

# Probabilistische kruinhoogtebepaling

Graserosie kruin en binnentalud, Ontwerploop 2,  
Verkenning IJsselmeerdijk

Opdrachtgever





# Probabilistische kruinhoogtebepaling

---

Graserosie kruin en binnentalud, Ontwerploop 2,  
Verkenning IJsselmeerdijk

Memo

**Auteur**

M. Huis in 't Veld  
G. Rongen  
R. Nicolai

**Reviewers**

D. de Bake  
S. Post

**Vrijgave**

O.E. Nieuwenhuis





# Inhoud

<b>1</b>	<b>Aanleiding en doel</b>	<b>7</b>
1.1	Ontwerploop 2, probabilistisch ontwerpen	7
1.2	Doel memo	8
1.3	Leeswijzer	8
<b>2</b>	<b>Plangebied</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Resultaten GEBU-GEKB, april 2021</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Uitgangspunten GEKB berekeningen aug '21.</b>	<b>13</b>
4.1	Dijkvakken	13
4.2	Dijkprofielvariaties	14
4.3	Sterkteparameters GEKB	18
4.4	Hydraulische database	18
4.5	Eis doorsnede	19
4.6	Probabilistische berekeningen	20
<b>5</b>	<b>Resultaten GEKB berekeningen</b>	<b>24</b>
5.1	Model Deltares	24
5.2	Vergelijk met Riskeer en model HKV	25
5.3	Conclusies gebruik nieuwe GEKB model	27
5.4	Vertaling naar kruinhoogtes voor kansrijke alternatieven	28
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>31</b>



# 1 Aanleiding en doel

## 1.1 Ontwerploop 2, probabilistisch ontwerpen

Binnen Ontwerploop 2 van de Verkenning IJsselmeerdijk 8-3 is besloten tot het gebruik van een nieuw probabilistisch model voor graserosie, ontwikkeld door Deltares (Smale A., 2021), in opdracht van waterschap Zuiderzeeland. Het doel is om in Ontwerploop 2 met dit probabilistische model de dimensies van de kansrijke alternatieven, zoals beschreven in de Nota Kansrijke Alternatieven (BH5290-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0015\_IJMD Notitie KA\_290621\_C03), aan te scherpen. Met het model kan gecombineerd gerekend worden aan graserosie buitentalud (GEBU) en kruin- en binnentalud (GEKB). Het model is beschreven in rapport Probabilistisch beoordelen en ontwerpen grasbekleding (11206202-002-HYE-0001\_v1.0, 12 juli 2021) en gevat in een plug-in voor HydraRing (CombinedGEKBandGEBU\_v1.1\_i686.dll).

In april 2021 is met dit model een eerste set berekeningen gemaakt en zijn de resultaten vergeleken met een vergelijkbaar model dat bij HKV wordt ontwikkeld (*memo GEBU-GEKB probabilistische berekeningen Verkenning IJsselmeerdijk 8-3, augustus 2021*). De resultaten van de gecombineerde GEBU-GEKB berekeningen wekten helaas onvoldoende vertrouwen om nu al over te stappen op deze nieuwe aanpak met de twee gecombineerde graserosie-mechanismen. Zo blijkt de gevoeligheid voor de helling van het ondertalud (1:4 versus 1:5) erg groot. De resultaten lieten grote verschillen zien bij -gevoelsmatig- beperkte wijzigingen in de invoer, waarbij nadrukkelijk niet gezegd is dat deze resultaten fout zijn. In het project is het echter essentieel dat er voldoende vertrouwen bestaat in de nieuwe rekenmethode. Temeer omdat de huidige vigerende ontwerpformules voor Graserosie Buitentalud (GEBU) na recent uitgevoerd onderzoek spoedig zullen wijzigen, is begin september 2021 besloten verder te gaan met het Deltares model, echter nu alleen met Graserosie Kruin- en Binnentalud (GEKB). Graserosie Buitentalud (GEBU) is dus -tot nader orde- weer 'losgekoppeld'.

De IJsselmeerdijk is het eerste dijkversterkingsproject waarbij het nieuwe model van Deltares in het ontwerp wordt toegepast. Het model bevat geen nieuwe inzichten t.a.v. het falen van het gras, maar de geïmplementeerde rekenkundige benadering is wél nieuw. Dat betekent dat de resultaten afwijken van eerdere resultaten uit Ontwerploop 1 (semi-probabilistische HBN berekeningen) en ook verschillen met probabilistische GEKB berekeningen met Riskeer (methode beoordeling) zullen optreden.

## 1.2 Doel memo

Voorliggend memo beschrijft de wijze waarop een set probabilistische GEKB-berekeningen -dus zonder GEBU- is gemaakt voor de IJsselmeerdijk met het Deltares model (orde 15.000 berekeningen) en een set van 720 berekeningen met zowel Riskeer als het bij HKV ontwikkelde model, ter controle van de berekeningen met het Deltares model. Op basis van de uitgevoerde berekeningen en bijbehorende memo worden de benodigde kruinhoogtes van de kansrijke alternatieven in ontwerploop 2 bepaald.

## 1.3 Leeswijzer

Het plangebied is beknopt beschreven in hoofdstuk 2. De resultaten van de in april 2021 uitgevoerde analyse met het (gecombineerde) GEBU-GEKB model zijn beknopt beschreven in hoofdstuk 3. Uitgangspunten voor de GEKB-berekeningen staan in hoofdstuk 4. De resultaten zijn samengevat in hoofdstuk 5.



## 2 Plangebied

*Figuur 1  
Dijkvakindeling  
ontwerploop 2*



Figuur 1 toont de vakindeling welke wordt toegepast in ontwerploop 2 (Uitwerken van kansrijke alternatieven en kiezen voorkeursalternatief). Voor alle vakken zijn ontwerpberekeningen uitgevoerd. De dijk is in de basis te verdelen in twee deeltrajecten; een deeltraject met dijkvakken met grote strijklengtes over het IJsselmeer, ook wel 'de Meerdijk' genoemd, en een deeltraject wat beschermt achter de Houtribdijk, ook wel 'de Baaidijk' genoemd. Maatwerkvak A, B, C, D en dijkvak 1 t/m 3 vallen onder deeltraject Meerdijk, terwijl dijkvakken 4, 5 en Maatwerkvak E vallen onder deeltraject Baaidijk.

Voor deeltraject **Meerdijk** zijn de volgende kansrijke alternatieven geselecteerd:

- Binnenwaarts hoge dijk (voor dijkvak 1)
- Binnenwaarts met hoog overslagdebiet (voor dijkvak 2)
- Buitenwaarts hoge dijk (voor dijkvak 3)
- Vierkant hoge dijk (voor dijkvak 1,2 en 3)
- Voorlandoplossing (geleidelijk aflopend talud) (voor dijkvak 1,2 en 3)

Daarnaast worden de opties verhogen toelaatbaar golfoverslagdebiet en het verruimen van het boventalud nog als potentieel kansrijke opties gezien. Voor beide opties geldt dat er (grote) voordelen zijn, maar ook diverse nadelen zijn geïdentificeerd. In de tabel zijn de opties geel gemarkeerd.

Tabel 1 Samenvattende tabel keuze kansrijke alternatieven Meerdijk; groen is kansrijk, geel zijn alternatieven die opties bevatten die nader worden onderzocht in Ontwerploop 2 en rood zijn alternatieven die afvallen

	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	4.1a	4.1b	4.2
	Binnenwaarts hoge dijk	Binnenwaarts verruwing	Binnenwaarts hoog overslagdebiet	Buitenwaarts hoge dijk	Buitenwaarts verruwing	Buitenwaarts verflauwing	Buitenwaarts hoog overslagdebiet	Vierkant hoge dijk	Vierkant verruwing boventalud	Vierkant met verflauwing	Vooroever	Vooroever met geotube	Onderwaterf met kruinverhoging
Dijkvak 1	Geel	Geel	Geel	Rood	Rood	Rood	Rood	Geel	Geel	Rood	Geel	Geel	Rood
Dijkvak 2	Geel	Rood	Geel	Rood	Rood	Rood	Rood	Geel	Geel	Rood	Geel	Geel	Rood
Dijkvak 3	Rood	Rood	Rood	Geel	Geel	Rood	Geel	Geel	Geel	Rood	Geel	Geel	Rood

Voor deeltraject **Baaidijk** zijn de volgende kansrijke alternatieven gekozen:

- Binnenwaarts hoge dijk (voor dijkvak 4)
- Vierkant hoge dijk (voor dijkvak 5)
- Golfmuur met brede berm binnen profiel (voor dijkvak 4 en 5)

Daarnaast worden de opties verhogen toelaatbaar golfoverslagdebiet, het verruwen van het boventalud nog als potentieel kansrijke opties gezien. In de tabel zijn deze geel gemarkeerd.

Tabel 2 Samenvattende tabel keuze kansrijke alternatieven Baaidijk; groen is kansrijk, geel zijn alternatieven die opties bevatten die nader worden onderzocht in Ontwerploop 2 en rood zijn alternatieven die afvallen

	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	5.1	5.2	5.3
	Binnenwaarts hoge dijk met	Binnenwaarts hoge dijk zonder	Binnenwaarts verruwing	Binnenwaarts verflauwing	Buitenwaarts hoge dijk zonder	Buitenwaarts hoge dijk met	Buitenwaarts verflauwing	Vierkant met bermverhoging	Vierkant hoge dijk met verhoogde	Vierkant hoog overslagdebiet	Vooroever	Golfmuur met verhoogde berm	Golfmuur met extra hoge berm binnen	Vaste kering op de kruin
Dijkvak 4	Geel	Rood	Geel	Rood	Rood	Rood	Rood	Rood	Rood	Geel	Rood	Geel	Rood	Rood
Dijkvak 5	Rood	Rood	Rood	Rood	Rood	Rood	Rood	Geel	Rood	Geel	Rood	Geel	Rood	Rood

# 3 Resultaten GEBU-GEKB, april 2021

In april zijn eerste berekeningen gemaakt met het nieuwe Deltares model. Uitgangspunten en resultaten zijn gerapporteerd in *memo GEBU-GEKB probabilistische berekeningen Verkenning IJsselmeerdijk 8-3, augustus 2021*. De resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in Bijlage *overzichtsbestand GEBUGEKB\_Meerdijk\_Baaidijk\_Overzicht.xlsx*. Voor elke locatie zijn berekeningen gemaakt voor diverse combinaties van overgangshoogte en kruinhoogte.

De resultaten zijn het meest eenvoudig te raadplegen via het genoemde Excel-overzicht. Per locatie is te variëren met de helling van het ondertalud, de ruwheid van de harde bekleding, de erosiebestendigheid van de grasmat (standaard gesloten en wat slechter i.v.m. de aanwezigheid van overgangen, zonnepanelen/NWO's) en de faalkanseis. Het betreft de gele cellen (dropdown), zoals te zien in Figuur 2.

*Figuur 2  
Locatie D1\_1,  
invoerparameters*

D1_1	Ondertalud	Gamma hard	Gras scenario	Faalkanseis	Overgangshoogte	Kruinhoogte	Faalkans	convergentie
	0.25	0.8	GZ	60000	4.35	6.9	55507	1
	0.2	0.6	GZ	5000	3.6	5.4		
	0.25	0.8	Special (GZ)	10000	3.85	6.2		
		1		20000	4.1	6.4		
				30000	4.35	6.9		
				40000	4.6	7.4		
				50000	5.1			
				60000	5.6			
				70000	6.1			
				80000	6.6			
				90000				
				100000				

Het resultaat van de selectie is te zien in de naastgelegen tabel met alle combinaties van kruinhoogte en overgangshoogte. Wat opvalt is dat het model behoorlijk gevoelig lijkt voor variatie in taludhelling (ondertalud) en ruwheid. Door deze parameters te variëren schiet de opgave voor bepaalde locaties heen en weer. Van kruinhoogte-tekorten van 2 meter lijkt door een iets flauwer ondertalud ineens niets meer over. Dit roept vragen op; waardoor zijn deze ogenschijnlijk grote sprongen te verklaren? Zie ter indicatie Figuur 3 en Figuur 4.

*Figuur 3 Locatie D1\_1, resultaten met taludhelling 1:4*

	kruinhoogte				
overgangshoogte	5.4	6.2	6.4	6.9	7.4
3.6		33400	33642	33638	33571
3.85		39576	40056	40206	40113
4.1		46740	47225	47540	47461
4.35		54248	55043	55507	55383
4.6		64006	64896	65601	65537
5.1		100380			
5.6					
6.1					
6.6			639770		

*Figuur 4 Locatie D1\_1, resultaten met taludhelling 1:5*

	kruinhoogte				
overgangshoogte	5.4	6.2	6.4	6.9	7.4
3.6	139490				
3.85	165590				
4.1	195430				
4.35	225870				
4.6	257210				
5.1	329210				
5.6					
6.1					
6.6			2995400		

Daarnaast wordt aangenomen dat de huidige vigerende rekenregels voor GEBU conservatief zijn; recente inzichten uit de deltagoot zullen spoedig leiden tot nieuwe rekenregels. De huidige rekenregels leiden doorgaans -zelfs met meer faalkansruimte door GEBU en GEKB te combineren- tot een harde bekleding tot aan de kruin van de dijk.

Na bespreken van de resultaten met experts van RHDHV, HKV, het waterschap en Deltares, is besloten de Verkenning te vervolgen met het Deltares model, zonder GEBU. Op deze manier kunnen voor de kansrijke alternatieven kruinhoogtes worden vastgesteld voor ontwerploop 2 en 3. Voor een gedetailleerde ontwerpslag voor GEBU wordt gewacht op de nieuwe rekenregels.

Om de resultaten van het Deltares model te duiden en te controleren is afgesproken ook een set berekeningen te maken met Riskeer (ontwerpmodus) en met het model van HKV (ook enkel voor GEKB). Zie de volgende hoofdstukken.

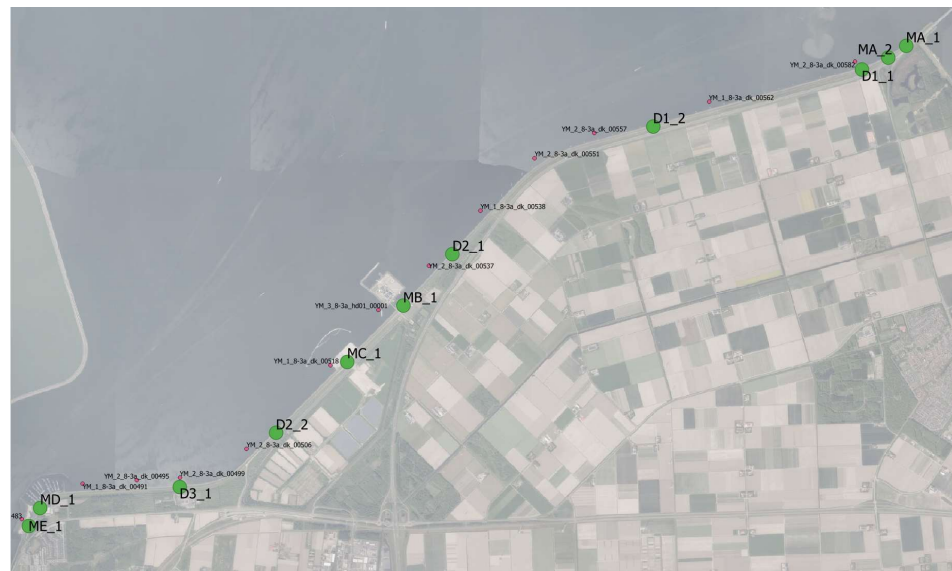
# 4 Uitgangspunten GEKB berekeningen aug '21.

Onderstaande uitgangspunten zijn gehanteerd voor de probabilistische GEKB-ontwerpberekeningen van de kansrijke alternatieven.

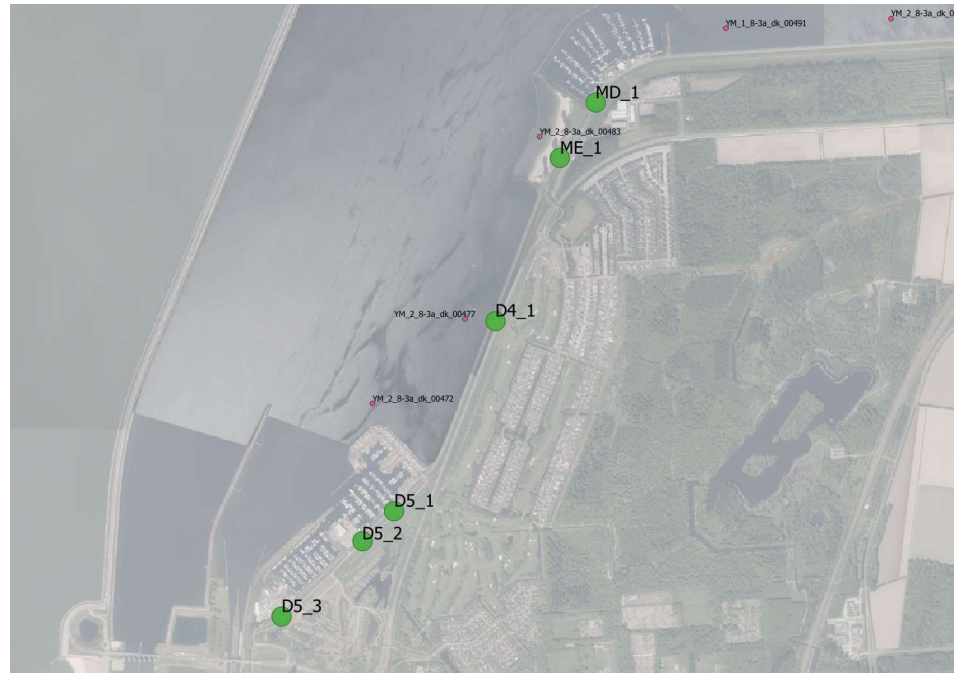
## 4.1 Dijkvakken

In Ontwerploop 1 zijn een aantal dijkvakken (locaties) gedefinieerd, waaronder enkele maatwerklocaties. Er zijn berekeningen gemaakt voor de volgende locaties:

*Figuur 5  
Locaties Meerdijk  
(t/m MD\_1)*



*Figuur 6  
Locaties Baaidijk  
(vanaf ME\_1)*



Meerdijk: D1\_1, D1\_2, D2\_1, D2\_2, D3\_1, MA\_2, MB\_1, MC\_1, MD\_1  
Baaidijk: D4\_1, D5\_1, D5\_2, D5\_3, ME\_1

Voor MB\_1 (Maximacentrale), MC\_1 (Flevokust), ME\_1 (strand), D5\_1, D5\_3 (Parkhavengebied) is gerekend met invloed van standzeker voorland en/of havendam. Bij MD\_1 (FlevoMarina) en D5\_2 (parkhaven achter smalle dam) is de invloed van een havendam als optie meegenomen. Deze havendammen zijn namelijk als niet standzeker verondersteld in de Nadere Veiligheidsanalyse van dit dijkversterkingsproject. Het verhogen/versterken van de havendam is hier een mogelijke versterkingsmaatregel.

## 4.2 Dijkprofielvarianties

Voor dijkvakken 1 t/m 4 en voor de maatwerkvakken A, B en D gelden onderstaande profielvarianties.

1. Ondertalud
  - 1:4
  - 1:5.
2. Ruwheid grasbekleding: 1.
3. Boventalud: standaard 1:3
4. Ruwheid harde bekleding:
  - 0.9
  - 0.8.
5. Overgangshoogte harde- zachte bekleding (ruwheid)
  - Ter hoogte van de berm
  - Halverwege het boventalud
6. Bermhoogte en -lengte:

- Huidig
- Ontwerphoogte gelijk aan waterstand bij de norm en 6 m lengte.

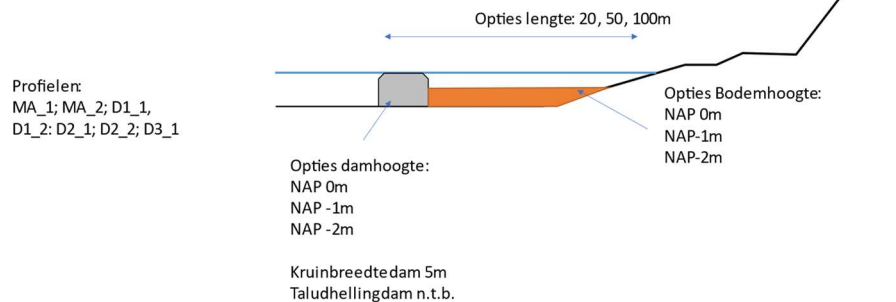
#### 4.2.1 Dammen en voorland

In Dijkvak 5 ligt locatie D5\_1 achter de havendam Parkhaven. Hier zijn extra berekeningen gemaakt met een hogere damhoogte van 2,6m +NAP, naast de aanwezige hoogte van 1,6m +NAP. Op locatie D5\_2 (Deko Marina) is altijd gerekend met bestaand voorland. Hier is niet gevarieerd met bermhoogte. Locatie D5\_3 tenslotte ligt achter hoog voorland.

Langs de Meerdijk zijn twee voorlandvarianten in beeld. Zie Figuur 7 en Figuur 8. Variant 1 (Figuur 7) betreft een zeer flauw voorland (1:100) met een gekozen lengte (20m, 50m, 100m) en gekozen gemiddelde bodemhoogte (NAP+0m, NAP-1m, NAP-2m), waarbij het voorland aan de IJsselmeerzijde opgesloten door een dam. De kruinhoogte van deze dam is in de berekeningen gevarieerd tussen NAP+0m, NAP-1m, NAP-2m.

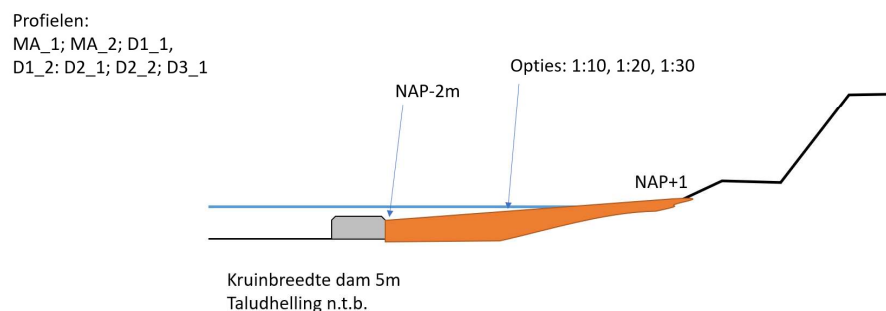
Figuur 7  
Voorland variant 1

#### Variant 1: langsdam incl. ophoging bodem



Figuur 8  
Voorland variant 2

#### Variant 2: langsdam met daarachter vooroever



Variant 2 betreft een voorland aansluitend op NAP+1m bij de dijkteen en eindigend in het IJsselmeer achter een geotube/dam met een kruinhoogte op NAP-2m. De taludhelling variatie betreft 1 op 10, 1 op 20 en 1 op 30.

De voorlandvarianten 1 en 2 worden alleen bij dijkvakken binnen de Meerdijk toegepast met uitsluiting van maatwerkvakken B, C en D.

De maatwerkvakken C en E beschikken over bestaand voorland waardoor er geen ondertalud en berm aanwezig is. Overige parameters zijn op vergelijkbare wijze verwerkt in het profiel.

#### 4.2.2 Dijknormaal en teenhoogte

De dijknormalen en de teenhoogtes zijn overgenomen uit Ontwerploop 1 (Bouwstenentool).

#### 4.2.3 Bermhoogte en -lengte

Voor de bermhoogte en -lengte zijn telkens twee varianten doorgerekend, namelijk de huidige berm en een hoger gelegen ontwerpberm ter hoogte van de waterstand bij de norm (1/10.000 per jaar). De keuze voor deze hoogte is gebaseerd op ontwerpervaringen en is een algemeen geaccepteerde werkwijze. Voor de ontwerpbermbreedte ('nieuwe berm, nb') wordt 6 meter gehanteerd. Beide parameters kunnen in een later stadium mogelijk nog geoptimaliseerd worden.

#### 4.2.4 Taludhellingen (boven- en ondertalud)

Voor het ondertalud worden twee ontwerpvarianten beschouwd: een taludhelling van 1 op 5 en 1 op 4. Voor het boventalud geldt een standaard taludhelling van 1 op 3, aangezien verflauwen van het boventalud geen kansrijke oplossing meer is.

#### 4.2.5 Overgangs- en kruinhoogte

De overgangshoogte tussen de harde en zachte bekleding (hierna: overgangshoogte), is één van de ontwerpvariabelen. Omdat er in deze fase niet naar het faalmechanisme GEBU gekeken wordt, beschrijft deze overgangshoogte alleen de overgang in ruwheid, concreet van harde bekleding naar gras.

#### 4.2.6 Ruwheid

De GEBU-GEKB ontwerptool biedt de mogelijkheid om twee ruwheden op te geven: één algemene ruwheid en één ruwheid voor een vooraf gedefinieerd hoogte-interval. Voor de algemene ruwheid is een waarde '1' gehanteerd. Dit komt overeen met grasbekleding. Voor de harde bekleding (van teen tot de overgangshoogte en van teen tot berm) is gevarieerd tussen 0.8 en 0.9. In de Riskeerberekeningen (zie 4.6.2) is dit uitgangspunt overgenomen.



## 4.2.7

### Samenvattende tabel

Alle hiervoor genoemde combinaties zijn vervolgens met behulp van Python scripts voor de genoemde dijkvakken geschematiseerd tot invoerdata. Hieronder zijn puntsgewijs de invoerparameters bondig benoemd en toegelicht. Waar relevant is er beschreven hoe er binnen de verschillende modellen omgegaan is met de betreffende parameter. Uitgangspunt in de berekeningen met het Deltares-model is dat er geen kruinverlaging kan optreden; als de huidige kruin aan de eis voldoet, zal er niet gezocht worden naar optimalisatie van deze hoogte.

Onderstaande tabel toont per dijkvak de belangrijkste parameters met betrekking tot het profiel:

Tabel 3  
Overzicht  
profielparameters

Dijkvak	HR-locatie	Huidig voorland/dam	Huidige bermhoogte en -lengte	Ontwerp bermhoogte en -lengte	Huidige Kruinhoogte [m+NAP]
MA_1	YM_2_8-3a_dk_00582	Geen	NAP+1.95m (7.5m)	NAP+2.53m (6m)	5.39
MA_2	YM_2_8-3a_dk_00582	Geen	NAP+1.86m (7.5m)	NAP+2.53m (6m)	5.39
D1_1	YM_2_8-3a_dk_00582	Geen	NAP+1.85m (7m)	NAP+2.53m (6m)	5.00
D1_2	YM_2_8-3a_dk_00557	Geen	NAP+1.95m (7.5m)	NAP+2.4m (6m)	5.007
D2_1	YM_2_8-3a_dk_00537	Geen	NAP+1.77m (7.295m)	NAP+2.38m (6m)	5.302
MB_1	YM_3_8-3a_hd01_00001	Dam (NAP+3 m)	NAP+1.71m (7.30m)	NAP+2.37m (6m)	3.773
MC_1	YM_1_8-3a_dk_00518	Voorland (50m, NAP+2.3m , 1:100)	Geen berm		3.585
D2_2	YM_2_8-3a_dk_00506	Geen	NAP+1.66m (7.23m)	NAP+2.38m (6m)	3.559
D3_1	YM_2_8-3a_dk_00499	Geen	NAP+1.82m (7.5m)	NAP+2.37m (6m)	3.502
MD_1	YM_2_8-3a_dk_00483	Dam (NAP+1.4 m)	NAP+1.84m (3.5m)	NAP+2.35m (6m)	5.474
ME_1	YM_2_8-3a_dk_00483	Voorland (150m, NAP+1m, 1:30)	NAP+1.92m (6.262m)	NAP+2.35m (6m)	5.325
D4_1	YM_2_8-3a_dk_00477	Geen	NAP+1.89m (7.15m)	NAP+2.36m (6m)	4.88
D5_1	YM_2_8-3a_dk_00472	Dam (NAP+1.6 m)	NAP+1.75m (8.10m)	NAP+2.37m (6m)	4.972
D5_2	YM_2_8-3a_dk_00472	Voorland (38.5m,	Geen berm		5.032

Dijkvak	HR-locatie	Huidig voorland / dam	Huidige bermhoogte en -lengte	Ontwerp bermhoogte en -lengte	Huidige Kruinhoogte [m+NAP]
		NAP+1m, 1:100)			
D5_3	YM_2_8-3a_dk_00472	Voorland (38.5m, NAP+1m, 1:100)	Geen berm		3.864

Tabel 4 Profielparameters dijkvakken

### 4.3 Sterkteparameters GEKB

Voor het faalmechanisme GEKB zijn twee varianten beschouwd:

- Een kruin en binnentalud bestaande uit enkel een grasbekleding (gesloten en open zode) en geometrische overgangen.
- Een kruin en binnentalud met grasbekleding (gesloten en open zode) en fysieke (goed ontworpen) overgangen en geometrische overgangen.

Onderstaande tabel toont de resulterende sterkteparameters voor het cumulatieve overbelastingmodel van Deltares). In paragraaf 4.6.2, tabel zijn de sterkteparameters weergegeven voor de methode met probabilistische overslagdebieten in Riskeer.

Tabel 5  
Overzicht  
sterkteparameters  
gras GEKB,  
cumulatieve  
overbelasting

Parameter	Waarde (a)	Waarde (b)	SI- eenheid	Bron
$U_{c;gesloten\ zode}$	$\mu = 8.0$ $\sigma = 1.0$	$\mu = 8.0$ $\sigma = 1.0$	[m/s]	Gesloten zode, SH Grasbekleding [v5.0, mei 2021]
$U_{c;open\ zode}$	$\mu = 6.0$ $\sigma = 0.75$	$\mu = 6.0$ $\sigma = 0.75$	[m/s]	
$D_{crit}$	$\mu = 7000$ $\sigma = 700$	$\mu = 7000$ $\sigma = 700$	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	
$\alpha_m$	1.1	1.8	[-]	BOI – Omgaan met overgangen [11203720-025-GEO-0001, 2019]
$\alpha_a$	1.4	1.4	[-]	
$\alpha_s$	1.0	0.9	[-]	

### 4.4 Hydraulische database

De gehanteerde hydraulische database is genaamd: *WBI2017\_IJsselmeer\_8-3a\_v02\_PR4161*. Deze is in de basis gelijk aan *WBI2017\_IJsselmeer\_8-3a\_v02* welke afkomstig is als openbare ontwerpdatabase. De wijzigingen doorgevoerd in de project-database zijn benoemd in *Hydraulische Belastingen IJsselmeerdijk. Voorstel tot actualiseren databases en te gebruiken rekentechnieken* (HKV, februari 2021). Voor het ontwerp is

vervolgens het HLCD-bestand: *hlcd\_W\_2100.sqlite* gebruikt. Deze beschrijft het klimaatscenario voor 2100 bij het W-scenario.

## 4.5 Eis doorsnede

GEKB heeft een standaard faalkansruimte van 24%. Wanneer we daar op trajectniveau de vrijgevallen faalkansruimte voor STPH (20%) bij optellen komt het totaal aan faalkansruimte op 44%. De nieuwe eis voor GEKB op doorsnedeniveau ( $P_{\text{eis,dsn,ond}}$ ) bedraagt dan  $1.4667E-05$  (1/68.182 per jaar). Deze eis volgt  $P_{\text{max}} = 1/10.000$  (ondergrens),  $N = 3$  en  $\omega = 0,44$ . Zie Tabel 6 voor het totale overzicht.

Tabel 6  
Eisen op  
doorsnedeniveau  
voor GEKB

Cat.	Eis op doorsnede- niveau bij $\omega = 24\%$	1/eis Doorsned- niveau bij $\omega = 24\%$ (jaar)	Eis op doorsnede- niveau bij $\omega = 44\%$	1/eis doorsnede- niveau bij $\omega = 44\%$ (jaar)	Categorie toelichting
I	8,89E-08	11.250.000	1,63E-07	6.136.364	1/30 x Signalerings waarde doorsnede
II	2,67E-06	375.000	4,89E-06	204.545	Signalerings waarde doorsnede
<b>III</b>	<b>0,000008</b>	<b>125.000</b>	<b>1,47E-05</b>	<b>68.182</b>	<b>Ondergrens doorsnede</b>
IV	0,0001	10.000	0,0001	10.000	Ondergrens traject
V	0,003	333	0,003	333	30 x Ondergrens traject

De eis op doorsnedeniveau voor GEKB kan op deze manier worden afgeleid omdat piping en GEKB afzonderlijk beschouwd worden. De motivatie hiervoor is beschreven in *memo Herverdeling Faalkansruimte piping, IJsselmeerdijk Zuiderzeeland* (HKV, 24 augustus 2021). Zouden piping en graserosie samen worden berekend in één model, dan is het afleiden van de eis op doorsnedeniveau minder gemakkelijk. De lengte-effecten zijn immers niet gelijk.

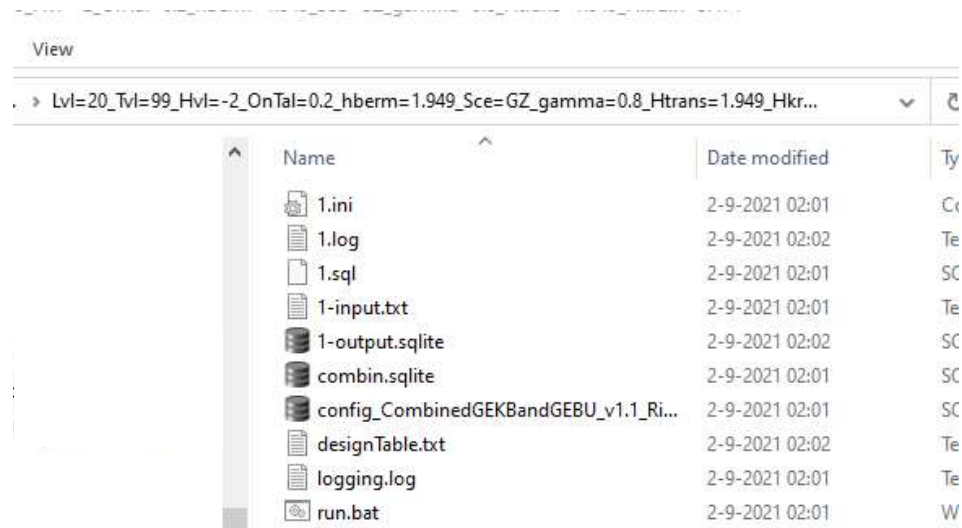
## 4.6 Probabilistische berekeningen

Op basis van de in de vorige paragrafen beschreven uitgangspunten zijn probabilistische berekeningen gemaakt met het cumulatieve overbelastingsmodel van Deltares en, ter vergelijking met het cumulatieve overbelastingsmodel van HKV en met Riskeer (probabilistische overslagdebieten uit Tabel 8). De Riskeerberekeningen en die met het model HKV zijn zuiver ter vergelijking/controle gemaakt, met het oog op vertrouwen krijgen in de resultaten.

### 4.6.1 Model Deltares (plugin HydraRing)

Met het Deltares model en de uitgangspunten conform de paragrafen Dijkvakken 4.1 t/m 4.5 zijn in totaal 15.259 berekeningen gemaakt. De invoer is klaargezet, gebruikmakend van Python scripts. Zie ter illustratie de invoer- en uitvoerbestanden voor één berekening in Figuur 9.

*Figuur 9  
Werkmap met  
invoer- en  
uitvoerbestanden*



### 4.6.2 Riskeer

Met Riskeer zijn voor verschillende ontwerpalternatieven in totaal 720 GEKB HBN berekeningen gemaakt van de minimaal benodigde kruinhoogte, bedoeld om te vergelijken met de uitkomsten van het nieuwe Deltares model. Qua uitgangspunten is dan ook zoveel mogelijk aangesloten op de uitgangspunten

zoals beschreven in voorgaande paragrafen. Riskeer gaat op een andere wijze met profielinformatie (\*.prfl) om dan het model van Deltares.

### Selectie locaties en profielen

Voor drie locaties zijn in totaal 180 profielen opgesteld, die elk met vier graskwaliteiten zijn doorgerekend. De drie locaties zijn bekend als D1\_1, D4\_1 en D5\_1. De profielen variëren in:

1. Varianten zonder voorland
2. Varianten met voorland van diverse lengtes, hoogtes en/of hellingen:
  - Variant 1 met langsdam:
    - Hoogte NAP 0, NAP-1, NAP-2,
    - Lengte 20, 50 en 100m en
  - Variant 2, zand onder helling:
    - 1:10, 1:20 en 1:30.
3. Ondertalud 1:4 en 1:5
4. Berm
  - huidig
  - op hoogte waterstand bij marginale statistiek
5. Ruwheid
  - 0.8 tot de berm
  - 0.8 tot halverwege boventalud
  - 0.9 tot halverwege boventalud
6. Het boventalud is in alle gevallen 1:3.

Aan locatie D1\_1 zijn 156 profielen gekoppeld. Als voorland zijn varianten 1 en 2 beschouwd. Aan D4\_1 en D5\_1 zijn 12 profielen gekoppeld; als voorland is alleen variant 2 beschouwd.

Ten behoeve van Riskeer zijn de opgestelde profielen vastgelegd in .prfl bestanden en is een shape file gemaakt met een referentie naar deze .prfl bestanden.

### Koppeling aan HR-locaties

Voor de Riskeerberekeningen zijn de profielen gekoppeld aan een randvoorwaardenlocatie, zie Tabel 7.

Tabel 7  
Koppeling  
ontwerpdijklocaties  
aan HR locaties

1) Locatie_ID	2) HR locatie	3) X-coördinaat	4) Y-coördinaat
D5_1	YM_2_8- 3a_dk_00472	158828	505564
D4_1	YM_2_8- 3a_dk_00477	159247	505954
D1_1	YM_2_8- 3a_dk_00582	171135	513162

### Type berekening

De berekening in Riskeer betreft een HBN berekening. Riskeer berekent de kruinhoogte waarvoor de faalkans gelijk is aan de opgegeven doelkans.

### Eis doorsnede

Conform beschreven in paragraaf 4.5. Uitgaande van een faalkansbudget van 0,44 en  $N=3$  is de doorsnede-eis voor GEBK gelijk aan  $1/68.182^e$ . N.B. In Riskeer is het niet mogelijk om de faalkansbegroting te wijzigen. Daarom wordt een andere waarde ingevuld om uiteindelijk de HBN bij  $1/68.182^e$  te berekenen.

### Keuze stochast overslagdebiet

Bij het selecteren van de verwachtingswaarden en de standaardafwijking van de stochast overslagdebiet is gebruik van de afgeleide kansverdelingen in Tabel 3.1 in Van Hoven en Boers (2019). Dit is het grote verschil met het nieuwe model van Deltares, waarbij niet vooraf een keuze hoeft te worden gemaakt voor een golfhoogte. Genoemde tabel vermeldt de verwachtingswaarden en standaardafwijkingen voor verschillende situaties. Wij zijn geïnteresseerd in twee soorten graskwaliteit (open en gesloten) met en zonder overgangen op het talud. Tabel 8 hieronder toont de kansverdelingen uitgaande van een versnelling van 1,4 [-], een golfhoogte van 3 m en een overslagduur van 2 uur. De tabel in Van Hoven en Boers vermeldt geen overslagduur van 3 uur. Daarom is voor de dichtstbijzijnde waarde van 2 uur gekozen.

Tabel 8  
Overzicht  
sterkteparameters  
gras GEKB,  
probabilistische  
overslagdebieten  
(Riskeer)

Variant		$\mu$ - waarde	$\sigma$ - waarde	SI- eenheid	Bron
Gesloten zode, zonder overgangen	Nee, $\alpha_m = 1,1, \alpha_s = 1,0$	0,029	0,0074	[m <sup>3</sup> /m/s]	BOI – Omgaan met overgangen [11203720-025-GEO-0001, 2019]
Open zode, zonder overgangen	Nee, $\alpha_m = 1,1, \alpha_s = 1,0$	0,019	0,0041	[m <sup>3</sup> /m/s]	
Gesloten zode, met overgangen	Ja, $\alpha_m = 1,8, \alpha_s = 0,9$	0,011	0,0022	[m <sup>3</sup> /m/s]	
Open zode, met overgangen	Ja, $\alpha_m = 1,8, \alpha_s = 0,9$	0,0077	0,0012	[m <sup>3</sup> /m/s]	

Tabel 9 Sterkteparameters GEKB, probabilistische overslagdebieten. Gegevens overgenomen in Van Hoven en Boers. Het betreft de rijen uit Tabel 3.1 genummerd 63, 31, 47 en 15. De duur is 2 uur, de golfhoogte is 3 m en de versnelling is 1,4 [-].

De berekeningen in Riskeer gebeuren voor ieder van de 180 profielen met de 4 kansverdelingen van de stochast overslagdebiet.

## 4.6.3

### Model HKV

In memo GEBU-GEKB probabilistische berekeningen Verkenning IJsselmeerdijk 8-3 (augustus 2021) is ook het graserosiemodel van HKV

(Rongen G, 2020) beschreven. Dit model werkt op basis van dezelfde theorie als het nieuwe model van Deltares, echter in de uitwerking/oplossing bestaan verschillen tussen beide modellen. Zuiver ter controle zijn met het model van HKV dezelfde berekeningen gemaakt als met Riskeer, dat wil zeggen 180 berekeningen voor 4 graskwaliteiten. Het HKV model kan, net als Riskeer, overweg met profielbestanden (\*.prfl), zodat de invoer wat dat betreft identiek is aan die voor Riskeer.

# 5 Resultaten GEKB berekeningen

## 5.1 Model Deltares

11.980 berekeningen zijn volledig geconvergeerd (code 0). Het resultaat vertoont bij deze berekeningen ook geen vreemde sprongen in faalkans bij een toenemende kruinhoogte. Zie bijvoorbeeld Figuur 11.

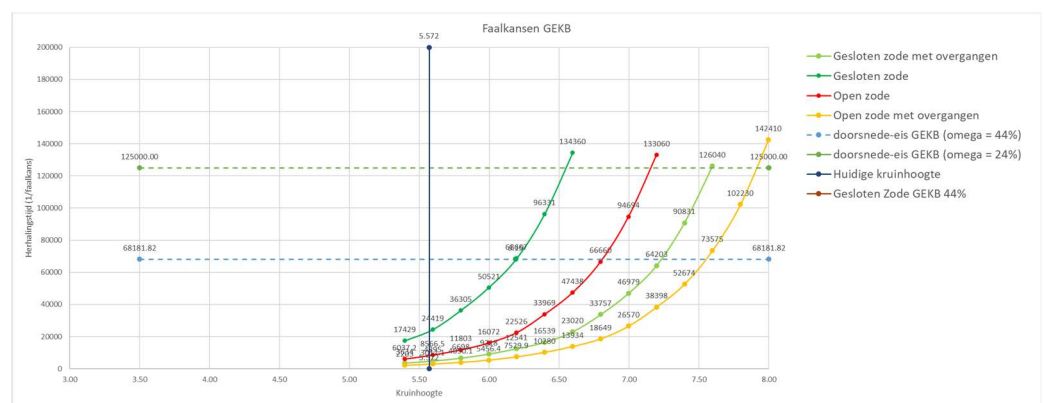
3.278 sommen zijn deels geconvergeerd (code 1). Bij deze berekeningen blijkt het, voor zover is te zien, vooral te gaan om windrichtingen die geen bijdrage aan de faalkans hebben. Er is één som niet geconvergeerd (code 2) namelijk een voorlandberekening (Variant 2, 1op10) bij locatie D1\_1 met ruwheid tot berm  $r=0.9$ , helling ondertalud 1op5 en een berm op normhoogte.

In het Excelbestand *Overzicht HBN\_GEKB\_Riskeer DdB 20-09-2021.xlsm* is in het tabblad *Grafieken GEKB Deltares* een menu opgenomen om de resultaten van de ruim 15.000 berekeningen snel te kunnen bekijken. De gele cellen bevatten een 'dropdown' om de keuze te maken voor de locatie en bijbehorende ruwheid, helling ondertalud en bij varianten met voorland (Var1, Var2, bestaand voorland, geen voorland, dam) de betreffende hoogte, lengte en/of helling van het voorland.

*Figuur 10 Keuzemenu Voorbeeld 1*

Locatie	Ruwheid	Ondertalud	Berm	Voorland/dam	VL Hoogte	VL Lengte	VL helling
D1_1	Ruwheid tot berm, $r=0.8$	vo1op4	hb	geen voorland			

*Figuur 11 Resultaten GEKB Deltares, locatie D1\_1, huidige berm, ruwheid tot berm  $r=0.8$ , ondertalud 1op4, geen voorland.*

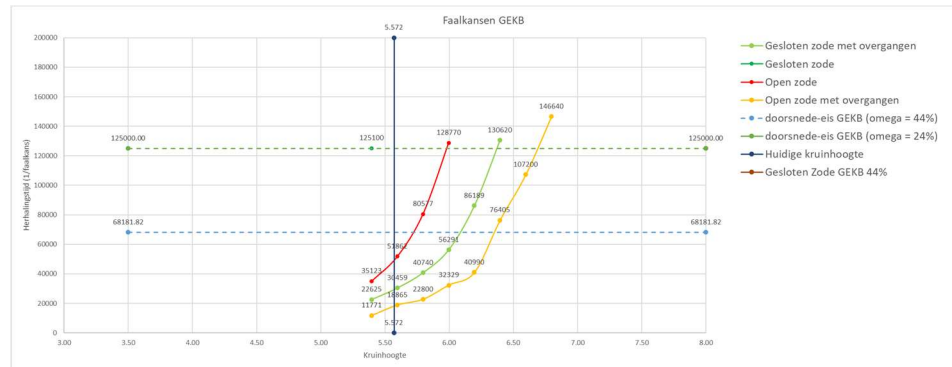




**Figuur 12**  
Keuzemenu  
Voorbeeld 2

Locatie	Ruwheid	Ondertalud	Berm	Voorland/dam	VL Hoogte	VL Lengte	VL helling
D1_1	Ruwheid tot berm, r=0.8	vo1op4	hb	Var1	VLH-2.0	VLL50	

**Figuur 13**  
Resultaten GEKB  
Deltares, locatie  
D1\_1, huidige  
berm, ruwheid tot  
berm r=0.8,  
ondertalud 1op4,  
voorland Variant 1,  
NAP -2.0m, lengte  
50m.



Met twee horizontale stippellijnen zijn de doorsnede-eisen weergegeven bij de standaard faalkansverdeling (24% GEKB) en de aangepaste verdeling, waarbij 20% van STPH is toegevoegd en het faalkansbudget voor GEKB dus op 44% komt. De bijbehorende terugkeertijden zijn 68.180 (44%) en 125.000 (24%). Verder is met een verticale zwarte lijn de huidige kruinhoogte weergegeven. Berekeningen met een lagere benodigde kruinhoogte zijn niet gemaakt. In hetzelfde tabblad is een samenvattende tabel opgenomen waarin voor de geselecteerde ontwerpvariant de benodigde kruinhoogtes zijn weergegeven bij de vier graskwaliteiten en wel voor de twee doorsnede-eisen.

Het effect van het overhevelen van faalkansruimte van piping naar graserosie is goed te zien in onderstaande tabel. Bij een gesloten zode met overgangen gaat het voor traject Meerdijk om circa 40 cm kruinhoogtereductie. Ook het effect van de keuze voor gesloten/open zode en de keuze voor geen/wel overgangen is duidelijk te zien. Het verschil in opgave loopt tussen de verschillende opties op tot meer dan 1m.

**Figuur 14**  
Voorbeeld vergelijk  
kruinhoogte opgave  
bij verschillende  
zodes en twee  
faalkansbudgetten

	44%		24%	
<b>HBN interpolatie</b>	68181.82	opgave (m)	125000.00	opgave
Gesloten zode	6.19	0.62	6.55	0.97
Open zode	6.81	1.23	7.15	1.58
Gesloten zode met overgangen	7.23	1.65	7.59	2.02
Open zode met overgangen	7.54	1.97	7.91	2.34

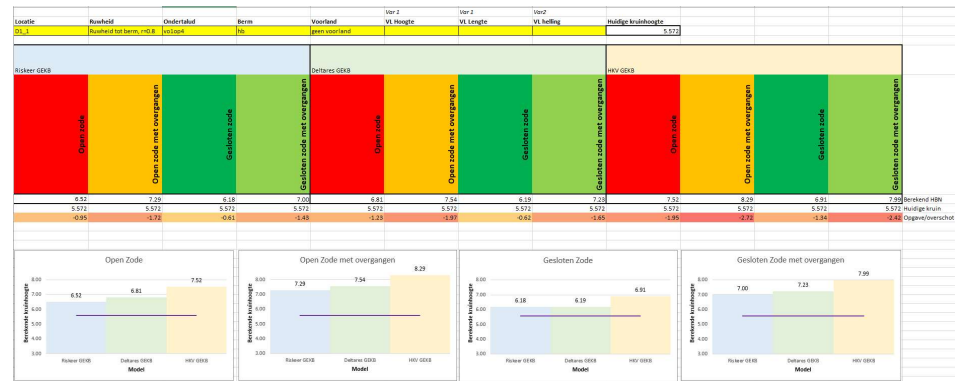
## 5.2

## Vergelijk met Riskeer en model HKV

In het Excelbestand *Overzicht HBN\_GEKB\_Riskeer DdB 20-09-2021.xlsm* zijn ook de resultaten van de vergelijkende analyse met Riskeer en het model HKV opgenomen. De rekenresultaten staan in tabblad *Resultaten Vergelijk* en grafische zijn de resultaten weergegeven in tabblad *Grafieken Vergelijk*.

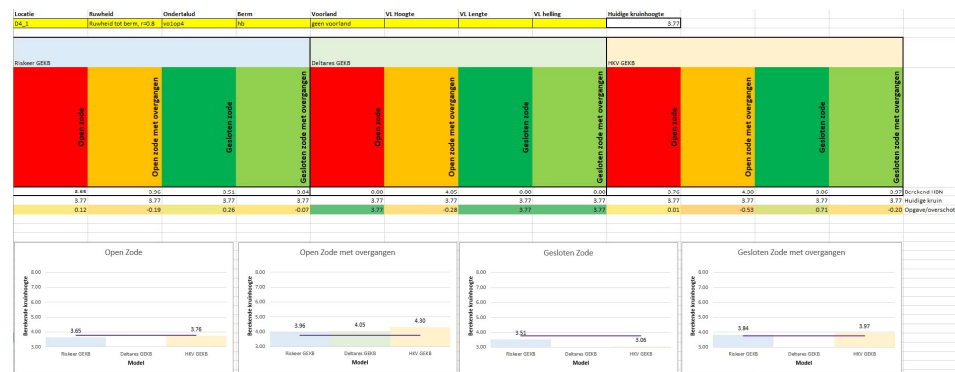


Figuur 15  
Menu tabblad  
'Grafieken Vergelijk'  
Voorbeeld Meerdijk  
D1\_1, geen voorland



Van 180 berekeningen met vier graskwaliteiten (totaal 720 berekeningen) zijn de benodigde kruinhoogtes bepaald. Door wederom in de gele cellen een keuze te maken, verschijnen de resultaten in de tabel (berekend HBN, huidige kruin, opgave/overschot) en in de vier grafieken onderaan. Duidelijk is dat bij de Meerdijk (D1\_1) de verschillen tussen het nieuwe model van Deltares en Riskeer maximaal in de orde van enkele decimeters liggen, waarbij Riskeer *meestal* (maar niet altijd!) lagere kruinhoogtes berekend. Hoewel lastig is te achterhalen hoe dit komt, lijkt het erop dat de geselecteerde maximale Riskeer golfhoogteklasse (3 meter) te laag is voor deze locatie.

Figuur 16  
Menu tabblad  
'Grafieken Vergelijk'  
Voorbeeld Baaidijk  
D4\_1, geen voorland



Het model van HKV laat over de hele linie (aanzienlijk) hogere benodigde kruinen zien dan het model Deltares, tot orde 80 cm langs de Meerdijk. HKV onderzoekt buiten de verkenning om wat hier de oorzaken van zijn.

## 5.3

## Conclusies gebruik nieuwe GEKB model

Met het nieuwe model van Deltares zijn succesvol meer dan 15.000 berekeningen gemaakt. De berekeningen zijn grotendeels geconvergeerd en leiden tot plausibele resultaten. Bij toenemende kruinhoogtes neemt de faalkans af. Er moesten voor een dergelijke hoeveelheid berekeningen diverse Python scripts worden geschreven om in batch te kunnen rekenen. De beschrijving van het Deltares model was ruim voldoende om tot resultaten te komen.

De verschillen met Riskeer zijn relatief klein. De cumulatieve overbelastingsbenadering is in Riskeer op een vereenvoudigde wijze geïmplementeerd, zodat verschillen met het nieuwe model van Deltares verklaarbaar zijn. Wat wel enigszins verrast, is dat Riskeer over het algemeen tot lagere kruinhoogtes komt, terwijl van een vereenvoudigde implementatie zou worden verwacht dat deze conservatief is. De duiding van Deltares, specifiek op deze verschillen, is onzes inziens dan ook erg belangrijk.

## 5.4 Vertaling naar kruinhoogtes voor kansrijke alternatieven

Met de verkregen resultaten kunnen de kruinhoogtes van de kansrijke alternatieven in Ontwerploop 2 worden vastgelegd. De exact benodigde kruinhoogtes zijn echter in dit stadium van het project nog niet vast te stellen, omdat deze afhankelijk zijn van keuzes die nog in het vervolg van het project (voornamelijk planuitwerkingsfase) gemaakt dienen te worden (o.a. type dijkbekleding, hoogte en lengte berm, taludhellingen). In dit stadium wordt ingeschat dat voor de kansrijke alternatieven de kruinhoogtes (met huidige hydraulische randvoorwaarden) in de orde van +-50cm kunnen wijzigen.

### 5.4.1 Keuze graskwaliteit en kwaliteit binnentalud

Bij het gebruik van een probabilistische kruinhoogtebepaling dient ook een keuze gemaakt te worden over de graskwaliteit (open of gesloten zode) op het binnentalud en of er wel/geen overgangen aanwezig zijn.

De kwaliteit van de grasmat is momenteel goed, afgezien van lokale beschadigingen als gevolg van dierlijke graverij. Daarnaast ligt de grasmat op het binnentalud gunstig georiënteerd qua zonligging, de kans dat de grasmat na versterking weer van goede kwaliteit is, is daarmee groot. Gekozen wordt om in de verkenningsfase een gesloten zode aan te nemen voor het gehele dijktraject. Bij deze keuze hoort ook de veronderstelling dat de grasmat regelmatig en goed wordt beheerd. Deze veronderstelling wordt onder andere meegenomen in de bepaling van de levensduurkosten.

De dijk bevat over het gehele traject een binnenberm met daarop een (onderhouds)weg. Lokaal zijn er ook andere overgangen zoals dijkovergangen aanwezig. Deze dijk heeft dus overgangen, waardoor in de basis voor dit dijktraject wordt gekozen voor de combinatie "gesloten zode met overgangen". In de verkenningsfase worden echter ook (kansrijke) alternatieven beschouwd met een hoger overslagdebiet, voor deze alternatieven wordt een kruinhoogte gekozen welke hoort bij "open zode

zonder overgangen”, waarbij de overgang tussen het binnentalud en de binnenberm wordt versterkt.

### 5.4.2 Bepaling Benodigde Kruinhoogtes Kansrijke Alternatieven

In memo “Herverdeling Faalkansruimte IJsselmeerdijk normtraject 8-3” wordt onderbouwd om vrijkomende faalkansruimte in te zetten voor het faalmechanisme GEKB. Hierdoor ontstaat een doorsnede-eis van 1/68.182 per jaar voor GEKB. Met deze eis zijn de benodigde kruinhoogtes afgeleid voor zichtjaar 2080.

Voor deeltraject **Meerdijk** zijn in ontwerploop 1 de volgende kansrijke alternatieven geselecteerd:

- Binnenwaarts hoge dijk (voor dijkvak 1)
- Binnenwaarts met hoog overslagdebiet (voor dijkvak 2)
- Buitenwaarts hoge dijk (voor dijkvak 3)
- Vierkant hoge dijk (voor dijkvak 1,2 en 3)
- Voorlandoplossing (geleidelijk aflopend talud) (voor dijkvak 1,2 en 3)

Daarnaast worden de opties verhogen toelaatbaar golfoverslagdebiet en het verruwen van het boventalud nog als potentieel kansrijke opties gezien. Voor beide opties geldt dat de dijk minder hoog en daardoor compacter kan worden versterkt. Maar in ontwerploop 1 zijn ook diverse nadelen geïdentificeerd voor beide opties, daarom is gekozen om in ontwerploop 2 nader te onderzoeken of dit wenselijke opties zijn. In onderstaande tabel zijn voor de kansrijke alternatieven en de potentieel kansrijke opties de benodigde kruinhoogtes afgeleid met probabilistische model weergegeven. In de tabel zijn de kansrijke alternatieven groen gemarkeerd en de opties geel gemarkeerd. Voor de optie verruwing boventalud is een ruwheidsfactor van 0,8 tot halverwege het boventalud aangenomen.

Voor het voorland is onder kolom 4.1a een geleidelijk talud vanaf NAP+1,0m tot NAP-2,0m bepaald waarmee de gehele dijkversterkingsopgave (dus ook de bekledingsopgave) wordt opgelost. Onder kolom 4.1b is een horizontaal voorlandprofiel bepaald, die ook de gehele dijkversterkingsopgave oplost. Hierbij wordt opgemerkt dat dit beide voorlandprofielen waarschijnlijk aangevuld dient te worden met grond en dammen om afslag en verliezen tijdens niet maatgevende condities op te kunnen vangen.

	0	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	4.1a	4.1b	4.2
	huidige dijk	Binnenwaarts hoge dijk	Binnenwaarts verruwing boventalud	Binnenwaarts hoog overslagdebiet	Buitenwaarts hoge dijk	Buitenwaarts verruwing boventalud	Buitenwaarts verruwing boventalud	Buitenwaarts hoog overslagdebiet	Vierkant hoge dijk	Vierkant verruwing boventalud	Vierkant met verruwing boventalud	Voorreever	Voorreever met geobeen	Onderwaartse kruinverhoging
Dijkvak 1	NAP+5,39	NAP+7,11	NAP+6,52	NAP+6,63					NAP+7,11	NAP+6,52		1:10	20m breed NAP+0m	
Dijkvak 2	NAP+5,00	NAP+7,13	NAP+6,62	NAP+6,70					NAP+7,13	NAP+6,62		1:10	20m breed NAP+0m	
Dijkvak 3	NAP+5,30				NAP+6,51	NAP+6,00		NAP+6,14	NAP+6,51	NAP+6,00		1:10	20m breed NAP-1m	

De hoogte-opgave van de Meerdijk (keuze gesloten zode met overgangen) is ten opzichte van ontwerploop 1 (overslagdebiet van 10 l/s/m met Hydra-NL

en doorsnede-eis 1/125.000 per jaar) afgenomen met circa 50cm. Meer dan de helft van deze reductie is toe te schrijven aan de lagere doorsnede-eis na het herverdelen van de faalkansruimte.

Voor deeltraject **Baaidijk** zijn de volgende kansrijke alternatieven gekozen:

- Binnenwaarts hoge dijk (voor dijkvak 4)
- Vierkant hoge dijk (voor dijkvak 5)
- Golfmuur met brede berm binnen profiel (voor dijkvak 4 en 5)

Daarnaast worden de opties verhogen toelaatbaar golfoverslagdebiet, het verruwen van het boventalud nog als potentieel kansrijke opties gezien. In de tabel zijn deze geel gemarkeerd.

	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	5.1	5.2	5.3
	Binnenwaarts hoge dijk met bermverhoging	Binnenwaarts hoge dijk zonder bermverhoging	Binnenwaarts verruwing boventalud	Binnenwaarts verflauwing boventalud	Buitenwaarts hoge dijk zonder bermverhoging	Buitenwaarts hoge dijk met bermverhoging	Buitenwaarts verflauwing boventalud	Vierkant met bermverhoging verruwing boventalud	Vierkant hoge dijk met verhoogde smalle berm	Vierkant hoog overslagdebiet	Vooroever	Golfmuur met verhoogde berm binnen profiel	Golfmuur met extra hoge berm binnen profiel	Vaste kering op de kruin
Dijkvak 4														
Dijkvak 5														

De voorziene hoogteopgave in ontwerploop 1 voor dit deeltraject van 0,4m – 0,6m is door het probabilistisch rekenen en de nieuw afgeleide doorsnede-eis bijna volledig vervallen voor alle alternatieven. Alleen op een specifieke locatie bij dijkvak 5 -ter hoogte van Deco Marina- blijft in combinatie met een conservatieve schematisering een kleine opgave staan. In ontwerploop 2 wordt aangenomen dat deze kleine opgave (als deze nodig blijft) wordt opgelost door het versterken/overslagbestendiger maken van het binnentalud.

**N.B.** Voor dijkvak 4 blijft de versterkingsopgave aan de zetsteenbekleding en teenbescherming staan. Voor dijkvak 5 voldoet de huidige zetsteenbekleding en teenbescherming. Voor zowel dijkvak 4 en 5 is het echter wel aannemelijk dat het asfalt op de buitenberm wordt vervangen en de buitenberm wordt verhoogd. Het huidige asfalt ligt namelijk onder het niveau van maatgevend hoogwater. Daarnaast wacht voor beide dijkvakken mogelijk een versterkingsopgave voor GEBU (overgang harde bekleding-zachte bekleding). Voor dit faalmechanisme wordt gewacht tot nieuwe rekenregels/leidraden beschikbaar komen.

Voor de **Maatwerkvakken B, C, D, E (Maxima-Centrale, Flevokust, FlevoMarina, Houtribhoekstrand)** geldt dat er geen hoogte-opgave is. Het beeld ten opzichte van ontwerploop 1 is daarmee ongewijzigd. Voor de maatwerkvakken geldt wel dat er inpasopgave is; de vakken sluiten aan op vakken die wel versterkt worden.

## 6 Referenties

### **De Bake D, 2021**

Herverdeling Faalkansruimte piping, IJsselmeerdijk Zuiderzeeland. Memo, PR4161.20, 24 augustus 2021.

### **De Bake D, 2021**

Probabilistisch rekenen GEBU/GEKB, keuze rekenmodel Ontwerploop #2. Memo, PR4161.20, 28 mei 2021.

### **Rongen G en Huis in 't Veld M, 2021**

Vergelijking GEBU+GEKB, Vergelijking tussen twee modellen om integraal de faalkans van een grasbekleding te berekenen. PR4161.20, maart 2021.

### **Smale A, 2021.**

Probabilistisch beoordelen en ontwerpen grasbekleding. In opdracht van waterschap Zuiderzeeland. 11206202-002-HYE-0001.

### **Rongen G, 2020.**

A probabilistic load model for dike revetments. In opdracht van Rijkswaterstaat WVL. PR4363.10.

### **Van Hoven en Boers, 2019**

BOI Omgaan met overgangen bij faalmechanisme graserosie kruin en binnentalud. Korte studie naar kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet inclusief overgangen. A. van Hoven en M. Boers, Deltares, 11203720-025-GEO-0001, 2019.

### **Post S. en De Bake D, 2020.**

Nadere Veiligheidsanalyse Dijkversterking IJsselmeerdijk, normtraject 8-3, rapport, April 2020

### **Post S. en De Bake D, 2021**

Herverdeling Faalkansruimte IJsselmeerdijk normtraject 8-3, memo, September 2021



**Hoofdkantoor**

HKV lijn in water BV  
Botter 11-29  
8232 JN Lelystad

**Nevenvestiging**

Informaticalaan 8  
2628 ZD Delft

0320 294242  
[info@hkv.nl](mailto:info@hkv.nl)  
[www.hkv.nl](http://www.hkv.nl)