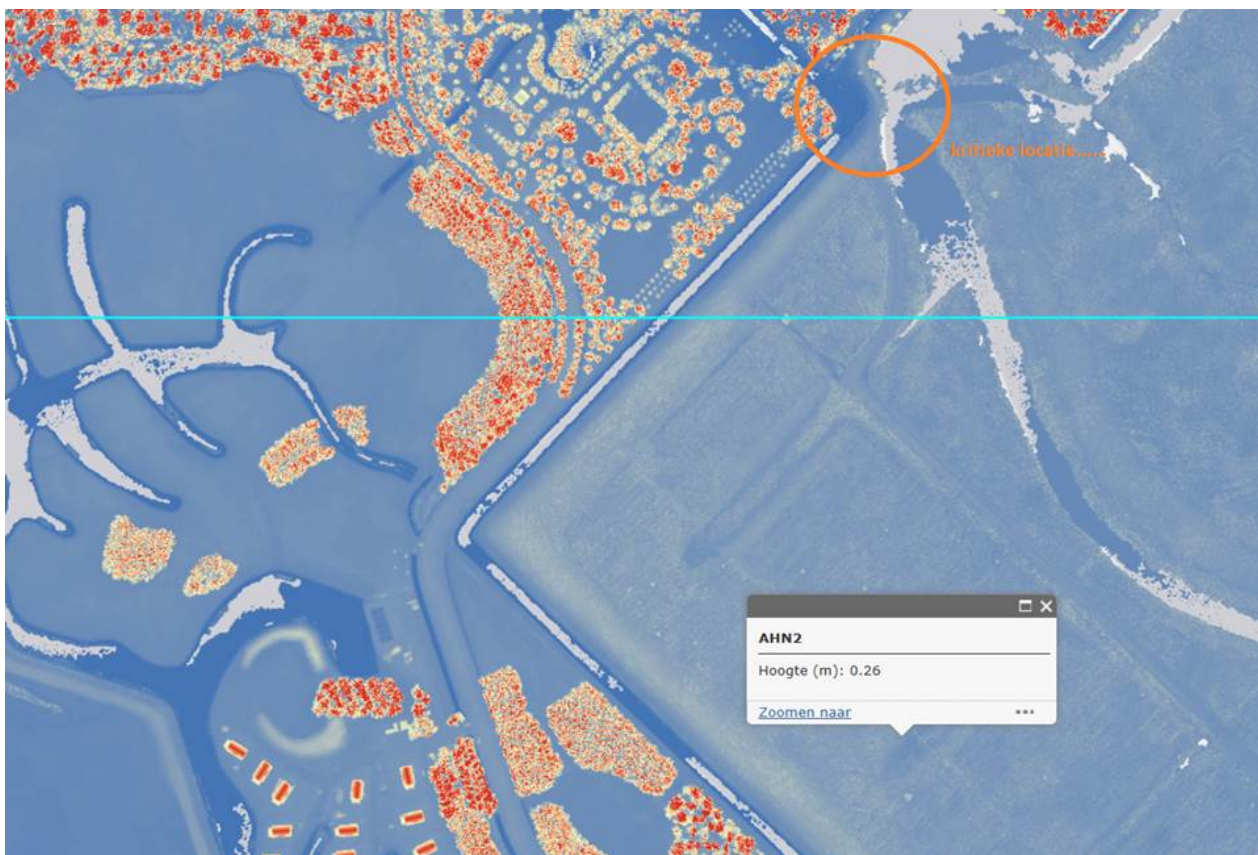


DWP_711_2767 Maatgevend glijvlak ($SF=0.88>0.95$) na verhoging van het dagelijks peil naar NAP -0.52 m in het kader van de Rietproef (afbeelding laat ander, maar vergelijkbaar glijvlak zien)

Een gedetailleerder blik op de hoogte en de lengte van het voorland, geeft ook duidelijk aan dat een verhoging van de waterstand naar NAP -0,52m geen invloed zal hebben op de stabiliteit van het slootalud. In Figuur 2 is te zien dat er voldoende restbreedte is en in Figuur 3 is te zien dat er een lang voorland (NAP+0,26m) aanwezig is dat hoger ligt dan het peil van de Rietproef (NAP -0,52m). Met uitzondering van de hoek in het noorden in de figuur (oranje cirkel).



Figuur 2: Voldoende restbreedte DWP_711_2767



Figuur 3: Voldoende hoogte DWP_711_2767 (AHN2)

3.2 Kanttekeningen bij de oorspronkelijke DAM berekeningen

Opgemerkt wordt dat het bijhorende DAM-model geen onfeilbaar statisch geheel is. Het model bevat vooralsnog een aantal onzekerheden. Zowel de invoer als uitvoer wordt automatisch gegenereerd vanuit een database of een GIS-bestand. Hierdoor kan een grote hoeveelheid berekeningen snel uitgevoerd worden, maar de hoeveelheid te controleren gegevens is ook groot. Belangrijke invoerparameters zijn de karakteristieke punten van de kering (bijvoorbeeld kruinlijn en binnenteen). De definitie van deze punten heeft invloed op de locatie van de verkeersbelasting en de ligging van het freatisch vlak. De karakteristieke punten zijn echter bij deze lage keringen niet altijd duidelijk te definiëren.

3.3 Kanttekeningen bij de modellering van de freatische lijn

De Rietproef is er op gericht de waterstand in het Lauwersmeer tijdelijk te verhogen. Bij verhogen van het dagelijks peil van NAP -0,93 m naar NAP -0,52 m neemt de stabiliteitsfactor af. Dit heeft vooral te maken met de modellering van de freatische lijn nabij de binnenteen (punt E zoals beschreven in paragraaf 2.6). Een verhoging van het boezempeil met 0,4 m leidt modelmatig tot 0.2 m verhoging van de freatische lijn nabij de binnenteen.

Lang voorland en brede kering

Met het oog op het lokaal lange voorland en de brede keringen bij Zuideroog en (delen van) Zoutkamperril is het echter de vraag of dit niet te conservatief is.

Overgang binnentalud direct naar sloottalud

Bij de kering langs het Reitdiep ontbreekt de binnenberm (punt D) in het profiel. Het steile binnentalud heeft geen berm en gaat hier direct over in het sloottalud (punt E). De modellering van de freatische lijn volgt hier de gebruikelijke benadering door deze op 1 m afstand (horizontaal in de dijk) van het wateroppervlak in de sloot te leggen. Hierdoor komt de freatische lijn op 0,2 m onder maaiveld (MV-0,2m) te liggen. Vooral aan de binnenzijde van het talud lijkt deze opbolling erg groot ten opzichte van het waterpeil. Indien betrouwbare gegevens beschikbaar komen van de doorlatendheid van het dijkmateriaal en de ondergrond de gemodelleerde freatische lijn geoptimaliseerd worden. Het verdient de aanbeveling om dit te verifiëren met peilbuismetingen over een langere periode in combinatie met neerslagmeting.

De gehanteerde opbolling is een geometrische voorstelling van de freatische lijn onder invloed van grote neerslag (deze neerslag is niet expliciet gedefinieerd). Een nader onderzoek van de optredende grondwaterstanden (freatische lijn) door middel van meetnet of een grondwatermodel biedt beter inzicht in de daadwerkelijk op te treden waterstanden. Daarnaast zou kunnen worden gekeken naar de stabiliteit bij het variëren van de freatische lijn.

Het is van belang te bedenken dat er drie factoren een samenspel vormen. Meer onderzoek naar de juistheid van aannames voor deze drie factoren (sloot, grondwater en ondergrond) kan uitsluitel geven over de werkelijke stabiliteit van kering.

4 Conclusie

De stijging van het peil van NAP -0,93 m naar NAP -0,52 m, van het Lauwersmeer leidt tot veranderingen van de grondwaterstand in de keringen. Dit heeft mogelijk invloed op de stabiliteit van de keringen. Het onderzoek is gericht op de 5 profielen die bij de toetsing uit 2015 niet voldoen aan de stabiliteit bij een peil van NAP +0,4 m (maatgevende hoogwaterstand). Van de profielen waar de stabiliteit voldoende is bij een peil van NAP +0,4 m, geldt dat de stabiliteit ook voldoende is bij een peil van NAP -0,52 m.

Uit de resultaten bij de gehanteerde uitgangspunten volgt dat ter plaatse van 1 profiel (DWP_709_1878) mogelijke problemen met de stabiliteit te verwachten zijn. Profiel DWP_709_1878 (Reitdiep Noordzijde) heeft een stabiliteitsfactor bij inzet van de Rietproef (NAP-0,52m) die kleiner is dan de vergelijkingswaarde. De stabiliteit van de kering neemt af van 0,8 naar 0,76 terwijl de vergelijkingswaarde het 0,95 bedraagt. De Rietproef leidt daarmee tot een sterkteafname van ca. 5%.

Ten behoeve van de berekeningen zijn conservatieve aannames gedaan, hierdoor kan de werkelijke stabiliteit groter zijn dan berekend. Daarom wordt geadviseerd het waterschap te vragen een **beheerdersoordeel** voor deze kering op te stellen en een **nader onderzoek** te laten uitvoeren met het doel om om de aannames voor de belangrijkste invloedsfactoren verder te detailleren. Het beheerdersoordeel samen met het nader onderzoek geeft een nauwkeuriger beeld van de daadwerkelijke stabiliteit van de kering.

De aanpassing van de uitgangspunten voor deze specifieke berekening kan alleen op basis van nader onderzoek van de invloed van verschillende factoren op de stabiliteit van het profiel. Binnen het Lauwersmeergebied zijn er drie factoren namelijk het slootprofiel, de grondwaterstand en de ondergrond die een samenspel vormen. Meer onderzoek naar deze drie factoren (sloot, grondwater en ondergrond) kan uitsluitel geven over de werkelijke stabiliteit van de waterkering.

Ten behoeve van het monitoringsplan wordt geadviseerd om de grondwaterstand (in relatie tot de stabiliteit) van de keringen te monitoren ter plaatse van DWP_709_1878 (Reitdiep Noordzijde). Voorafgaand aan de Rietproef wordt in het nader onderzoek de grondwaterstand vastgesteld waarbij de kering instabiel wordt, daartoe worden ook de sterkteparameters van de ondergrond en het profiel van de sloot nader bekeken. De grondwaterstand in de kering kan worden gemonitord door peilbuizen te plaatsen over het gehele dwarsprofiel die de grondwaterstanden meten en inclinometers die het optreden van grondbewegingen registreren. De te hanteren grenswaarden voor de monitoring dienen te worden bepaald op basis van het uit te voeren nader onderzoeken en het beheerdersoordeel.