

KRACHTIGE IJSSELDIJKEN KRIMPENERWAARD

K I J K

‘Samen sterker’

Titel : Probabilistische analyses
macrostabiliteit binnenwaarts

Project : KIJK
Projectnummer : 2019.02564

Documentnummer : KIJK-212138

Revisie : 3.0

Revisiedatum : 21-2-2023

Status : Definitief

Werkpakket : WP-00018 - 3.3 Definitief ontwerp plus DO+ (UO 1e versie)

Revisie	Omschrijving belangrijkste wijzigingen	Datum
0.1	Versie t.b.v. interne reviews	18-1-2023
1.0	Reviews verwerkt	6-2-2023
2.0	Aanpassingen i.v.m. update methode bewezen sterkte	15-2-2023
2.1	Opmerkingen HHSK	21-2-2023
3.0	Opmerkingen HHSK verwerkt	21-2-2023

Ondertekenaar 1	Ondertekenaar 2	Ondertekenaar 3
Opsteller	Controleur	Vrijgever

Handtekening wordt digitaal gezet in SharePoint. Dit veld niet aanpassen!

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	5
1.1.	Achtergrond.....	5
1.2.	Doel.....	5
1.3.	Leeswijzer.....	5
2.	Uitgangspunten.....	6
2.1.	Methode.....	6
2.2.	Hydraulische belastingen.....	6
	Faalkans Hollandsche IJsselkering (HIJK).....	6
	Waterbezwaar.....	7
2.3.	Materiaaleigenschappen.....	8
	Grensspanning.....	9
2.4.	Kans op overslag.....	9
2.5.	Schematisatie waterspanningen.....	9
	Onverzadigde schematisatie.....	9
	Verzadigde schematisatie.....	9
2.6.	Belastingen.....	10
2.7.	Modelfactor.....	10
2.8.	Eis.....	10
	Semi-probabilistisch.....	10
	Probabilistisch.....	10
	Gevoeligheidsanalyses.....	10
2.9.	Keuze dijkvakken.....	10
2.10.	Bewezen sterkte.....	12
3.	Resultaten.....	14
3.1.	Overzicht.....	14
3.2.	Vergelijking andere studies.....	15
3.3.	Doorvertaling overige dijkvakken.....	17
	Algemeen.....	17
	Gevoeligheidsanalyse faalkansverruiming met faalkansruimte GEKB.....	18
	Gevoeligheidsanalyse sluiting HIJK.....	18
	Conclusie doorvertaling.....	19
3.4.	Effect van schematisatie als kleidijk.....	19
4.	Conclusies.....	21
5.	Referenties.....	22
	Bijlage I: Hydraulische randvoorwaarden.....	23
	Bijlage II: Probabilistische analyses.....	30
	Dijkvak A.....	30
	Dijkvak J.....	31

Dijkvak M3	32
Resultaten probabilistische gevoeligheidsanalyses	34
Bijlage III: Vergelijking kalibratiestudies	35
Bijlage IV: Doorvertaling naar overige vakken	36
Gevoeligheidsanalyse faalkansverruiming	37
Gevoeligheidsanalyse sluiting HIJK.....	40

1. Inleiding

1.1. Achtergrond

Dit document geeft een overzicht van de probabilistische analyses die uitgevoerd om de noodzaak van de opgave van dijkversterking KIJK te onderzoeken. In de analyses is een scherpe beoordelingssystematiek gehanteerd, die op veel punten niet overeenkomt met de ontwerpmethodiek. Hierbij zijn uitgangspunten aangescherpt en hebben de diverse overleggen met het adviesteam dijkontwerp tevens als input voor gediend.

Ter onderbouwing van het Voorkeursalternatief is het rapport Invloed systeemmaatregelen Hollandsche IJssel geschreven. Hierin zijn aanscherpingen van de ontwerpuitgangspunten gezocht, daarmee is het gebruik van geavanceerdere ontwerpmethodieken en systeemmaatregelen onderzocht.

Dit document geeft het onderzoek weer van de toepassing van de probabilistische methoden bij macrostabiliteit binnenwaarts. Hiermee wordt een aanscherping onderzocht op de beoordelingssystematiek.

1.2. Doel

De commissie MER heeft onlangs een advies gegeven voor dijkversterking KIJK. Op basis van het advies van commissie MER is geconcludeerd door KIJK dat de resultaten van de onderzoeken met betrekking tot probabilistische analyses en bewezen sterkte niet helder en herleidbaar voor de commissie zijn vastgelegd. Om deze reden heeft dit document een overzicht van het proces omtrent probabilistische berekeningen en worden de uitgangspunten, gegevens, resultaten en analyses toegevoegd aan de notitie verantwoording veiligheidsopgave KIJK.

1.3. Leeswijzer

De gehanteerde methode en uitgangspunten zijn toegelicht in hoofdstuk 2. De resultaten, vergelijking met andere studies en een doorvertaling naar semi-probabilistische resultaten zijn gepresenteerd in hoofdstuk 3. Tot slot zijn de conclusies en aanbevelingen toegelicht in hoofdstuk 4.

2. Uitgangspunten

2.1. Methode

De totale faalkans is bepaald door de conditionele faalkans per waterstand (de fragility curve) te vermenigvuldigen met de kansdichtheid van de waterstand en uit te integreren over de waterstand, volgens (7) van [1].

$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty} P(F|h) \cdot f_h(h) dh$$

De totale faalkans kan dan worden berekend door de conditionele faalkansen van de scenario's te combineren met de kansen op deze scenario's. De gehanteerde formule hierbij is:

$$P_f = \sum_i P(F|E_i) \cdot P(E_i)$$

In de scenario analyse kan de kans op overslag worden meegenomen door de conditionele kans op overslag afhankelijk van de waterstand mee te nemen.

$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty} P(F_{onverzadigd}|h) \cdot P(Q \leq 1 \text{ l/s/m} | h) \cdot f_h(h) dh \\ + \int_{-\infty}^{\infty} P(F_{verzadigd}|h) \cdot P(Q > 1 \text{ l/s/m} | h) \cdot f_h(h) dh$$

Om de probabilistische berekening door te rekenen worden de waterstand bij dagelijkse omstandigheden en -bij overschrijdingskans 1/30, 1/500, 1/3.000 en 1:25.000 onverzadigd doorgerekend. Daarnaast is de verzadigde schematisatie doorgerekend. Hierbij is de veronderstelling dat verzadiging optreedt bij een overslagdebiet gelijk of groter dan 1 l/s/m.

2.2. Hydraulische belastingen

De waterstand is afgeleid bij een overschrijdingskans van 1/10, 1/30, 1/100, 1/200, 1/500, 1/1.000, 1/2.000, 1/3.000, 1/5.000, 1/10.000, 1/20.000, 1/25.000, 1/100.000. Voor de uitintegratie is de kans op voorkomen van waterstanden benodigd. Dit is geen onderdeel van de output van Hydra-NL. Om deze reden is op de waterstanden een Gumbel verdeling gefit, conform onderstaande methode [ref. 1]. Door de aanwezigheid van de Hollandse IJsselkering zou verwacht kunnen worden dat er een knik aanwezig is bij de faalkans van de waterkering. Doordat deze knik niet zichtbaar is, is een Gumbel verdeling gehanteerd. In bijlage I zijn de hydraulische randvoorwaarden gepresenteerd.

$$\alpha = h_{F_1} + \ln(-\ln(F_h(h_{F_1})))\beta \\ \beta = \frac{h_{F_2} - \alpha}{-\ln(-\ln(F_h(h_{F_2})))}$$

Faalkans Hollandse IJsselkering (HIJK)

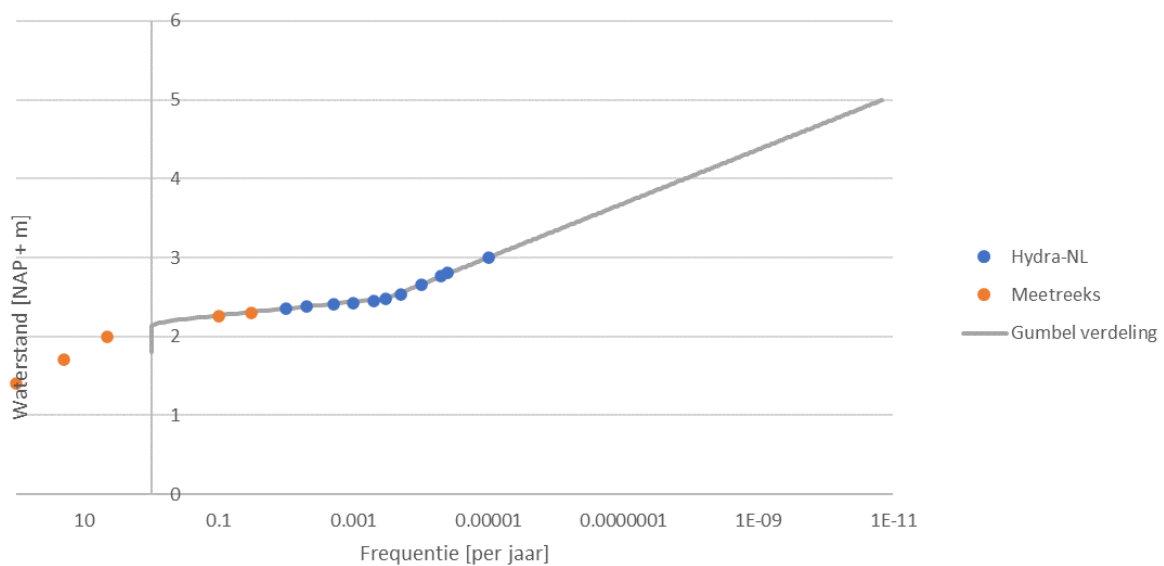
In de afleiding van de hydraulische belastingen is een faalkans van de HIJK aangehouden van 1:2.000, conform ontwerpuitgangspunten [ref. 3]. Daarnaast is een gevoeligheidsberekening uitgevoerd bij een faalkans van de HIJK van 1:25.000.

Waterbezwaar

Binnen Hydra-NL is het mogelijk om de kans op waterbezwaar op de Hollandsche IJssel te beschouwen. Waterbezwaar op de Hollandsche IJssel houdt in dat er vanuit de omliggende polders op de Hollandsche IJssel gepompt wordt. Dat is het geval als er naast hoogwater ook sprake is van veel neerslag. Dit heeft met name invloed op het hydraulisch systeem als de HIJK gesloten is, hierdoor wordt het maalstoppeil gehaald tijdens sluiting van de HIJK. Binnen dijkversterking KIJK wordt standaard gerekend met een kans op waterbezwaar van 0,33. Als gevoeligheidsanalyse is voor een faalkans van de HIJK 1:25.000 een optie doorgerekend zonder waterbezwaar. Hierbij is de kans op waterbezwaar op de Hollandsche IJssel op 0 aangehouden in de afleiding van waterstanden én kans op overslag. Indien bij veel neerslag het water niet uit de polders op de Hollandsche IJssel uitgemalen kan worden leidt dat tot wateroverlast in de polders.

In de analyse zonder waterbezwaar is een knik zichtbaar in de lijn waterstand - faalkans op gumbel papier. Om deze reden is een samengestelde fit gemaakt, zoals weergegeven in Figuur 2-1.

Figuur 2-1, Samengestelde fit Hydra-NL resultaten Dijkvak A



2.3. Materiaaleigenschappen

De ongedraineerde sterkteparameters zijn weergegeven in Tabel 2-1. De gehanteerde waarden zijn conform de studie van POVM [2].

Tabel 2-1 Probabilistische ongedraineerde materiaal eigenschappen

Materiaal	γ_{sat} [$\frac{kN}{m^3}$]	γ_{dry} [$\frac{kN}{m^3}$]	S_{kar} [-]	S_{μ} [-]	S_{σ} [-]	m_{kar} [-]	m_{μ} [-]	m_{σ} [-]
Dijkmateriaal klei	18.50	18.50	0.34	0.37	0.02	0.89	0.91	0.02
Klei planten O1	16.05	16.05	0.30	0.32	0.02	0.87	0.88	0.01
Klei planten O2	16.15	16.15	0.30	0.32	0.02	0.87	0.88	0.01
Hollandveen O	10.85	10.85	0.37	0.39	0.02	0.83	0.85	0.02
Basisveen O	11.75	11.75	0.37	0.39	0.02	0.83	0.85	0.02
Kreftenheye O	17.20	17.20	0.30	0.32	0.02	0.87	0.88	0.01
Klei antropogeen	18.50	18.50	0.34	0.37	0.02	0.89	0.91	0.02
Klei planten N1	14.20	14.20	0.30	0.32	0.02	0.87	0.88	0.01
Klei planten N2	14.80	14.80	0.30	0.32	0.02	0.87	0.88	0.01
Hollandveen N1	10.45	10.45	0.37	0.39	0.02	0.83	0.85	0.02
Hollandveen N2	10.50	10.50	0.37	0.39	0.02	0.83	0.85	0.02
Basisveen N	11.55	11.55	0.37	0.39	0.02	0.83	0.85	0.02
Kreftenheye N	17.20	17.20	0.30	0.32	0.02	0.87	0.88	0.01

De gedraineerde sterkteparameters zijn weergegeven in Tabel 2-2. De gehanteerde waarden zijn conform de studie van POVM [2].

Tabel 2-2, Probabilistische gedraineerde materiaal eigenschappen

Materiaal	γ_{sat} [$\frac{kN}{m^3}$]	γ_{dry} [$\frac{kN}{m^3}$]	ϕ_{kar} [°]	ϕ_{mean} [°]	ϕ_{std} [°]
Dijkmateriaal klei	18,50	18,50	31,3	34,0	2,2
Klei antropogeen	18,50	18,50	31,3	34,0	2,2
Zand pleistoceen	18	20	32,5	35	1,5
Verharding/puin	18	20	32,5	-	-

Grensspanning

De grensspanning is uitvoerig onderzocht binnen dijkversterking KIJK. De onderbouwing van de gehanteerde waarden is te vinden in [2].

De gemiddelde waarde en standaarddeviatie van de (lognormaal verdeelde) Pre-overburden pressure (POP) in het achterland (m.u.v. klei antropogeen laag) is onderstaand weergegeven. In de afleiding van de POP is, gezien de grote variatie in POP-waarden in het projectgebied, gekozen voor project-specifieke POP waarden.

$$\mu_{POP} = 50,63 \text{ kPa} ; \sigma_{POP} = 21,21 \text{ kPa}$$

In de lagen onder de kruin en in de antropogene kleilaag in het achterland worden de default waarden van het WBI aangehouden voor de POP.

2.4. Kans op overslag

De kans op overslag is afgeleid bij 1 l/s/m. Dit is een optimistisch uitgangspunt aangezien infiltratieproeven laten zien dat afschuiving kan optreden bij minder overslagdebiet. Omdat het gaat om een beoordeling, is de huidige kruinhoogte als basis gekozen voor deze bepaling.

De gehanteerde methode voor de afleiding van de kans op overslag is op basis van Bijlage D van POVM Beter benutten actuele sterkte KIJK Activiteit 6 – Faalkans updating 3 cases [5]. Deze methode is de enige methode die momenteel uitvoerbaar is zonder tussenkomst van een andere organisatie.

In de Hydra-NL berekeningen is de huidige kruinhoogte aangehouden. Daarbij is, op advies van het adviesteam dijkontwerp, de decimeringshoogte aangehouden als onzekerheidsmarge. Daarnaast is zetting voor het zichtjaar 2050 meegenomen in de kruinhoogte van de hydraulisch belastingniveau berekening.

Tot slot is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarin overslag niet is meegenomen. Hierin is de kans op overslag gelijk aan 0 voor alle waterstanden. Hiermee is enkel de onverzadigde schematisatie van de waterstand toegepast in de uitintegratie van de probabilistische som.

2.5. Schematisatie waterspanningen

Voor de schematisatie van de waterspanningen is in de onverzadigde- en verzadigde schematisaties het ontwerpuitgangspunt [ref. 3] aangehouden.

Voor de analyse waar de waterkering volledig bestaat uit klei is de freatische lijn bij de semi-probabilistische berekeningen geschematiseerd conform Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken.

Onverzadigde schematisatie

De onverzadigde schematisatie van de waterspanningen is lineair geschaald tussen dagelijkse- en norm schematisatie.

Verzadigde schematisatie

In de verzadigde schematisatie volgt de freatische lijn de profiellijn (geometrie van kruin). Deze schematisatie is waterstandsonafhankelijk. In de uitintegratie is deze schematisatie enkel (gewogen) meegenomen bij waterstanden waarbij overslag kan optreden.

2.6. Belastingen

In de schematisaties is geen verkeersbelasting meegenomen.

2.7. Modelfactor

De modelfactor is conform Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating [ref. 1] gelijk aan:

$$\mu_M = 1,005 \text{ en } \sigma_M = 0,033$$

2.8. Eis

De eis waarmee ingeschat is of een dijkvak voldoet kan semi-probabilistische of probabilistische wijze worden beschouwd. Hieronder is per rekenmethodiek werkwijze vastgelegd.

Semi-probabilistisch

De semi-probabilistische eis is conform NOKU [ref. 3] gelijk aan 1,24. Hierin is gerekend met de standaard faalkansruimte verdeling en een schematiseringsfactor van 1,1.

Probabilistisch

De probabilistische eis is conform NOKU [ref. 3] (met herverdeling faalkansruimte piping en macrostabiliteit) gelijk aan:

$$P_{eis} = \frac{\omega}{P_{norm} \cdot N} = \frac{0,28}{3000 \cdot 13,7} = \frac{1}{146.786} \quad \beta = 4,35$$

De eis inclusief schematiseringsfactor is hierdoor:

$$P_{eis:\gamma_b} \rightarrow \beta \cdot \gamma_b = 4,35 * 1,1 = 4,78 \quad P_{eis:\gamma_b} = \frac{1}{1.168.487}$$

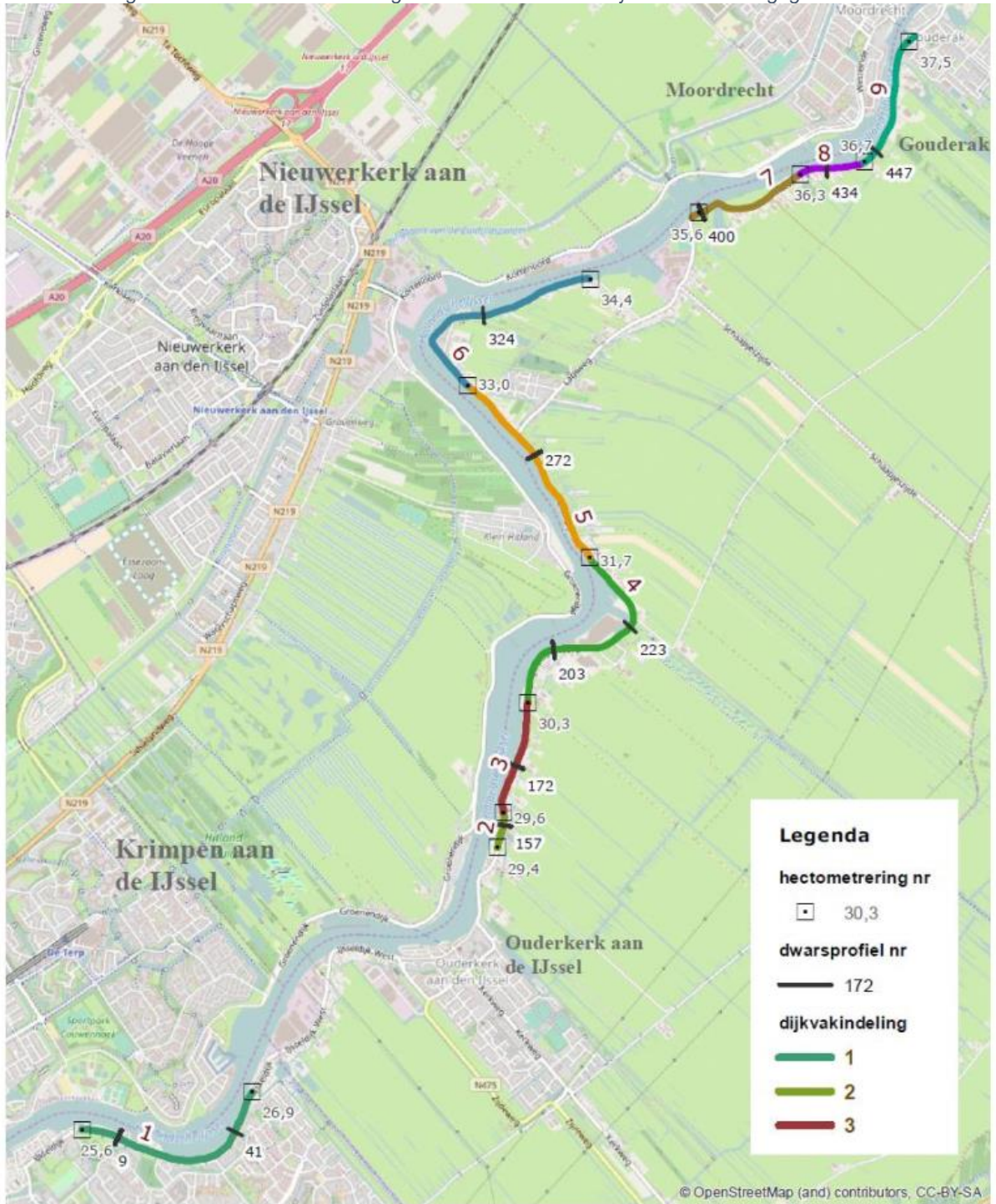
Gevoeligheidsanalyses

Op basis van de overleggen met het adviesteam dijkontwerp is verruiming faalkansruimte beschouwd voor de doorvertaling naar overige dijkvakken. Hierbij is de faalkansruimte van het faalmechanisme GEKB toegevoegd aan de faalkansruimte ($\omega += 0,04$) van STBI.

2.9. Keuze dijkvakken

Voor de probabilistische analyses zijn diverse dijkvakken doorgerekend. Hiervoor zijn de dijkvakken beschouwd die zoveel mogelijk overlap hebben met de POV-M. Daarnaast is een combinatie van dijkvakken doorgerekend die net niet voldoen aan de norm, of juist ruim niet voldoen aan de norm. Op deze wijze is het gehele project gebied beschouwd en geven de probabilistische analyses een

realistisch veiligheidsbeeld. De onderbouwing voor de keuze van de dijkvakken is weergegeven in



HHSK Project KIJK | Bepaling actuele sterkte

Dijkvakindeling probabilistische stabiliteitsberekeningen met hectometering en dwarsprofielen

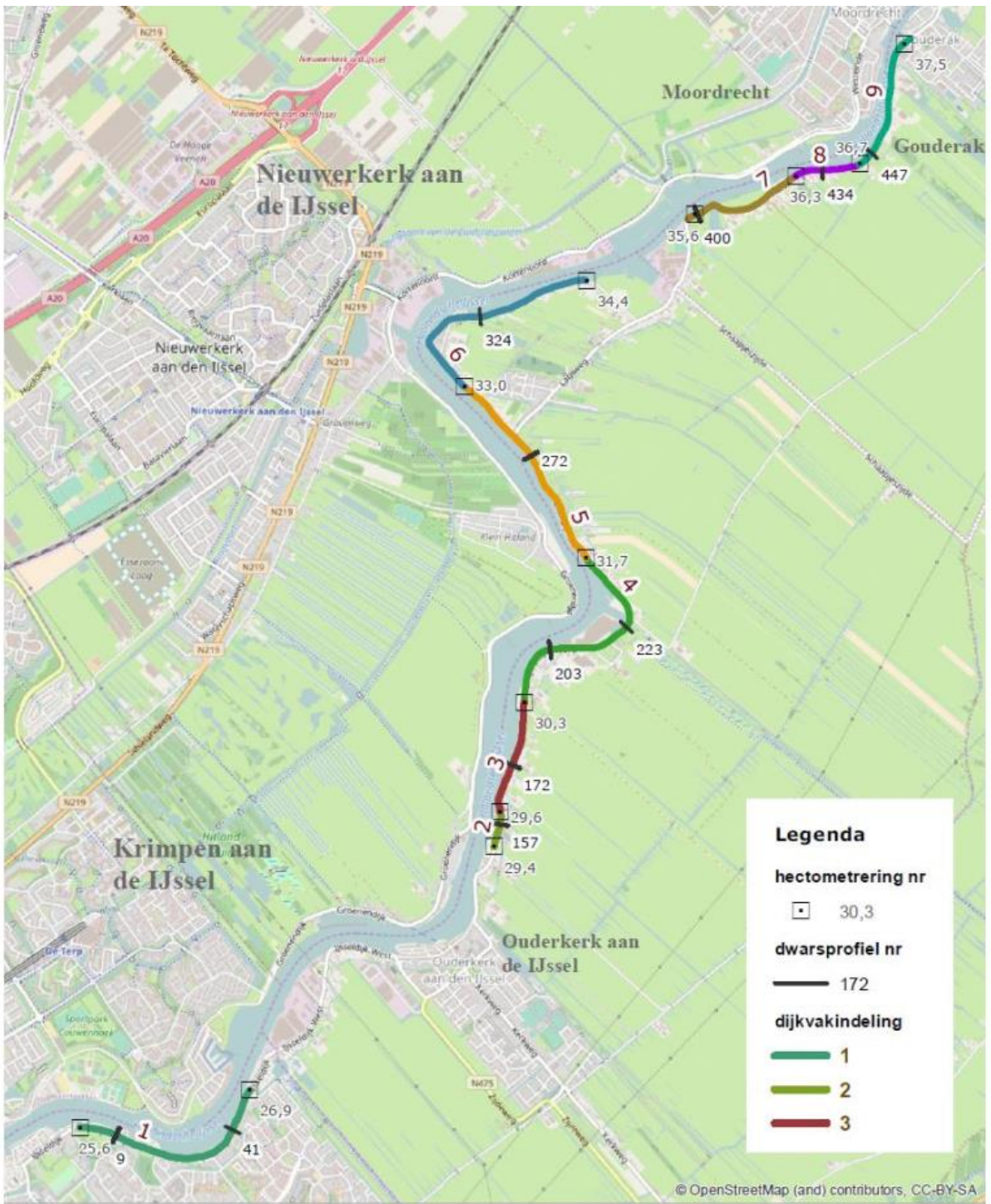
Tek. nr. : 1
 Bestand : mxd
 Datum : Datum: 19-5-2017
 Formaat : A4

Get. : KIJK
 Versie : 1
 Status :
 Schaal : 1:30.000

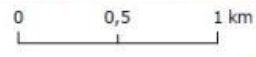

 Hoogheemraadschap van
 Schieland en de Krimpenerwaard
 GROEGE VOETEN EN SCHOON WATER
 Masboulevard 122 - Postbus 4059 - 2006 AB Rotterdam
 T. 010 45 37 200 - F. 010 41 30 694 - www.hhsk.nl



Tabel 2-3.



HHSK Project KIJK | Bepaling actuele sterkte
Dijkvakindeling probabilistische stabiliteitsberekeningen met hectometering en dwarsprofielen



Tek. nr. :	1	Get. :	KIJK
Bestand :	mxd	Versie :	1
Datum :	Datum: 19-5-2017	Status :	
Formaat :	A4	Schaal :	1:30.000


 Hoogheemraadschap van
 Schieland en de Krimpenerwaard
 ORDEGE VOETEN EN SCHOON WATER
 Meeuwbeemd 123 - Postbus 4059 - 2006 AB Rotterdam
 T. 010 45 37 200 - F. 010 41 30 094 - www.hhsk.nl

Tabel 2-3, Keuze probabilistische dijkvakken

Dijkvak KIGO studie	SF	Onderbouwing keuze	Dijkvak POV-M
A	1,27	Semi-probabilistisch afhankelijk van uitgangspunt POP erg dicht bij eis, interessant om te zien of probabilistisch goedgekeurd kan worden.	1-1
B	1,10	Dijkvak valt in interessant gebied qua stabiliteitsfactor.	1-1
C	1,10	Dijkvak valt in interessant gebied qua stabiliteitsfactor.	1-2
D	1,16	Dijkvak valt in interessant gebied qua stabiliteitsfactor.	2
E	1,08	Dijkvak valt in interessant gebied qua stabiliteitsfactor.	2
G	1,19	Zelfde reden als dijkvak A en beschouwen locatie invloed heeft binnen dijkvak van POV-M.	3
I1	1,23	Zelfde reden als dijkvak A en beschouwen locatie invloed heeft binnen dijkvak van POV-M.	3
J	1,13	Geen overlap met POV-M, dijkvak valt in interessant gebied qua stabiliteitsfactor i.c.m. een hoogteopgave.	-
M2	1,03	Uitsplitsing van POV-M studie dijkvak 5	5
M3	1,15	Dijkvak valt in interessant gebied qua stabiliteitsfactor, uitsplitsing van POV-M studie dijkvak 5	5
U1	0,95	Zeer lage semi-probabilistische stabiliteitsfactor	7
V	1,32	Zelfde reden als dijkvak A, i.c.m. een hoogteopgave	8

Uit bovenstaande overzicht is te concluderen dat dijkvak 4, 6 en 9 van de POV-M studies geen overlap hebben met de probabilistische analyses van KIGO. Dat komt doordat er in dijkvak 6 en 9 in het ontwerp van KIGO geen opgave is en in het ontwerp van dijkvak 4 slechts over een korte strekking (110 m) een opgave voorzien is.

2.10. Bewezen sterkte

In de probabilistische analyses kan een inschatting gemaakt worden van de invloed van een overleefde waterstand. Als de waterkering in het verleden een waterstand heeft overleefd/gekeerd, dan wordt verondersteld dat de sterkte van de waterkering groter is dan de opgetreden belasting. Dit principe wordt bewezen sterkte genoemd. Door faalkans-updating toe te passen kunnen probabilistische sommen aangescherpt worden. De betreffende rekenmethodiek is bewerkelijk. Om deze reden is ervoor gekozen om een inschatting te maken van het verwachte effect van bewezen sterkte. Dit is gedaan met de volgende methodiek (truncation van de kansdichtheidsfunctie van de sterkte):

- De sterkte van de waterkering wordt stochastisch beschreven door een kansdichtheidsfunctie (PDF). Gegeven dat een belasting (waterstand) h is overleefd, kan worden geconcludeerd dat de sterkte van de waterkering groter is dan deze overleefde belasting. De kansdichtheidsfunctie is aangepast aan dit gegeven door:
 - de kansdichtheid aan te passen naar 0 voor belastingen lager dan de overleefde belasting h ;

- vervolgens een herverdeling te maken van de kansdichtheidsfunctie zodat de integraal weer 1 is;
- door de aangepaste kansdichtheidsfunctie te integreren ontstaat een nieuwe verdelingsfunctie (CDF) van de sterkte.

In formulevorm is dit als volgt:

$$\text{Voor } x \leq h: G(x) = 0;$$

$$\text{Voor } x > h: G(x) = \frac{F(x)-F(h)}{F(\infty)-F(h)} = \frac{F(x)-F(h)}{1-F(h)};$$

Waarin:

- $G(x)$ cumulatieve faalkans bij waterstand x met overleefde waterstand h [-];
- $F(x)$ cumulatieve (initiële) faalkans bij waterstand x zonder overleefde waterstand [-];
- $F(h)$ cumulatieve (initiële) faalkans bij waterstand h zonder overleefde waterstand [-].

Voor de analyse van bewezen sterkte is uitgegaan van een overleefde waterstand van NAP +2,2 m. Dit komt overeen met circa het sluitpeil van de HIJK. Dit is in het verleden af en toe voorgekomen. Bij optreden van deze waterstand (van korte duur) zijn geen substantiële problemen voorgekomen. Dit peil wordt als een bovengrens gezien. Indien deze methode resulteert in een grote optimalisatie van de scope, moet het gehanteerde peil voor bewezen sterkte nader worden onderbouwd. Het gehanteerde peil moet zodanig zijn dat dat er voldoende vertrouwen is dat er nooit, bij elke belastingvorm, falen van de waterkering zal optreden.

3. Resultaten

Paragraaf 3.1 geeft een overzicht van de probabilistische resultaten. Een vergelijking met andere studies is gemaakt in paragraaf 3.2. In paragraaf 3.3 is een doorvertaling gemaakt naar de overige dijkvakken middels de semi probabilistische resultaten.

3.1. Overzicht

De resultaten van de probabilistische analyses zijn samengevat in Tabel 3-1. Per scenario is weergegeven welke vakken voldoen (groen) en niet voldoen (rood) aan de stabiliteitseis. De stabiliteitseisen semi-probabilistische en probabilistisch zijn weergegeven in paragraaf 2.8.

Een voorbeeld van de uitwerking van de probabilistische analyse is gegeven voor dijkvak A, J en M3. Dit is bijgevoegd in bijlage II. In onderstaande tabel zijn de resultaten van de probabilistische berekeningen opgenomen, inclusief gevoeligheidsanalyses: zonder overslag, zonder bijdrage onder sluitpeil van NAP +2,2 m en een gecombineerd effect. De gevoeligheidsanalyse zonder bijdrage onder sluitpeil geeft een indicatie of bewezen sterkte effectief is. In de tabel is tevens aangegeven welk type versterkingsmaatregel van toepassing is per dijkvak.

Tabel 3-1 Resultaten probabilistische analyses bij faalkans HJK 1:2.000, dijkvakken gerangschikt op type versterkingsmaatregel

Dijkvak	Type maatregel versterking	SF - WBN	β - prob	β -prob zonder bijdrage onder NAP +2,2 m sluitpeil	β -prob zonder kans op overslag	β -prob zonder overslag en bijdrage onder NAP +2,2 m sluitpeil*
A	Grond	1,27	5,25	5,33	5,42	5,88
B	Type II	1,10	4,09	4,72	4,09	4,75
D	Type II	1,16	4,57	4,80	4,60	4,89
G	Type II	1,19	5,09	5,52	5,10	5,75
I1	Type II	1,23	5,31	5,32	5,70	6,03
M3	Grond	1,15	4,41	4,70	4,46	5,00
Aantal dijkvakken dat voldoet		1	3	4	3	5
C	Type I	1,10	3,64	3,93	3,71	4,27
E	Type I	1,08	3,63	4,05	3,71	4,58
J	Type I	1,13	4,25	4,26	4,94	5,40
M2	Type I	1,03	2,66	2,74	3,23	4,05
U1	Type I	0,95	1,99	2,42	2,16	3,37

V	Type I	1,32	5,59	5,68	5,72	6,01
Aantal dijkvakken dat voldoet		1	1	1	2	2

*combinatie van voorgaande gevoeligheidsanalyses, zie paragraaf 2.10 Bewezen sterkte voor gevoeligheidsanalyse probabilistische stabiliteitsberekening zonder bijdrage onder sluitpeil en paragraaf 2.4 Kans op overslag voor gevoeligheidsanalyse probabilistische stabiliteitsberekening zonder kans op overslag.

In bovenstaande tabel is te zien dat er voor de meeste vakken een beperkt effect op de Beta is bij verwaarlozen van de kansbijdrage van waterstanden tot sluitpeil. Er wordt bij het meenemen van overslag 1 vak meer goedgekeurd en zonder overslag zijn dit 2 vakken. Het toepassen van bewezen sterkte resulteert dus in een kleine reductie van de opgave. Opgemerkt wordt dat de extra vakken die voldoen dijkvakken zijn met een grond- of type II oplossing. Voor de type I dijkvakken blijft de opgave hetzelfde.

Daarnaast is een gevoeligheidsanalyse gemaakt voor een faalkans Hollandsche IJsselkering van 1/25.000 (FK HIJK 1/25.000) voor de situatie zonder waterbezwaar. De resultaten van de probabilistische analyses zijn samengevat in Tabel 3-2. Een uitgebreide uitdraai van de resultaten is gegeven in Bijlage II.

Het aanhouden van de verlaagde faalkans van de HIJK (1/25.000) leidt tot een verhoging van de Beta. In combinatie met het verwaarlozen van de kansbijdrage van waterstanden tot sluitpeil kunnen dan meer van de 12 onderzochte vakken worden goedgekeurd. Voor 3 van vakken met een type I oplossing als VKA blijft echter ook dan nog een STBI-opgave bestaan.

Tabel 3-2, Resultaten probabilistische analyses bij faalkans HIJK, aantal dijkvakken dat voldoet per scenario, er is onderscheid gemaakt tussen de grond/type II oplossingen (6 dijkvakken in analyse meegenomen) en type I oplossingen (6 dijkvakken in analyse meegenomen)

Scenario	Type maatregel versterking	SF - WBN	β - prob	β -prob zonder bijdrage onder sluitpeil NAP +2,2 m sluitpeil	β -prob zonder kans op overslag	β -prob zonder overslag en bijdrage onder NAP +2,2 m sluitpeil
1:2.000 ter referentie	grond/type II	1	3	4	3	5
1:25.000 Zonder waterbezwaar	grond/type II	1	3	6	3	6
1:2.000 ter referentie	type I	1	1	1	2	2
1:25.000 Zonder waterbezwaar	type I	1	2	2	2	3

3.2. Vergelijking andere studies

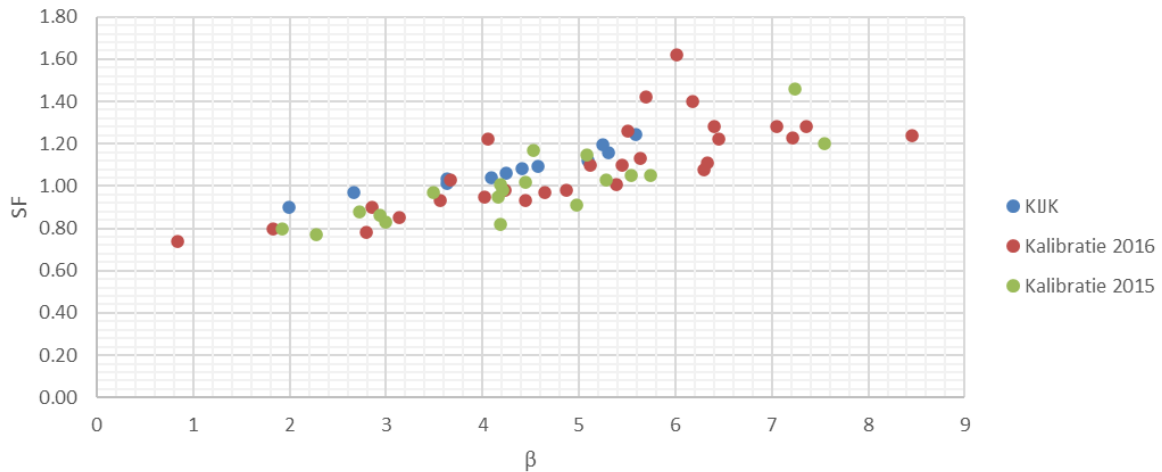
De resultaten van de probabilistische analyses zijn vergeleken met de kalibratiestudie en de studies van de POV-M.

De vergelijking met de kalibratiestudies van het WBI2017 is weergegeven in Figuur 3-1. Hierin is te zien dat de studie van KIJK binnen de puntenwolk valt, maar dat de uitkomsten aan de bovenzijde

van de puntenwolk ligt. Hiermee valt de studie in het conservatieve deel van de kalibratie lijn, waardoor weinig winst gevonden wordt door probabilistisch te rekenen.

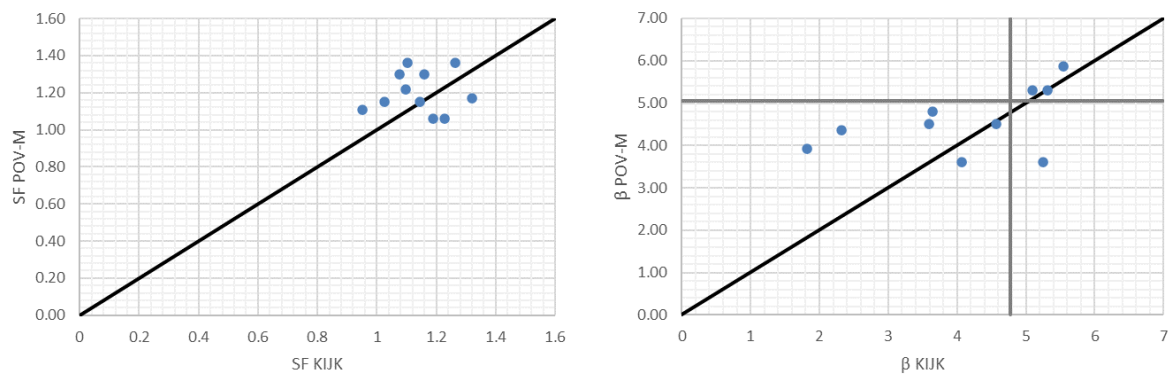
In bijlage III is de vergelijking met de kalibratiestudies weergegeven voor de gevoeligheidsanalyses zonder bijdrage onder sluitpeil, zonder kans op overslag en de combinatie van beide effecten. Hieruit valt op te maken dat de gevoeligheidsanalyses binnen de puntenwolk van de kalibratiestudies valt.

Figuur 3-1, Vergelijking met kalibratiestudie (2015 en 2016 [ref. 6])



Op basis van de resultaten kan geconcludeerd worden dat er in de POV-M studies gemiddeld iets gunstigere (hogere SF of Beta) resultaten semi-probabilistisch en probabilistisch behaald worden, zie Figuur 3-2. De POV-M vindt bij afgekeurde dijkvakken meestal een hogere β . Dit verschil is echter niet zichtbaar in het goedkeuren van dijkvakken, hierbij keurt KIJK in de probabilistische analyses meer dijkvakken goed dan de POV-M.

Figuur 3-2, Vergelijking resultaten KIJK - POV-M, zwarte lijn is 1:1 as-lijn en grijze lijn betreft eisen (er zit een verschil in eis tussen KIJK en POV-M).



Het verschil tussen de analyses komt deels door semi-probabilistische resultaten en deels door andere uitgangspunten in de probabilistische analyses. In overleg met het Adviesteam Dijkontwerp zijn verschillen geconstateerd in geometrie, grondopbouw, freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden en grensspanningen. Voor iedere component is individueel beschouwd wat het effect is van de verschillen in een stabiliteitssom van KIJK. Daarnaast is voor de kans op verzadiging door overslag in de POV-M studie uitgegaan van 10 l/s/m en bij project KIJK 1 l/s/m. In de POV-M studie heeft dit daarom minder impact dan in project KIJK. Hoewel dit minder dominant is in de POV-M studie, heeft het nog wel effect.

De studie van de POV-M laat zien dat de sterkte van de dijk toeneemt bij stijgende waterstanden. Dit komt door twee factoren: verkeersbelasting en het ongedraineerd gedrag bij grond die nat wordt bij

stijgende waterstand. Dit komt beeld komt niet overeen met het onderzoek uit de planuitwerkingsfase en de ervaring van de beheerder.

Hieruit is af te leiden dat het effect van de grensspanningen dominant is. Door uitgebreid onderzoek naar de POP-waarden wordt aanbevolen geen wijzigingen toe te passen in de POP-waarden. Op basis van het overleg zijn voorstellen gedaan om aanpassingen door te voeren in de 2D schematisatie van de grondopbouw. Er wordt geadviseerd om vast te houden aan de gehanteerde POP waarden. De betreffende parameter heeft grote invloed en is uitvoerig onderzocht. Enkel nieuwe afleidingsmethodieken of grondonderzoek zou kunnen leiden tot een nieuwe afleiding van de POP waarden.

Naar het effect van de probabilistische component van de verschillen is geen onderzoek gedaan. Daar bijkomend is er een verschil in software (Probabilistic toolkit en D-Geo Stability of D-Stability) waardoor de vergelijking nog lastiger te maken is.

3.3. Doorvertaling overige dijkvakken

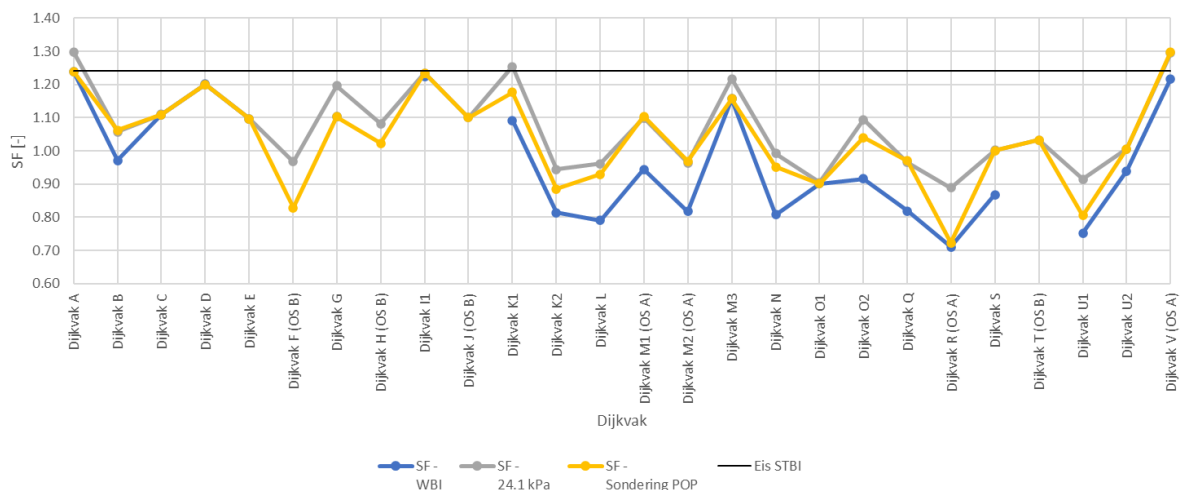
Deze paragraaf is in voorliggende versie nog niet aangepast o.b.v. toepassen bewezen sterkte volgens beschreven 'truncation methode' in paragraaf 2.10. Deze worden in de volgende versie aangepast.

Binnen dijkversterking K1JK is de nulvariant semi-probabilistisch beschouwd. In de analyse zijn de huidige dijkvakken met actuele profiellijnen beschouwd. Bij de doorvertaling naar de overige dijkvakken zijn twee analyses uitgevoerd. De eerste analyse gaat over de gevoeligheidsanalyse van de faalkansverruiming met de faalkans van GEKB en de tweede analyse gaat in op de doorvertaling van de resultaten van de gevoeligheid van de HIJK (1:25.000). De resultaten van de analyses zijn bijgevoegd in Bijlage IV.

Algemeen

De analyse is uitgevoerd voor verschillende POP waarden: WBI-default waarden, een gemiddelde waarde van 24,1 kPa en een locatie specifieke POP-waarde. In de probabilistische analyses is gebruikt gemaakt van de gemiddelde waarde van 24,1 kPa. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 3-3.

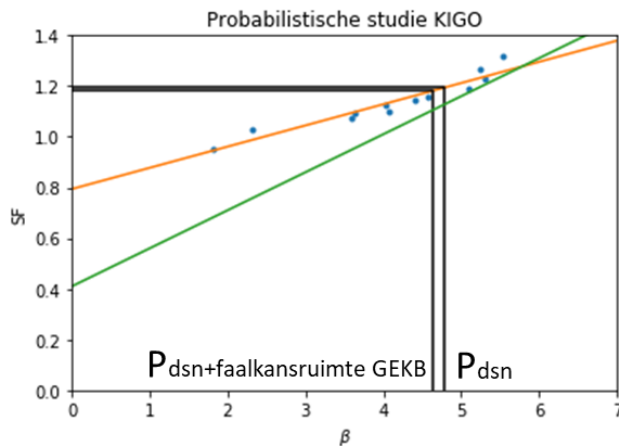
Figuur 3-3, Resultaten nulvariant



De resultaten van de probabilistische analyses zijn gebruikt om een (nieuwe) schadefactor formule af te leiden o.b.v. een lineaire regressie. Hiermee wordt een optimistische inschatting gemaakt, ten opzichte van de werkwijze in het WBI2017, van de te behalen schadefactor. Hiermee is een nieuwe stabiliteits-eis af te leiden waaraan de resultaten van de nulvariant getoetst kunnen worden. In de

bepaling van de nieuwe stabiliteitseis is de gevoeligheid van de verruiming van de faalkansruimte tevens beschouwd. De afleiding van de schadefactor en de nieuwe stabiliteits-eis is weergegeven in Figuur 3-4.

Figuur 3-4, afleiding fit schadefactor en stabiliteits-eis. Modelfactor is geen onderdeel in de onderstaande afleiding. Blauwe punten zijn probabilistische resultaten, oranje lijn is fit, groene lijn is WBI-fit (puur ter vergelijking). In onderstaande eis afleiding is de modelfactor nog niet meegenomen, studie resultaten zijn gecorrigeerd voor modelfactor.



Gevoeligheidsanalyse faalkansverruiming met faalkansruimte GEKB

In Tabel 3-3 is een overzicht gegeven van de goedgekeurde dijkvakken en het aantal dijkvakken dat is goedgekeurd op basis van de doorvertaling van probabilistische resultaten op semi-probabilistische resultaten. De analyse is uitgevoerd bij norm, faalkans verruiming, bewezen sterkte en de combinaties hiervan.

Tabel 3-3, Aantal goedgekeurde dijkvakken bij afleiding schadefactor o.b.v. probabilistische berekeningen

Analyse	Probabilistisch gefit op semi-probabilistisch nulvariant sommen bij huidige norm	Probabilistisch gefit op semi-probabilistisch nulvariant sommen bij huidige norm met ruimere FKR	Probabilistisch gefit op semi-probabilistische nulvariant sommen bij huidige norm zonder bijdrage onder sluitpeil NAP +2,25 m
Goedgekeurde dijkvakken	V	V	V
Aantal goedgekeurde dijkvakken	1	1	1

Gevoeligheidsanalyse sluiting HIJK

Er is ook een gevoeligheidsanalyse toegevoegd voor de faalkans van de sluiting van de HIJK. Voor iedere gevoeligheidsanalyse is een nieuwe schadefactor afgeleid, zie bijlage IV.

Tabel 3-4, Aantal goedgekeurde dijkvakken bij afleiding schadefactor o.b.v. probabilistische berekeningen voor gevoeligheid HIJK

Aantal dijkvakken dat voldoet	SF prob	SF prob zonder bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil	SF prob zonder kans op overslag	SF prob zonder overslag en bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil
HIJK 1:2.000	1	1	1	1
HIJK 1:25.000 zonder waterbezwaar	1	3	1	3

In bovenstaande tabel is te zien dat het aantal goedgekeurde dijkvakken vergelijkbaar is met deze van paragraaf 3.1 er is geen grote winst.

Conclusie doorvertaling

Op basis van de resultaten is te concluderen dat een doorvertaling maken van probabilistische resultaten op semi-probabilistische resultaten geen aanvullende winst oplevert.

3.4. Effect van schematisatie als kleidijk

Deze paragraaf is in voorliggende versie nog niet aangepast o.b.v. toepassen bewezen sterkte volgens beschreven 'truncation methode' in paragraaf 2.10. Deze worden in de volgende versie aangepast.

In aanvulling op de probabilistische analyses is in deze paragraaf een semi probabilistische gevoeligheidsanalyse toegevoegd van het effect als de kern van de dijk volledig als klei zou bestaan en geen puin zou bevatten. De freatische lijn is daarbij geschematiseerd conform Technische rapport waterspanning bij dijken. Opgemerkt wordt dat een volledige kleidijk geen realistische weergave is van de KIJK-dijk. Een scenario met meer puin is naar verwachting realistischer.

Tabel 3-5 Gevoeligheidsanalyse volledige kleidijk

Dijkvak	Stabiliteitsfactor referentieberekeningen	Stabiliteitsfactor gevoeligheid kleikern	Vershil in stabiliteitsfactor
A	1,27	1,31	+0,04
B	1,10	1,13	+0,03
C	1,10	1,10	+0,00
I1	1,23	1,23	+0,00
Gemiddeld	n.v.t.	n.v.t.	+0,02

In bovenstaande tabel is te zien dat de stabiliteitsfactor op basis van de beschouwde dijkvakken gemiddeld 0,02 hoger wordt indien de waterspanningen worden geschematiseerd als voor een kleidijk. Bij een aantal dijkvakken stijgt de stabiliteitsfactor meer en bij andere niet.

In onderstaande tabel zijn de semi probabilistische resultaten van alle dijkvakken ter indicatie met 0,02 verhoogd. De SF is vergeleken met de fit van de probabilistische analyse afgeleid van de situatie faalkans HIJK 1:2.000 met overslag, zonder bijdrage onder sluitpeil van NAP +2,25 m. De SF-eis is dan 1,26, zie ook Bijlage IV. Te zien is dat hetzelfde aantal dijkvakken voldoet als er niet als kleidijk is geschematiseerd.

Tabel 3-6, Resultaten Indicatie semi probabilistische analyse (eis 1,26)

Dijkvak	SF - WBN	Indicatie SF - WBN + 0,02
A	1,27	1,29
B	1,10	1,12
C	1,10	1,12
D	1,16	1,18
E	1,08	1,10
G	1,19	1,21
I1	1,23	1,25
J	1,13	1,15
M2	1,03	1,05
M3	1,15	1,17
U1	0,95	0,97
V	1,32	1,33
Aantal dijkvakken dat voldoet	2	2

4. Conclusies

In dit rapport zijn de aanpak en resultaten van uitgevoerde probabilistische analyses beschreven. Op basis van de uitgevoerde analyses kan geconcludeerd worden dat:

- De combinatie van het uitsluiten overslag, het meenemen bewezen sterkte en een aanscherping van de faalkans van de Hollandsche IJsselkering (naar 1/25.000) leidt tot een kleinere opgave. Uit de gevoeligheidsberekeningen blijken 3 van de 12 onderzochte dijkvakken niet te voldoen. Dit betreft alle drie vakken met een type I oplossing.
- Semi-probabilistisch worden van de 12 onderzochte vakken er 2 dijkvakken goedgekeurd. De probabilistische analyse leidt tot 4 goedgekeurde dijkvakken (van de 12 doorgerekende dijkvakken). De combinatie probabilistische analyse met bewezen sterkte zonder overslag leidt tot 7 goedgekeurde dijkvakken. Hierbij valt op dat in dat geval:
 - 5 van de 7 vakken voldoen met grond/type II oplossing als versterkingsmaatregel;
 - 2 van de 7 vakken voldoet met type I als versterkingsmaatregel;
- Het aanvullend verlagen van de faalkans van de HIJK van 1/2.000 naar 1/25.000 leidt tot nog 2 extra goedgekeurde dijkvakken. Het aanpassen van de faalkans naar 1/25.000 resulteert dus in verdere reductie maar niet het volledig verdwijnen van de opgave voor STBI.
- De POV-M vindt probabilistisch gemiddeld lagere faalkansen dan de analyses uit dit rapport bij afgekeurde dijkvakken. De studie uitgevoerd door KIJK leidt echter tot één extra goedgekeurd dijkvak (van de elf dijkvakken die te matchen zijn).
- Een doorvertaling maken van probabilistische resultaten o.b.v. de semi-probabilistische resultaten van dijkvakken die niet probabilistisch zijn doorgerekend leidt niet tot het goedkeuren van meer dijkvakken ten opzichte van de probabilistische berekeningen. Dit komt doordat de niet probabilistisch onderzochte dijkvakken over het algemeen een lagere stabiliteit hebben dan de wel onderzochte dijkvakken. De verwachting is dat deze ook onvoldoende stabiel blijven bij de meest optimistische instelling.¹
- Bij een gunstiger schematisatie van de waterspanningen als kleikern volgens het technisch rapport waterspanningen bij dijken verandert de veiligheidsopgave niet.¹

¹ Deze conclusies zijn nog op basis van de voorgaande versie van deze rapportage. In voorliggende versie zijn de analyses waar deze conclusies uit volgen nog niet aangepast o.b.v. toepassen bewezen sterkte volgens beschreven 'truncation methode' in paragraaf 2.10. Deze worden in de volgende versie aangepast.

5. Referenties

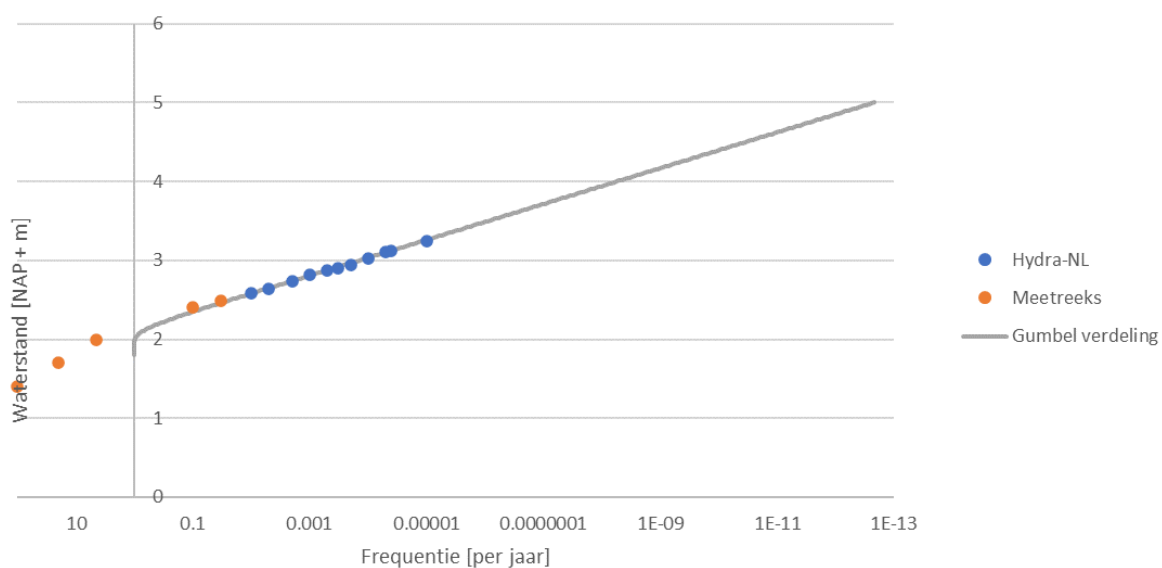
1. Deltares (2016), Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating, Groene versie - Macrostablieit Binnenwaarts. 11200575-014
2. Actuele sterkte – probabilistische stabiliteitsanalyses - Project Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard, Cor Bisschop, Mark v.d. Krogt, Ana, Teixeira (oktober 2017). Documentnummer: D2017-07-000340
3. Notitie Ontwerpeisen, kaders en uitgangspunten DO, Hoogheemraadschap van Schrieland en Krimpenerwaard, 26 augustus 2022. Definitief 5.0
4. Notitie Afleiding POP op basis van sonderingen, KIGO (2022)
5. POVM Beter benutten actuele sterkte KIJK Activiteit 6 – Faalkans updating 3 cases, POV-M (2017). Kenmerk: 1230804-002-GEO-0002
6. Derivation of the semi-probabilistic safety assessment rule for inner slope stability; Calibration STBI 2016, W. Kanning, A. Teixeira, M. van der Krogt, K. Rippi (2017), referentie 1230086-009-GEO-0030

Bijlage I: Hydraulische randvoorwaarden

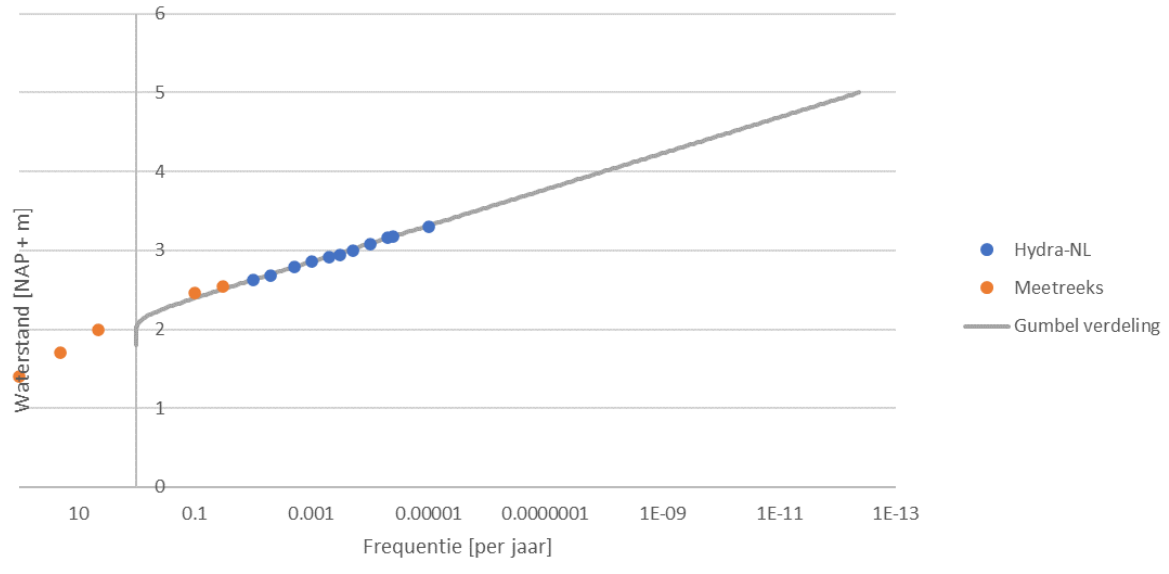
Dijkvak	HIJK faalkans 1:2.000		HIJK faalkans 1:25.000	
	α	β	α	β
A	2,13	0,10	2,28	0,06
B	2,17	0,10	2,33	0,06
C	2,15	0,10	2,32	0,06
D	2,20	0,10	2,37	0,06
E	2,18	0,10	2,35	0,06
G	2,20	0,10	2,40	0,06
I1	2,20	0,10	2,40	0,05
J	2,19	0,10	2,40	0,05
M2	2,20	0,10	2,42	0,05
M3	2,19	0,10	2,42	0,05
U1	2,25	0,10	2,48	0,05
V	2,23	0,10	2,45	0,05

Onderstaand is de fit weergegeven voor de HIJK faalkans 1:2.000.

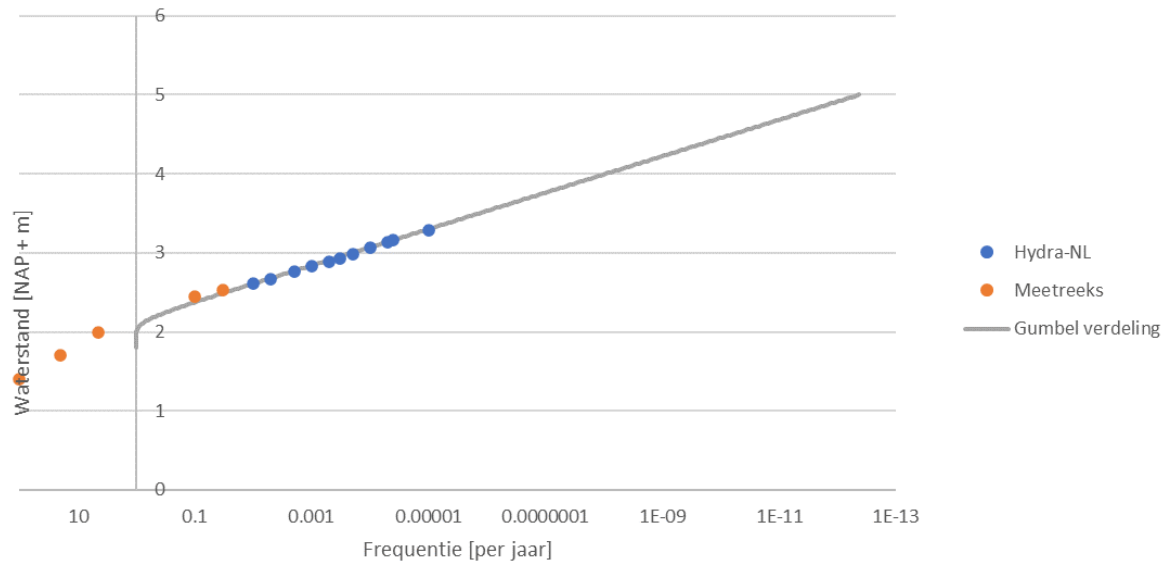
Dijkvak A



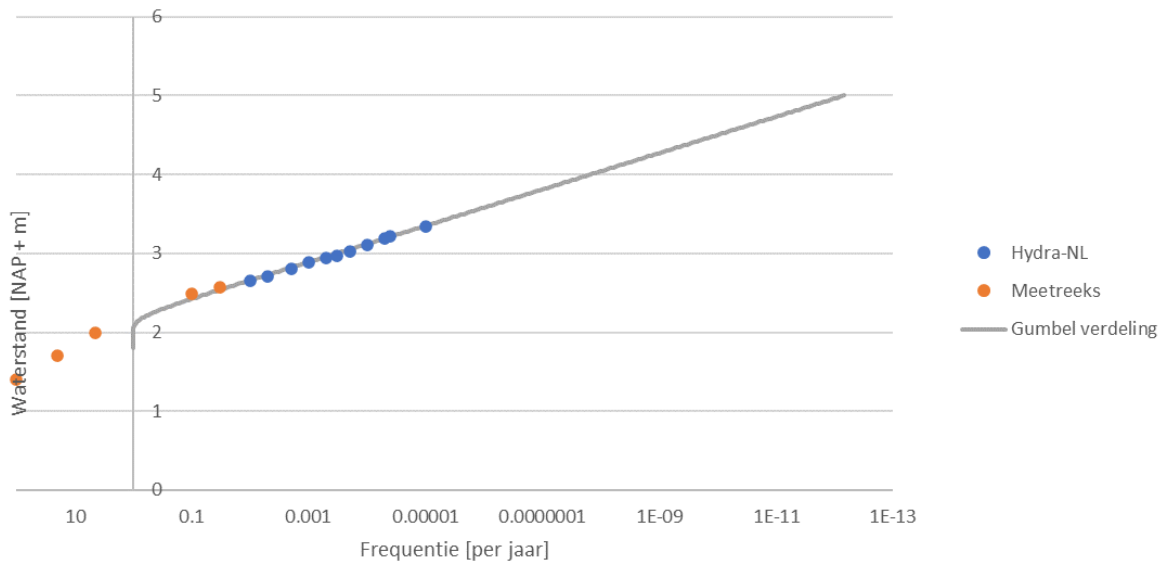
Dijkvak B



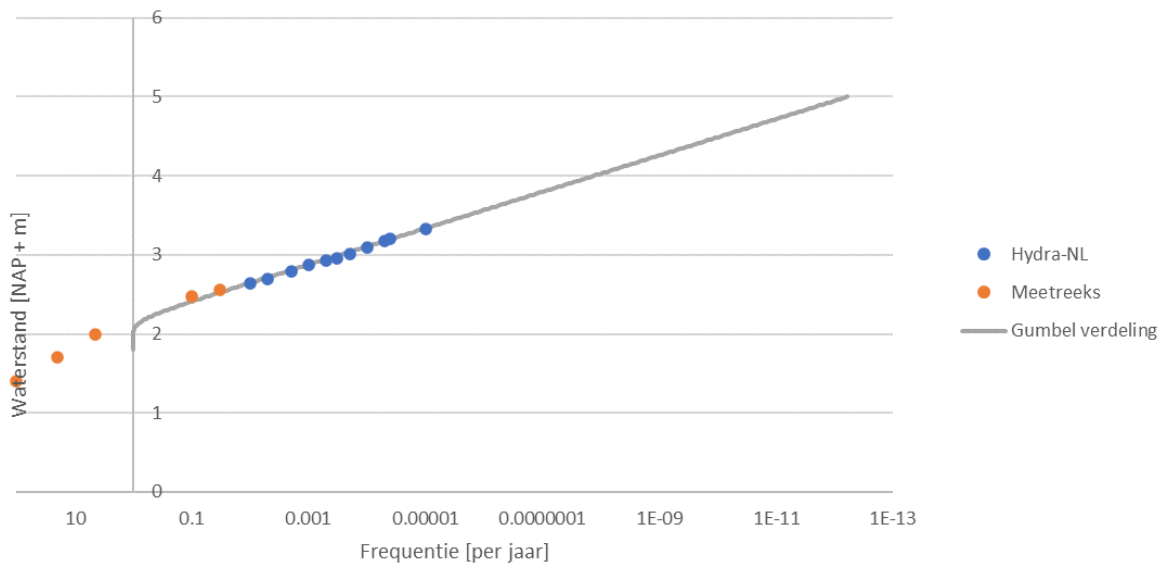
Dijkvak C



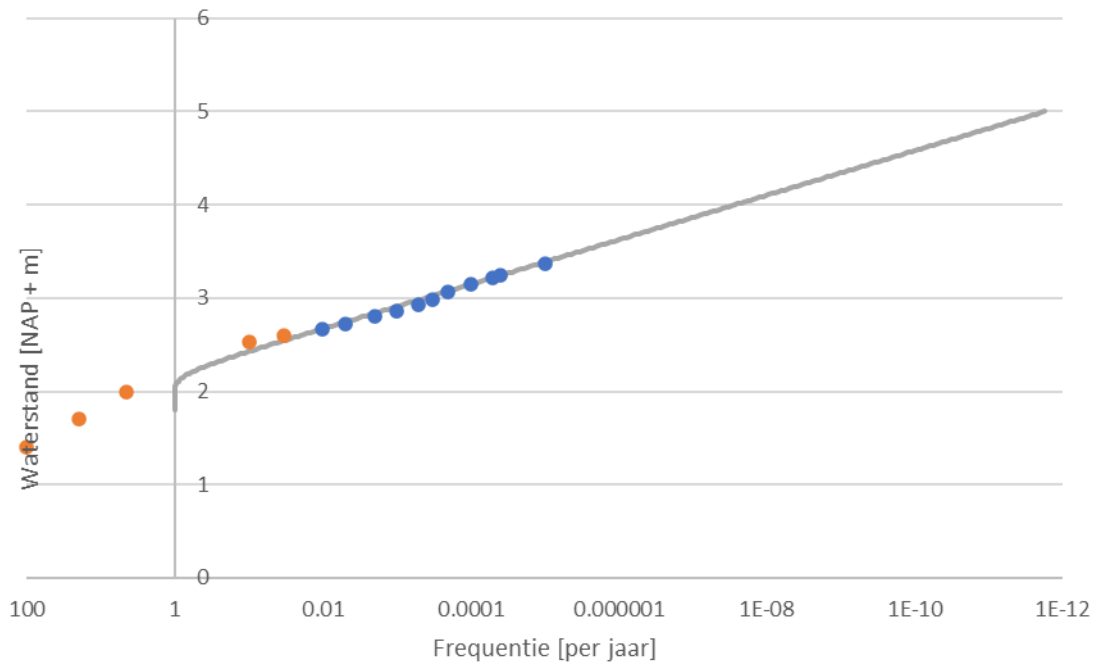
Dijkvak D



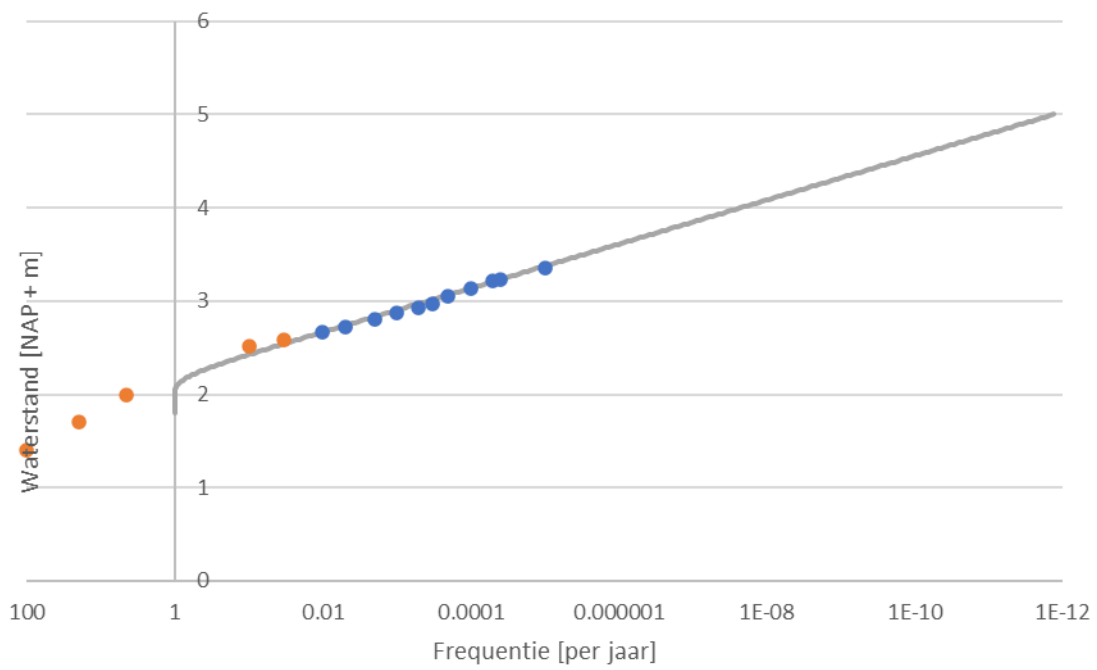
Dijkvak E



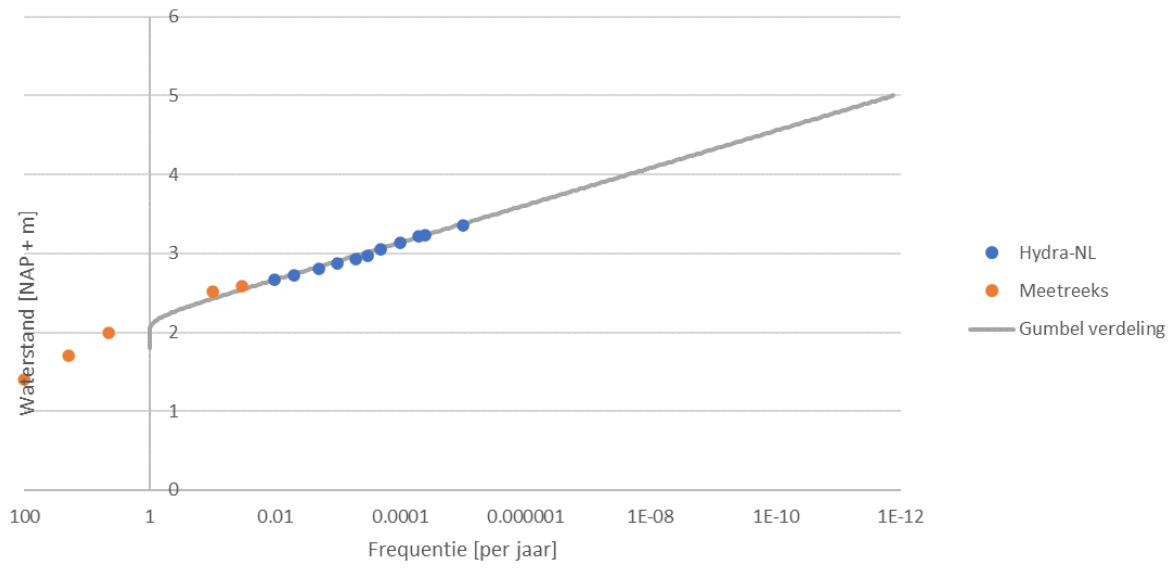
Dijkvak G



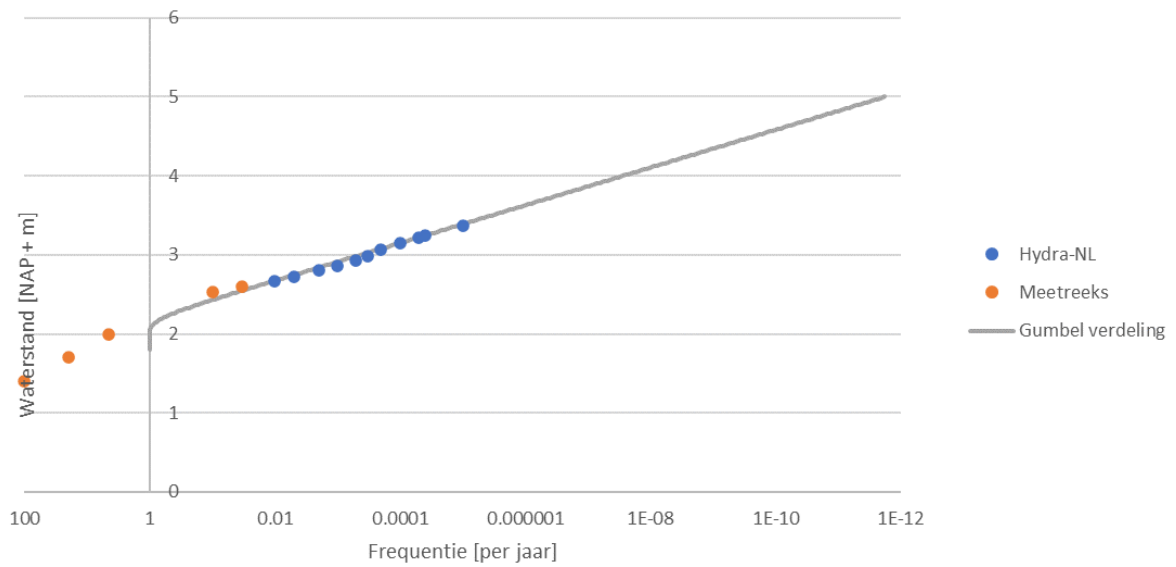
Dijkvak I1



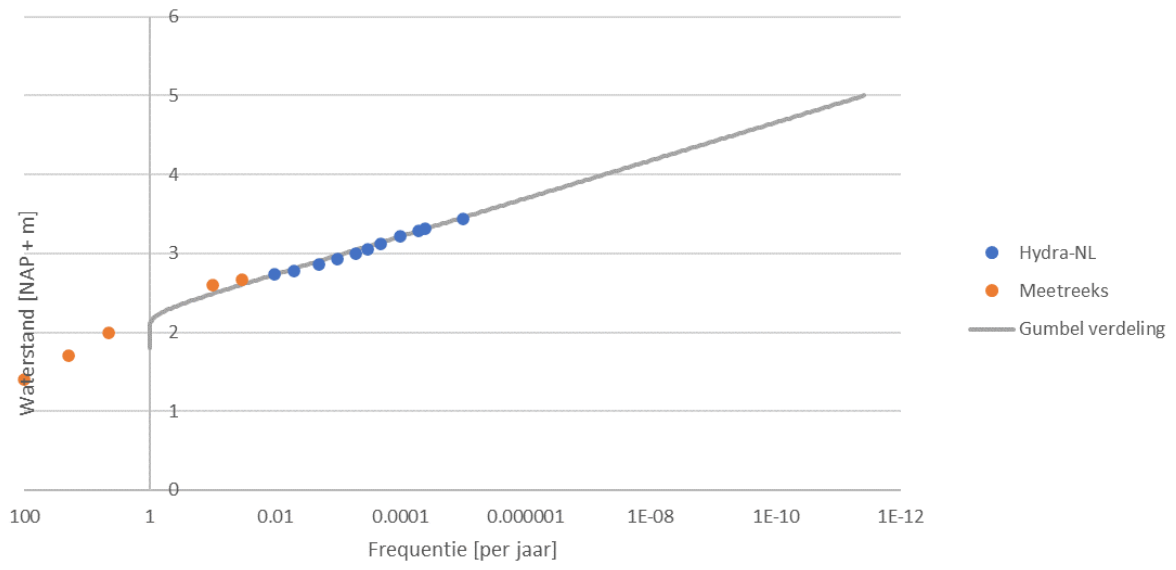
Dijkvak J



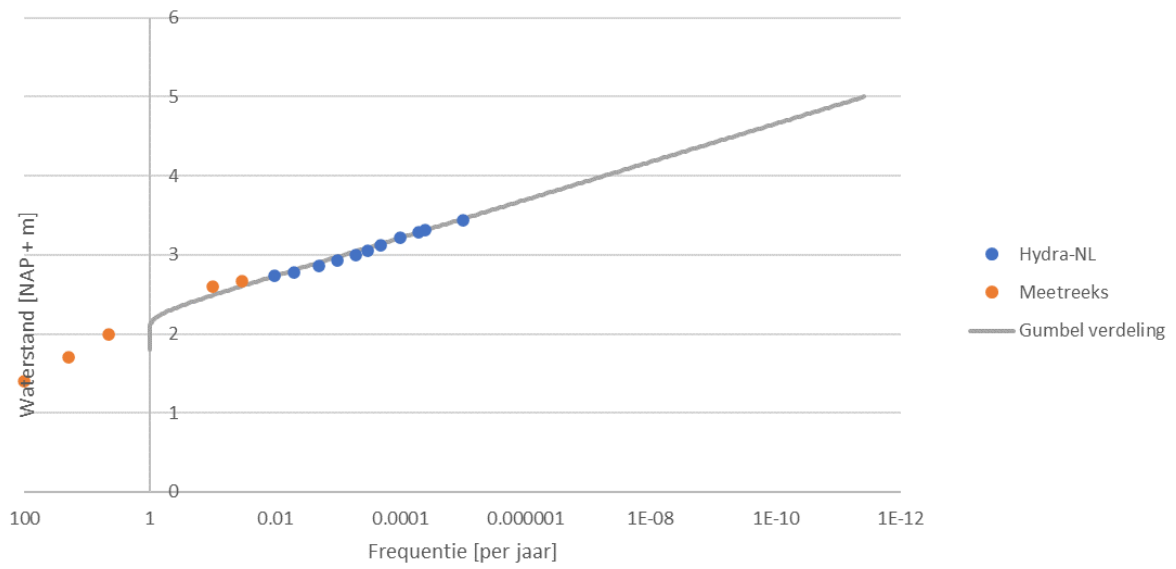
Dijkvak M2



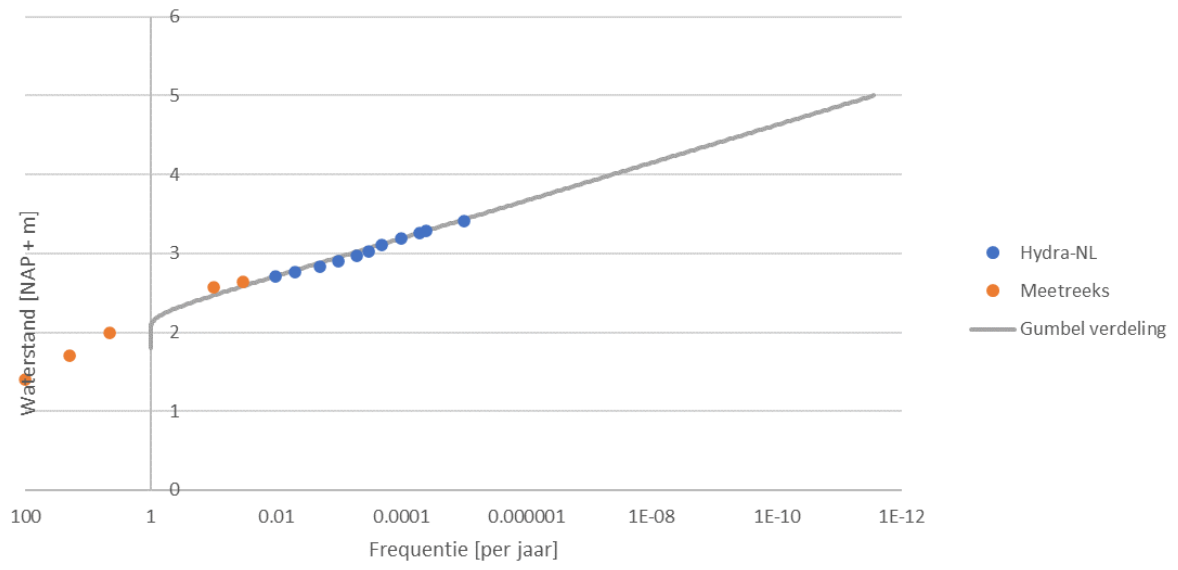
Dijkvak M3



Dijkvak U1



Dijkvak V



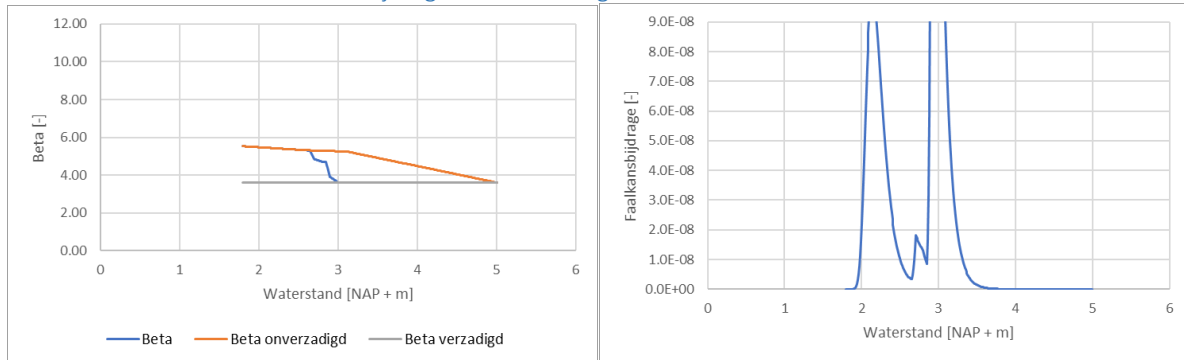
Bijlage II: Probabilistische analyses

In deze bijlage zijn de conditionele faalkans $[\beta]$ en faalkansbijdrage $[-]$ uitgezet tegen de buitenwaterstand. Hierbij is de HIJK faalkans (FK) 1:2.000 en 1:25.000 beschouwd, in beide gevallen met- en zonder overslag. Om de grootte van de bijlage te beperken zijn dijkvakken A, J en M3 gepresenteerd.

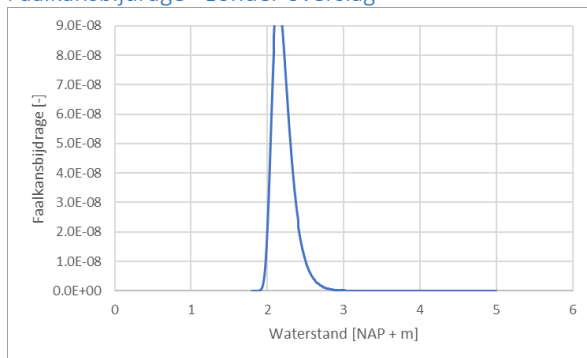
Dijkvak A

HIJK FK 1:2.000

Conditionele faalkans en faalkansbijdrage - met overslag

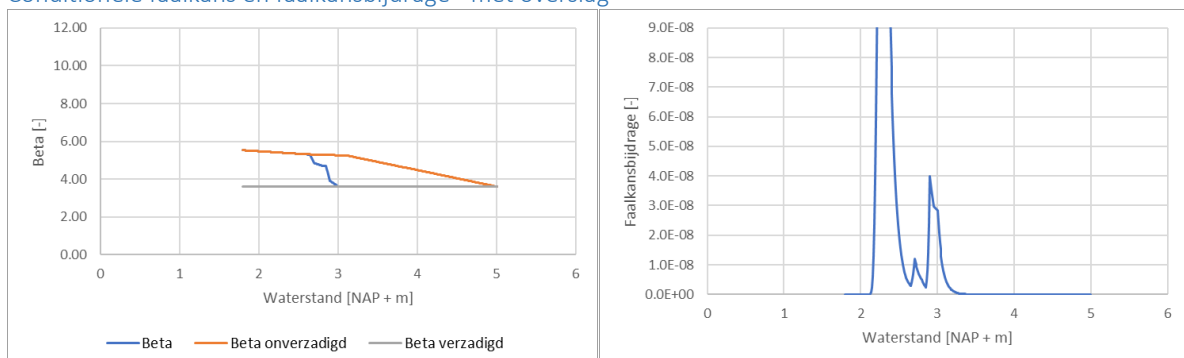


Faalkansbijdrage - zonder overslag

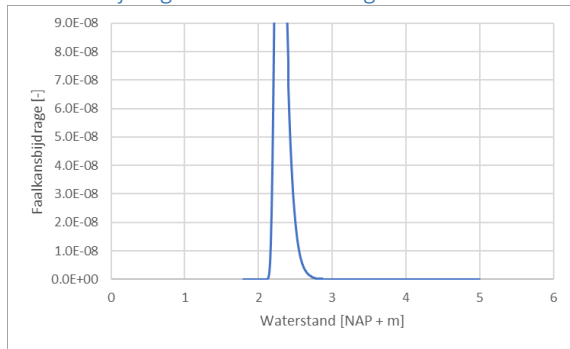


HIJK FK 1:25.000

Conditionele faalkans en faalkansbijdrage - met overslag



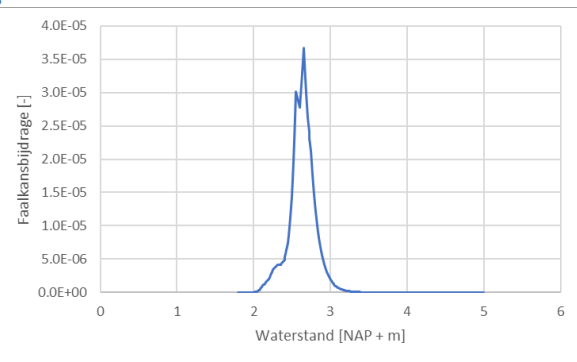
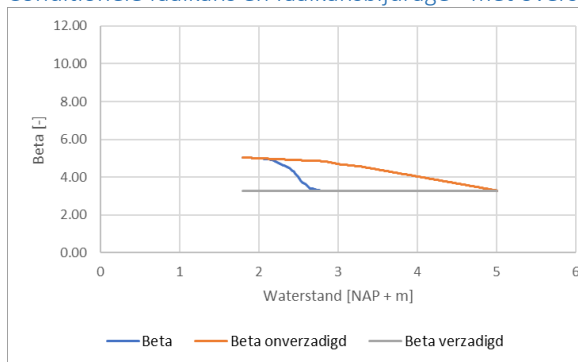
Faalkansbijdrage - zonder overslag



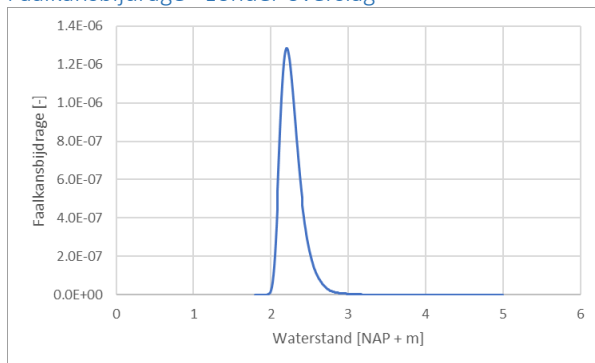
Dijkvak J

HIJK FK 1:2.000

Conditionele faalkans en faalkansbijdrage - met overslag

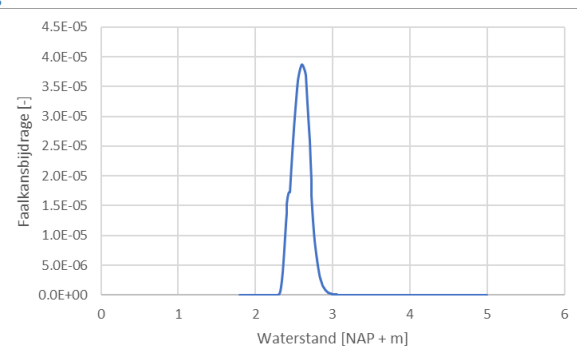
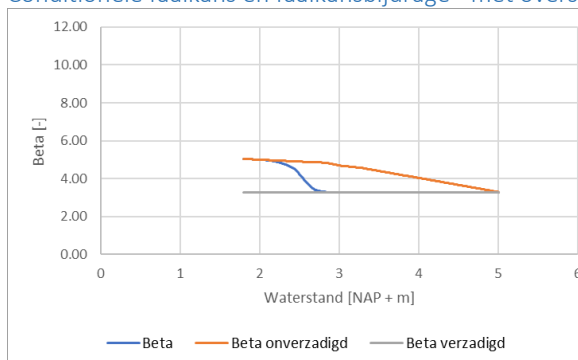


Faalkansbijdrage - zonder overslag

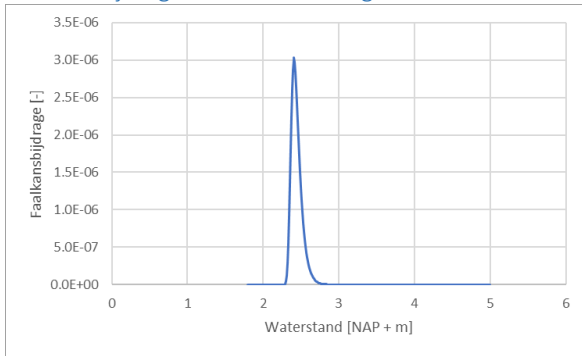


HIJK FK 1:25.000

Conditionele faalkans en faalkansbijdrage - met overslag



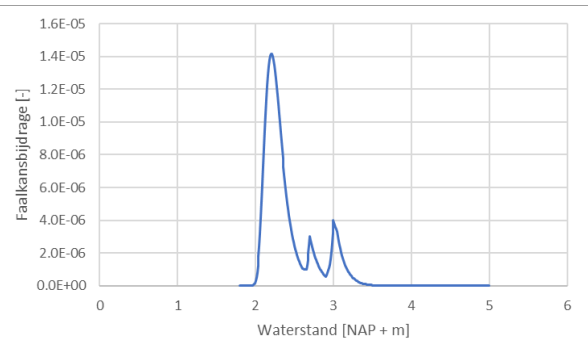
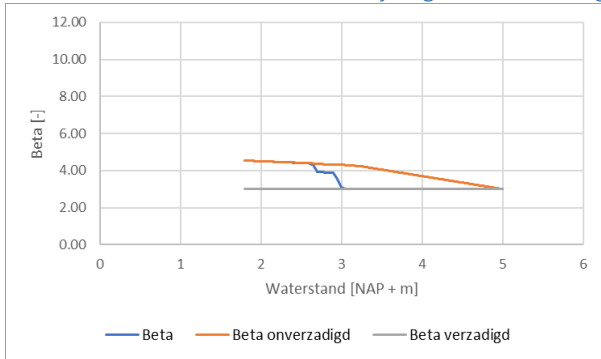
Faalkansbijdrage - zonder overslag



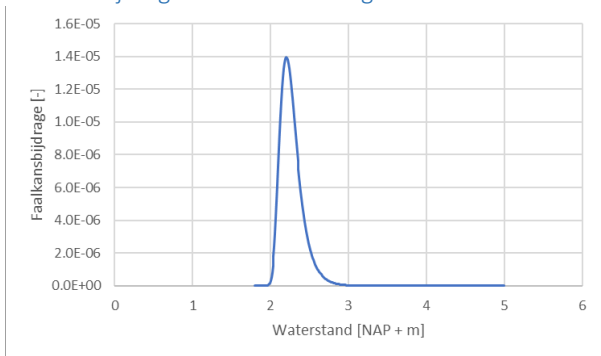
Dijkvak M3

HIJK FK 1:2.000

Conditionele faalkans en faalkansbijdrage - met overslag

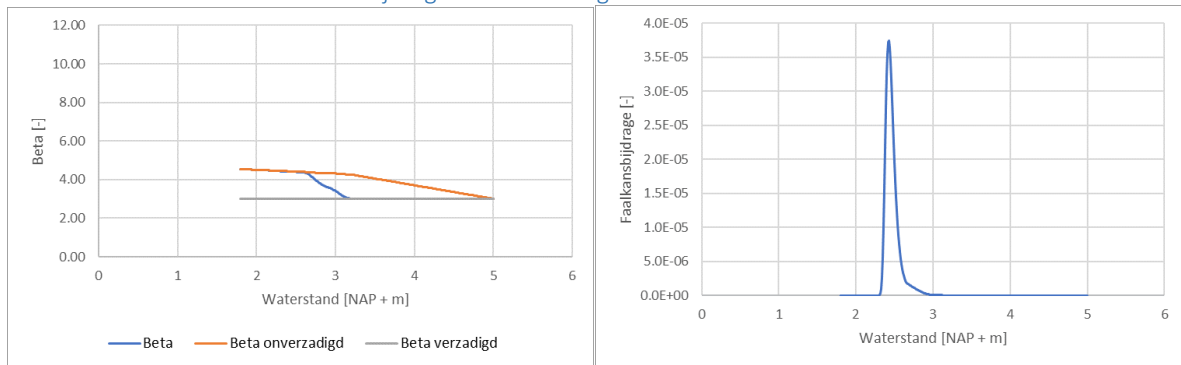


Faalkansbijdrage - zonder overslag

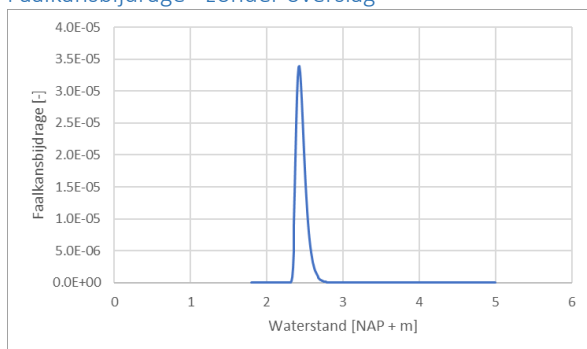


HIJK FK 1:25.000

Conditionele faalkans en faalkansbijdrage - met overslag



Faalkansbijdrage - zonder overslag



Resultaten probabilistische gevoeligheidsanalyses

De resultaten van de aanscherping faalkans HIJK naar 1:25.000 is weergegeven Tabel 0-1 voor het scenario zonder kans waterbezwaar op de Hollandsche IJssel.

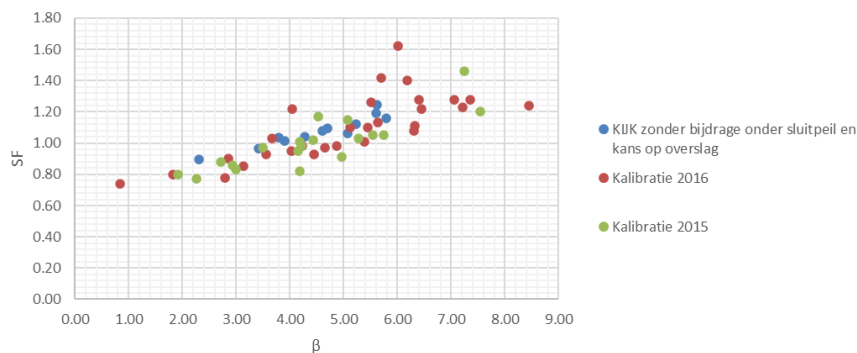
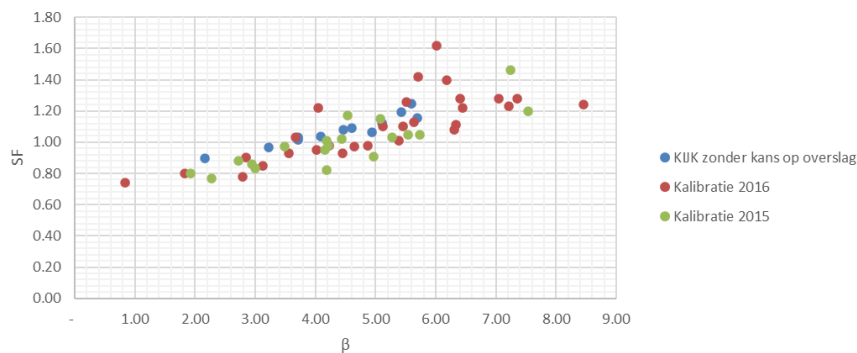
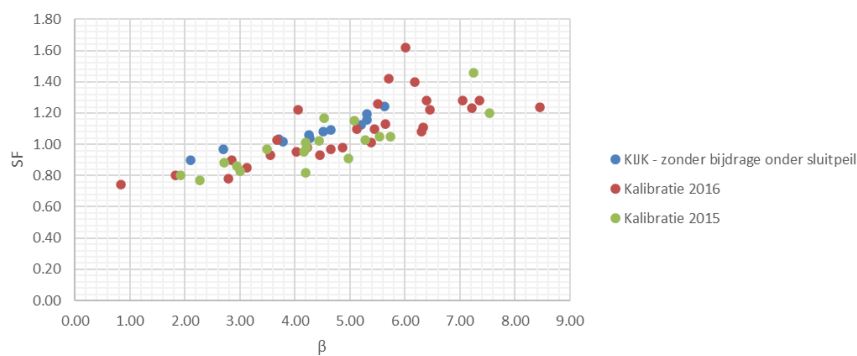
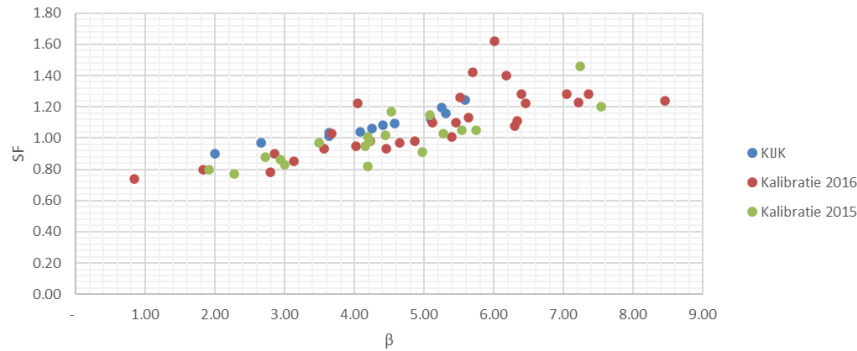
Tabel 0-1, Resultaten probabilistische analyses bij faalkans HIJK 1:25.000 - zonder waterbezwaar

Dijkvak	SF - WBN	β - prob	β -prob zonder bijdrage onder NAP +2,2 m sluitpeil	β -prob zonder kans op overslag	β -prob zonder overslag en bijdrage onder NAP +2,2 m sluitpeil
A	1,27	5,41	5,86	5,42	6,00
B	1,10	4,09	4,98	4,09	4,98
D	1,16	4,64	5,15	4,64	5,17
G	1,19	5,11	5,95	5,11	6,01
I1	1,23	5,64	5,82	5,68	5,96
M3	1,15	4,46	5,16	4,47	5,27
Aantal dijkvakken dat voldoet	1	3	6	3	6
C	1,10	3,66	4,13	3,72	4,51
E	1,08	3,65	4,32	3,71	4,83
J	1,13	4,87	5,14	4,96	5,65
M2	1,03	3,02	3,23	3,22	3,92
U1	0,95	2,16	3,49	2,17	3,83
V	1,32	5,69	5,90	5,70	5,92
Aantal dijkvakken dat voldoet	1	2	2	2	3

Bijlage III: Vergelijking kalibratiestudies

Deze bijlage is in voorliggende versie nog niet aangepast o.b.v. toepassen bewezen sterkte volgens beschreven 'truncation methode' in paragraaf 2.10. Deze worden in de volgende versie aangepast.

De resultaten van de probabilistische analyses zijn uitgezet tegen de kalibratiestudies van het WBI 2017 uitgevoerd in 2015 en 2016 [ref. 6]. Uit de vergelijkingen blijkt dat de uitgevoerde analyses binnen de puntenwolk van de kalibratiestudies valt.



Bijlage IV: Doorvertaling naar overige vakken

Deze bijlage is in voorliggende versie nog niet aangepast o.b.v. toepassen bewezen sterkte volgens beschreven 'truncation methode' in paragraaf 2.10. Deze worden in de volgende versie aangepast.

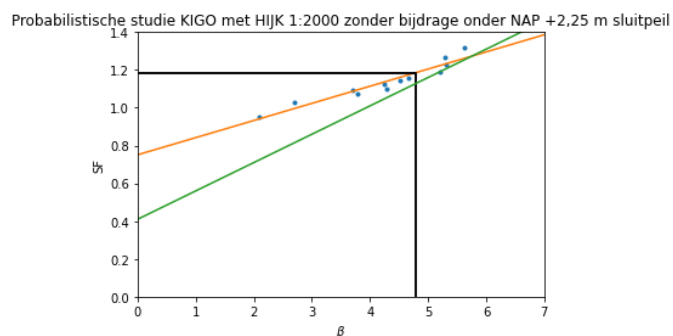
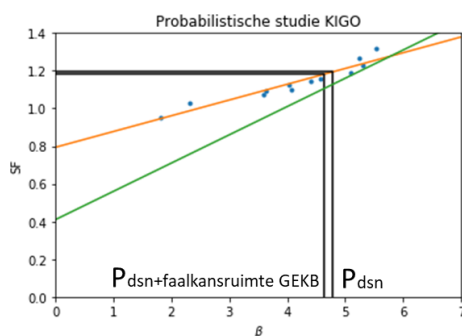
In onderstaande tabel is de semi-probabilistische stabiliteitsfactor (SF) gepresenteerd voor drie verschillende POP waarden in het achterland. Enkele dijkvakken zijn doorgerekend met meerdere grondopbouwen, dit is aangegeven met OS <letter>. In de onderstaande tabel zijn enkel de conservatieve grondopbouwen gepresenteerd.

Dijkvak	SF - WBI	SF - 24.1 kPa	SF - Sondering POP
Dijkvak A	1,24	1,30	1,24
Dijkvak B	0,97	1,06	1,06
Dijkvak C	1,11	1,11	1,11
Dijkvak D	1,20	1,20	1,20
Dijkvak E	1,10	1,10	1,10
Dijkvak F (OS B)		0,97	0,83
Dijkvak G	1,10	1,20	1,10
Dijkvak H (OS B)		1,08	1,02
Dijkvak I1	1,22	1,23	1,23
Dijkvak J (OS B)		1,10	1,10
Dijkvak K1	1,09	1,25	1,18
Dijkvak K2	0,81	0,94	0,89
Dijkvak L	0,79	0,96	0,93
Dijkvak M1 (OS A)	0,94	1,10	1,10
Dijkvak M2 (OS A)	0,82	0,96	0,97
Dijkvak M3	1,16	1,22	1,16
Dijkvak N	0,81	0,99	0,95
Dijkvak O1	0,90	0,91	0,90
Dijkvak O2	0,92	1,09	1,04
Dijkvak Q	0,82	0,97	0,97
Dijkvak R (OS A)	0,71	0,89	0,72
Dijkvak S	0,87	1,00	1,00
Dijkvak T (OS B)		1,03	1,03
Dijkvak U1	0,75	0,91	0,80
Dijkvak U2	0,94	1,01	1,01

Dijkvak V (OS A)	1,22	1,29	1,30
------------------	------	------	------

Gevoeligheidsanalyse faalkansverruiming

Aangezien overslag niet leidt tot significant andere oordelen is op basis van de probabilistische analyses is een fit gemaakt voor de probabilistische resultaten met- en zonder bijdrage onder sluitpeil van NAP +2,25 m. Daarbij is ook gekeken naar een grotere faalkansruimte voor STBI, door de ruimte van GEKB toe te voegen. Dit is gedaan voor de faalkans van de HJK van 1:2.000 en 1:25.000. De fits zijn gepresenteerd in onderstaande figuren. De groene lijn is de WBI fit ter referentie. De resultaten van de probabilistische analyse laten zien dat de resultaten van KIGO relatief veel aan de 'onveilige kant' van de WBI fit liggen. De trend van de KIGO resultaten zonder bijdrage onder sluitpeil ligt bij de lagere beta's namelijk boven de WBI fit. Door de horizontale trend bij de resultaten zonder bijdrage onder sluitpeil doet de faalkansverruiming weinig. Door bewezen sterkte onder sluitpeil is er een iets sterker effect van de faalkansverruiming.



De beschouwde scenario's zijn hiermee:

Scenario	Schadefactor prob. rekenen	SF-eis
Huidige norm (gele lijn linker figuur)	1,19	1,27
Huidige norm, grotere FKR en prob rekenen	1,18	1,25
Huidige norm - zonder bijdrage onder sluitpeil	1,18	1,26

De doorvertaling van de semi-probabilistische analyses is gemaakt voor de scenario's waarvoor een SF-eis is afgeleid. Het resultaat van de analyse is weergegeven in de onderstaande tabellen.

Tabel 0-1 Resultaten semi probabilistische inschatting 1:2.000 HIJK met gevoeligheid faalkansverruiming GEKB

Dijkvak	Lengte dijkvak	SF_WBN Sondering POP	Probabilistisch huidige norm	Probabilistisch gefit op semi- probabilistisch nulvariant sommen bij huidige norm	Probabilistisch gefit op semi-probabilistisch nulvariant sommen bij huidige norm met ruimere FKR	Probabilistisch gefit op semi-probabilistisch nulvariant sommen bij huidige norm zonder bijdrage onder sluitpeil NAP +2,25 m
Dijkvak A	30	1,24	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak B	248	1,06		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak C	358	1,11		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak D	100	1,20		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak E	348	1,10		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak F (OS B)	332	0,83		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak G	115	1,10	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak H (OS B)	559	1,02		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak I1	82	1,23	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak J (OS B)	321	1,10		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak K1	159	1,18		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak K2	205	0,89		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak L	110	0,93		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak M1 (OS A)	321	1,10		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet

Dijkvak	Lengte dijkvak	SF_WBN Sondering POP	Probabilistisch huidige norm	Probabilistisch gefit op semi- probabilistisch nulvariant sommen bij huidige norm	Probabilistisch gefit op semi-probabilistisch nulvariant sommen bij huidige norm met ruimere FKR	Probabilistisch gefit op semi-probabilistisch nulvariant sommen bij huidige norm zonder bijdrage onder sluitpeil NAP +2,25 m
Dijkvak M2 (OS B)	1602	0,95		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak M3	175	1,16		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak N	129	0,95		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak O1	311	0,90		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak O2	527	1,04		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak Q	158	0,97		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak R (OS B)	136	0,70		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak S	300	1,00		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak T (OS B)	175	1,03		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak U1	786	0,80		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak U2	135	1,01		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak V (OS A)	227	1,30	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
Aantal goedgekeurde dijkvakken			4	1	1	1
Percentage goedgekeurde dijkvakken			10%	3%	3%	3%
Goedgekeurde dijkvakken [m]			453	227	227	227
Percentage goedgekeurde dijkvakken obv lengte			4%	2%	2%	2%
Totaal percentage geen ontwerp*			28%	26%	26%	26%

*inclusief dijkvakken waar reeds geen opgave is

Gevoeligheidsanalyse sluiting HIJK

In onderstaande tabellen zijn de tabellen uit paragraaf 3.1 en Bijlage II uitgebreid met de vergelijking van de nieuw gefitte faalkanseisen op basis van de probabilistische resultaten en deze doorvertaald naar de semi probabilistische resultaten. Daarbij is aangegeven bij ieder dijkvak of deze wel of niet voldoet.

HIJK 1:2.000

Tabel 0-2 SF fit 1:2.000

Scenario	Schadefactor prob. rekenen	SF-eis
prob	1,19	1,26
prob zonder bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil	1,18	1,26
prob zonder kans op overslag	1,17	1,25
prob zonder overslag en bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil	1,16	1,23

Tabel 0-3 Resultaten semi probabilistische inschatting 1:2.000

Dijkvak	Lengte dijkvak	SF_WBN Sondering POP	SF prob	SF prob zonder bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil	SF prob zonder kans op overslag	SF prob zonder overslag en bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil
Dijkvak A	30	1,24	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet
Dijkvak B	248	1,06	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak C	358	1,11	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak D	100	1,20	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak E	348	1,10	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet

Dijkvak	Lengte dijkvak	SF_WBN Sondering POP	SF prob	SF prob zonder bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil	SF prob zonder kans op overslag	SF prob zonder overslag en bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil
Dijkvak F (OS B)	332	0,83	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak G	115	1,10	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak H (OS B)	559	1,02	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak I1	82	1,23	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet
Dijkvak J (OS B)	321	1,10	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak K1	159	1,18	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak K2	205	0,89	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak L	110	0,93	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak M1 (OS A)	321	1,10	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak M2 (OS B)	1602	0,95	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak M3	175	1,16	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak N	129	0,95	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak O1	311	0,90	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak O2	527	1,04	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak Q	158	0,97	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak R (OS B)	136	0,70	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak S	300	1,00	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak T (OS B)	175	1,03	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak U1	786	0,80	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak U2	135	1,01	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet

Dijkvak	Lengte dijkvak	SF_WBN Sondering POP	SF prob	SF prob zonder bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil	SF prob zonder kans op overslag	SF prob zonder overslag en bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil
Dijkvak V (OS A)	227	1,30	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
Aantal goedgekeurde dijkvakken			1	1	1	3
Percentage goedgekeurde dijkvakken			3%	3%	3%	8%
Goedgekeurde dijkvakken [m]			227	227	227	339
Percentage goedgekeurde dijkvakken obv lengte			2%	2%	2%	3%
Totaal percentage geen ontwerp*			26%	26%	26%	27%

*inclusief dijkvakken waar reeds geen opgave is

HIJK 1:25.000 zonder waterbezwaar

Tabel 0-4 SF fit 1:25.000 HIJK zonder waterbezwaar

Scenario	Schadefactor prob. rekenen	SF-eis
Prob	1,18	1,25
prob zonder bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil	1,16	1,23
prob zonder kans op overslag	1,17	1,24
prob zonder overslag en bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil	1,15	1,22

Tabel 0-5 Resultaten semi probabilistische inschatting 1:25.000 HIJK zonder waterbezwaar

Dijkvak	Lengte dijkvak	SF_WBN Sondering POP	SF prob	SF prob zonder bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil	SF prob zonder kans op overslag	SF prob zonder overslag en bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil
Dijkvak A	30	1,24		Voldoet	Voldoet niet	Voldoet
Dijkvak B	248	1,06		Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak C	358	1,11	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak D	100	1,20	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak E	348	1,10	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak F (OS B)	332	0,83	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak G	115	1,10	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak H (OS B)	559	1,02	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak I1	82	1,23	Voldoet niet	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet
Dijkvak J (OS B)	321	1,10	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak K1	159	1,18	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak K2	205	0,89	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak L	110	0,93	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak M1 (OS A)	321	1,10	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak M2 (OS B)	1602	0,95	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak M3	175	1,16	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak N	129	0,95	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak O1	311	0,90	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak O2	527	1,04	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet

Dijkvak	Lengte dijkvak	SF_WBN Sondering POP	SF prob	SF prob zonder bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil	SF prob zonder kans op overslag	SF prob zonder overslag en bijdrage onder NAP +2,25 m sluitpeil
Dijkvak Q	158	0,97	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak R (OS B)	136	0,70	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak S	300	1,00	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak T (OS B)	175	1,03	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak U1	786	0,80	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak U2	135	1,01	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet	Voldoet niet
Dijkvak V (OS A)	227	1,30	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
Aantal goedgekeurde dijkvakken			1	3	1	3
Percentage goedgekeurde dijkvakken			3%	8%	3%	8%
Goedgekeurde dijkvakken [m]			227	339	227	339
Percentage goedgekeurde dijkvakken obv lengte			2%	3%	2%	3%
Totaal percentage geen ontwerp*			26%	27%	26%	27%

*inclusief dijkvakken waar reeds geen opgave is