

RAPPORT

Aanscherpen GEBU scope - Veilige Vecht

Resultaten van de berekeningen met representatieve belastingmodellen voor GEBU

Klant: Waterschap Drents Overijsselse Delta

Referentie: BH2656-RHD-XX-XX-RP-X-0001

Status: Concept/1.0

Datum: 05 juni 2023

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Water & Maritime

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

Titel document: Aanscherpen GEBU scope - Veilige Vecht

Sub titel: Resultaten van de berekeningen met representatieve belastingmodellen voor
GEBU

Referentie: BH2656-RHD-XX-XX-RP-X-0001

Uw kenmerk WDOdelta

Status: Concept/1.0

Datum: 05 juni 2023

Projectnaam: VeiligeVecht

Projectnummer: BH2656

Auteur(s): Marcel van den Berg, Danny Boij

Opgesteld door: Marcel van den Berg

Gecontroleerd door: Danny Boij

Datum: 06-06-2023

Goedgekeurd door: Jan Cirkel

Datum: 07-06-2023

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veelelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Keuze representatieve profielen	1
3	Belastingmodellen	2
3.1	Indeling afvoer gedomineerd, stormopzet gedomineerd en overgangsgebied	2
3.2	Belastingmodellen	4
3.2.1	Afvoer gedomineerde deel Vecht (BM1)	4
3.2.2	Stormopzet gedomineerde deel Vecht (BM3)	4
3.2.3	Overgangsgebied (BM4)	5
4	Resultaten	6
4.1	Golfrandvoorwaarden (Riskeer Q-variant)	6
4.2	Beoordeling GEBU (BM-Gras Buitentalud)	7
5	Gevoeligheidsanalyses belastingmodellen	8
5.1	Gevoeligheidsanalyse stormduur in het stormopzet gedomineerde deel van de Vecht	8
5.2	Gevoeligheidsanalyses afvoer gedomineerde deel	8
6	Duiding resultaten	9
6.1	Duiding van de belastingmodellen	9
6.2	Reststerkte	11
6.3	Hersteltijd	11
6.4	Semi-probabilistische aanpak	11
6.5	Kwaliteit van de grasmatten	12
6.6	Indeling deelgebieden op basis van waterstandsberekeningen	12
7	Conclusies	14

Bijlagen

BIJLAGE: Trajectindeling en profiellocaties GEBU analyse

BIJLAGE: Resultaten Q-variant Riskeer

1 Inleiding

Om in het project Veilige Vecht de ontwerpogave voor het faalmechanisme Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) aan te scherpen is een Plan van Aanpak (PvA) opgesteld (Plan van Aanpak – beschouwing GEBU-opgave Veilige Vecht, RHDHV, 2023). In voorliggend rapport worden de resultaten gepresenteerd van de voorgestelde analyse uit het PvA. Voor de volledige aanpak wordt verwezen naar het PvA en de presentatie van het overleg met het ADO en WDOdelta (van 14 maart 2023). In dit overleg zijn een aantal tussenresultaten besproken op basis waarvan de rest van de analyse is uitgevoerd. Het doel van de analyse is om de GEBU-opgave voor de deeltrajecten in het project Veilige Vecht aan te scherpen. Dit rapport is daarmee de onderbouwing voor de aanscherping van de GEBU-opgave op het traject van het project Veilige Vecht.

De hoofdstukindeling van dit rapport is gebaseerd op de stappen uit het PvA:

- Hoofdstuk 2: Er is een selectie van representatieve profielen per deeltraject (normtraject 9-1, dan wel normtraject 53-3) gemaakt. Er is gekozen om te werken met een representatief profiel in combinatie met een conservatief belastingmodel.
- Hoofdstuk 3: Het traject is ingedeeld in een stormopzet gedomineerd deel, een afvoer gedomineerd deel en een overgangsgebied. Per gebied zijn de gekozen belastingmodellen (van de golfhoogte en waterstand) gerapporteerd.
- Hoofdstuk 4: Per deeltraject is een passend belastingmodel gekozen op basis van de resultaten van de berekeningen met de Q-variant uit Riskeer. Deze zijn gebaseerd op de werkelijke omstandigheden tijdens voor GEBU maatgevende condities. Het belastingmodel is toegepast in de applicatie Basis Module (BM) Gras Buitentalud. Hiermee wordt een oordeel per deeltraject op het toetspoot GEBU verkregen.
- Hoofdstuk 5: In dit hoofdstuk worden de resultaten van verschillende gevoeligheidsanalyses gepresenteerd (vergelijking van resultaten van verschillen in belastingmodellen).
- Hoofdstuk 6: De resultaten van de berekeningen worden besproken in relatie tot andere studies en om duiding te geven over de robuustheid van het resultaat.
- Hoofdstuk 7: In dit hoofdstuk staan de conclusies van de analyse.

De uitgangspunten betreffende de gebruikte software en databases voor de uitgevoerde analyses zijn genoemd in het eerder genoemde PvA.

2 Keuze representatieve profielen

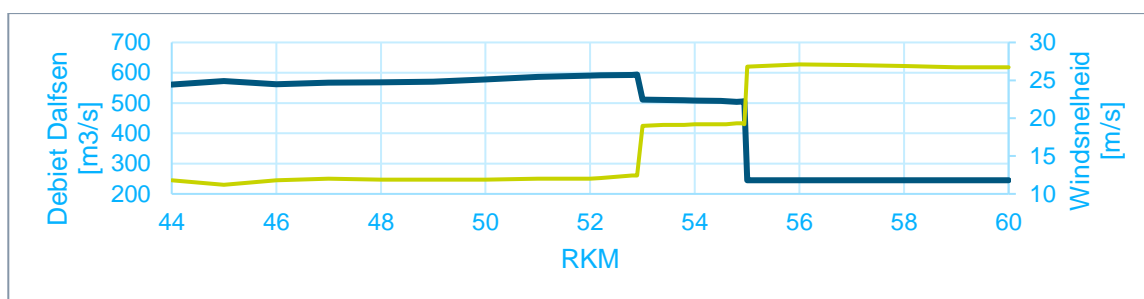
De vakindeling is gebaseerd op de vakindeling (deeltrajecten) die in de verkenning zijn gebruikt voor de GEKB-analyse. Omdat het belangrijk is dat de verschillende locaties ook representatief zijn voor de GEBU-analyse zijn deze waar nodig aangescherpt. Zo is de geometrie van het buitentalud niet van belang bij GEBU omdat de golfrandvoorwaarden onafhankelijk van het buitentalud worden afgeleid. De taludhelling is ook niet relevant bij de beoordeling van grasbekledingen in BM-Gras Buitentalud. Het voorland en de oriëntatie van de profielen is voor de GEBU-analyse juist wel relevant.

Op basis van de aangescherpte deeltrajecten wordt het voorland daarom op een representatieve manier meegenomen, hierbij is met name de hoogte van het voorland van belang, de lengte is minder van belang omdat de golven bij een relatief korte lengte van het voorland in hoogte worden gelimiteerd. De trajectindeling is voorgelegd en besproken tijdens een overlegmoment met WDOdelta en het ADO (d.d. 14 maart 2023), het resultaat hiervan is te zien in de BIJLAGE: Trajectindeling en profiellocaties GEBU-analyse.

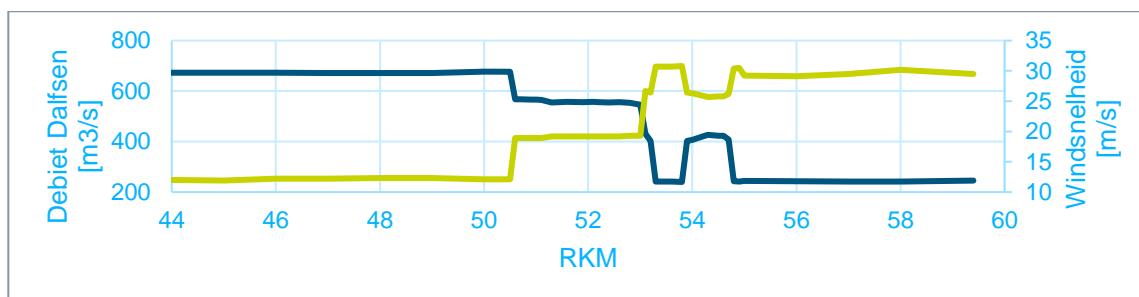
3 Belastingmodellen

3.1 Indeling afvoer gedomineerd, stormopzet gedomineerd en overgangsgebied

De belastingmodellen welke gebruikt worden voor de GEBU-analyse in BM-Gras Buitentalud zijn afhankelijk van het waterstandsverloop tijdens maatgevende omstandigheden voor GEBU. Ze verschillen per situatie, in het afvoer gedomineerde deel van de Vecht is voor een ander belastingmodel gekozen dan in het stormopzet gedomineerde deel. Met Riskeer is bepaald welke locaties in het afvoer gedomineerde deel, het stormopzet gedomineerde deel of in het overgangsgebied liggen. Op basis van de windsnelheid en afvoer in het ontwerp punt van de waterstands berekening is beschouwd in welk deelgebied de verschillende trajecten vallen, zie Figuur 1 en Figuur 2.



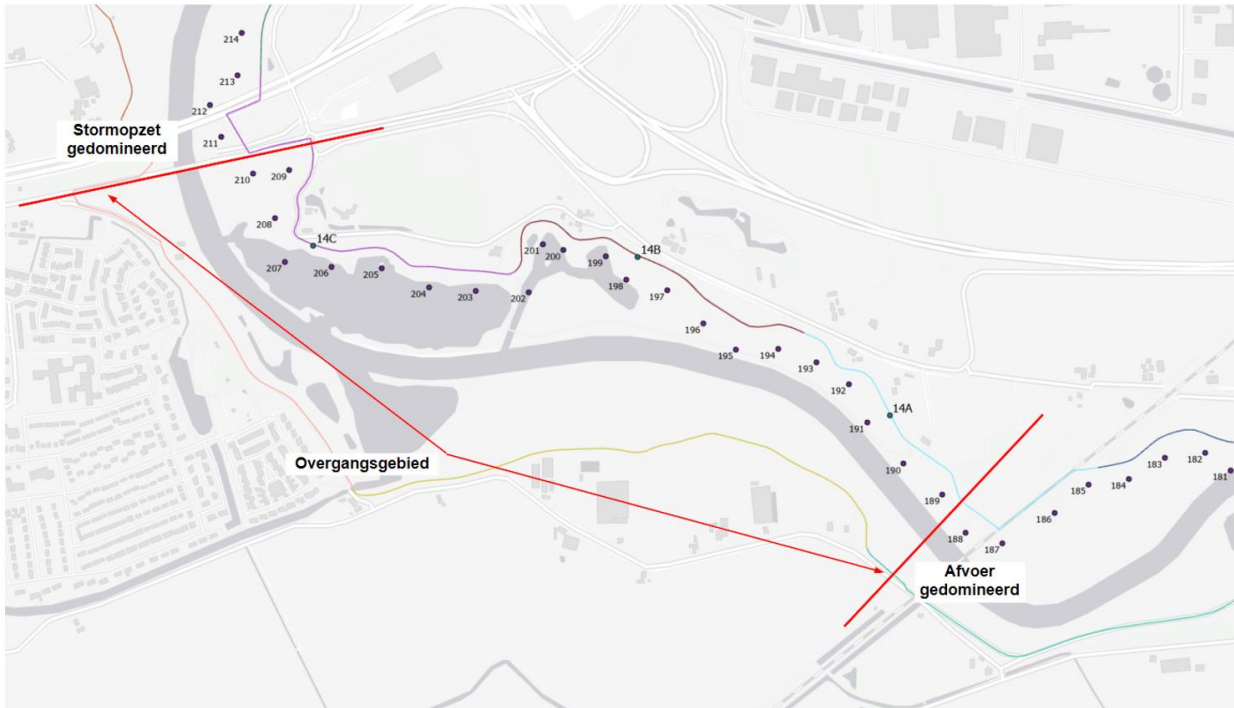
Figuur 1: Afvoer en windsnelheid uit de ontwerp punten van de waterstands berekeningen met Riskeer voor normtraject 9-1.



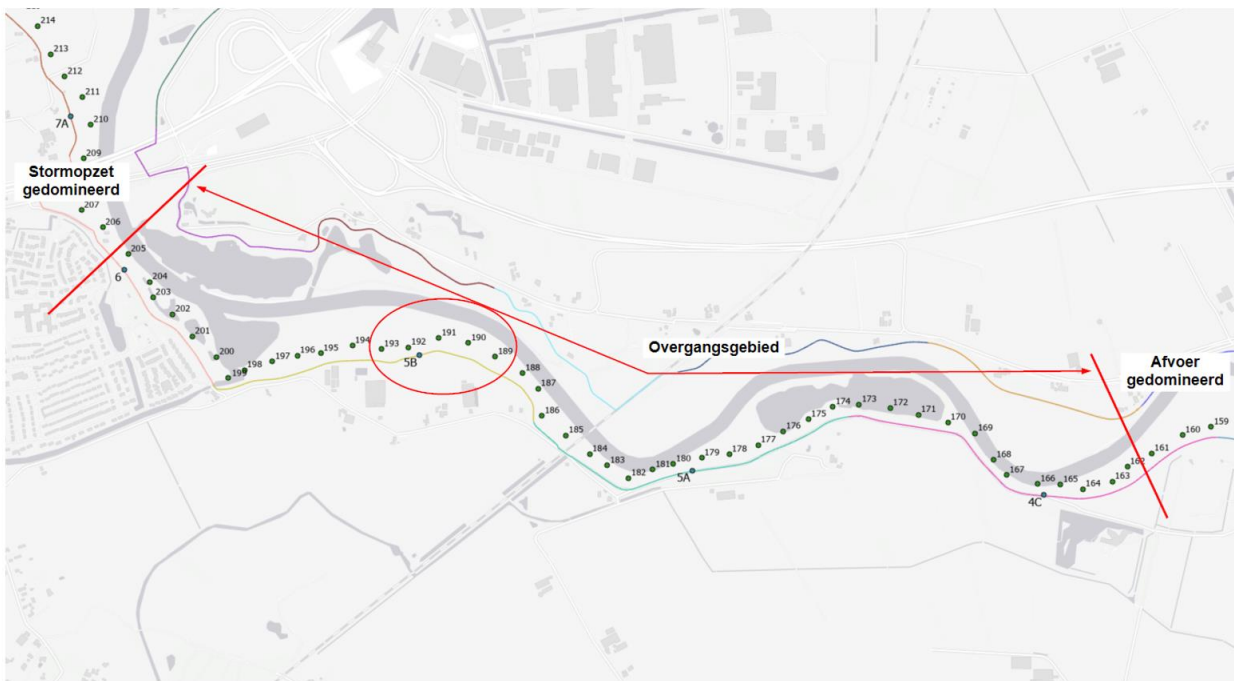
Figuur 2: Afvoer en windsnelheid uit de ontwerp punten van de waterstands berekeningen met Riskeer voor normtraject 53-3.

Op basis van Figuur 1 wordt geconcludeerd dat het overgangsgebied voor normtraject 9-1 tussen de spoorbrug (bij rkm 53) en de brug van de A28 (rkm 55) ligt, zie Figuur 3. De deeltrajecten stroomafwaarts van dit overgangsgebied worden beschouwd als stormopzet gedomineerd, de deeltrajecten stroomopwaarts van dit overgangsgebied als afvoer gedomineerd.

Voor normtraject 53-3 is de overgang minder duidelijk dan bij normtraject 9-1. Het is duidelijk dat stroomafwaarts vanaf de A58-brug het stormopzet gedomineerde deel ligt. Het overgangsgebied lijkt wat langer door te lopen tot rkm 51 (van rkm 51-55). Tussen rkm 53 en 54 lijkt het traject voor korte afstand met name stormopzet gedomineerd, zie Figuur 4. De deeltrajecten stroomopwaarts vanaf rkm 51 worden beschouwd als afvoer gedomineerd.



Figuur 3: Overgangsgebied normtraject 9-1.



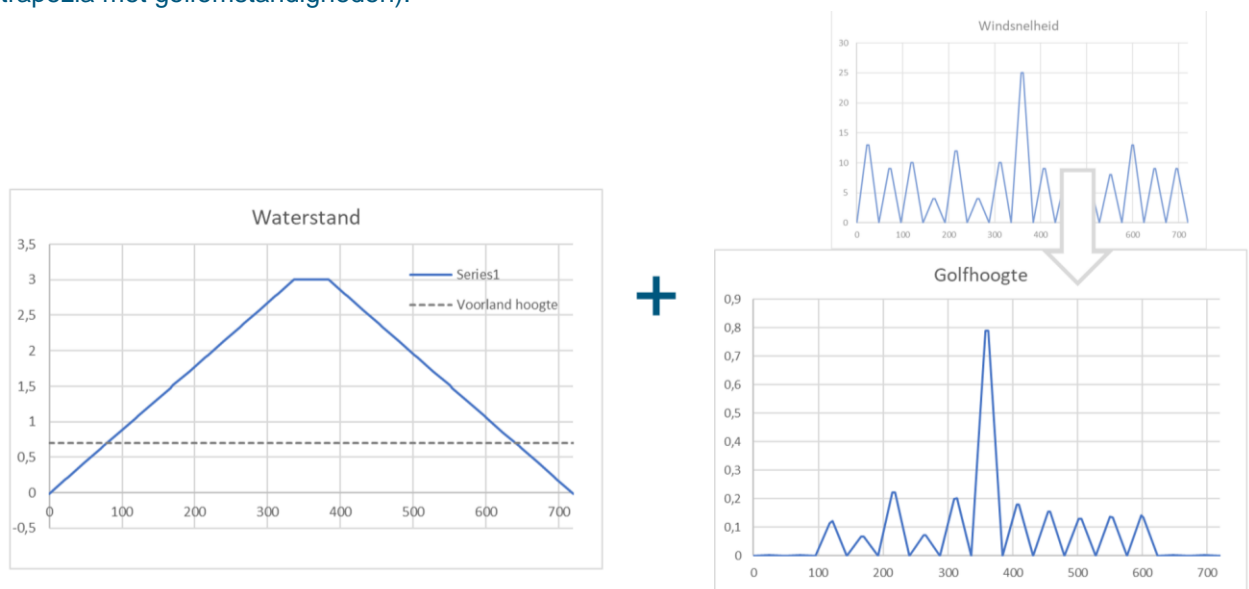
Figuur 4: Overgangsgebied normtraject 53-3. Rode cirkel in onderste figuur toont traject nabij rkm 53 en 54.

3.2 Belastingmodellen

In het Plan van Aanpak (RHDHV, 2023) zijn verschillende belastingmodellen voorgesteld. Deze zijn besproken in een overlegmoment met WDOdelta en ADO (d.d. 14 maart 2023), de uiteindelijk gekozen belastingmodellen worden hieronder gepresenteerd. De belastingmodellen zijn conservatief gekozen, in combinatie met een representatief profiel wordt hiermee een robuust resultaat verkregen.

3.2.1 Afvoer gedomineerde deel Vecht (BM1)

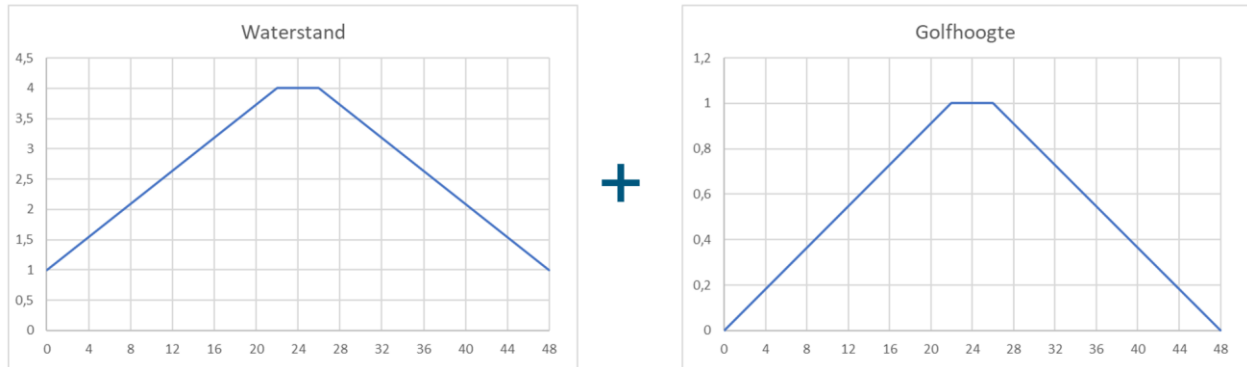
In het afvoer gedomineerde deel van de Vecht is het waterstandsverloop geschematiseerd met een trapezium van 30 dagen. De maximale waterstand is gelijk aan de waterstand die hoort bij de maximale golfhoogte uit de Q-variant. Het golfhoogteverloop is meegenomen door middel van 14 trapezia met relatief lage windsnelheden, variërende omstandigheden die relatief vaak voorkomen (windkracht 3 tot windkracht 6). Hiernaast is er één trapezium voor golfhoogtes toegepast (op de piek van het waterstandsverloop) met de maximale golfhoogte uit de Q-variant, zie Figuur 5 (totaal zijn er dus 15 trapezia met golfomstandigheden).



Figuur 5: Schematische weergave belastingmodel 1 (afvoer gedomineerd)

3.2.2 Stormopzet gedomineerde deel Vecht (BM3)

In het stormopzet gedomineerde deel van de Vecht is gekozen voor een waterstandsverloop in de vorm van een trapezium met een basis van 48 uur en een piek van 4 uur. De golfhoogte wordt in dit geval omschreven door eenzelfde trapezium. De golfhoogte en de piek waterstand uit de Q-variant is gelijk aan die uit het maatgevende niveau van de Q-variant, zie Figuur 6.

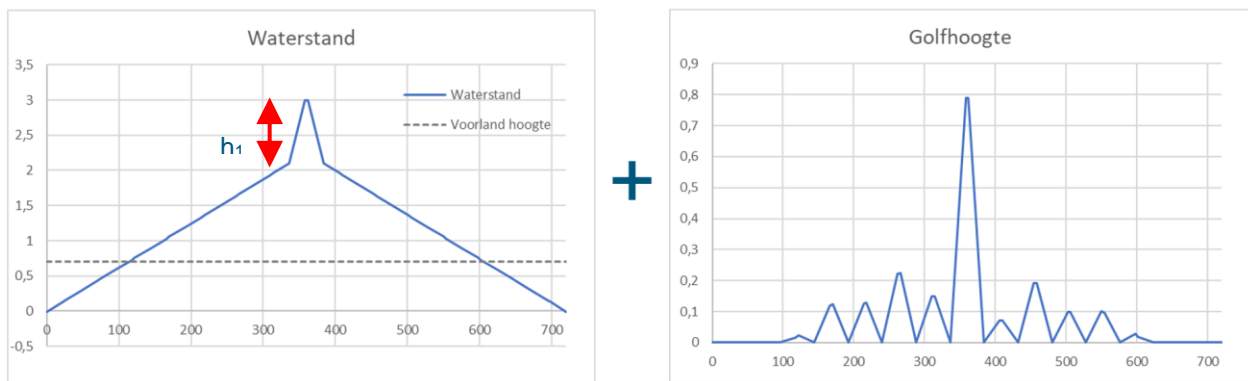


Figuur 6: Schematische weergave belastingmodel 3 (stormopzet gedomineerd)

3.2.3 Overgangsgebied (BM4)

In het overgangsgebied wordt een flauw waterstandsverloop gehanteerd passend bij een licht verhoogde afvoer. De maatgevende hoogwaterstanden worden vervolgens bereikt als tijdens deze gebeurtenis ook een storm plaatsvindt. De waterstanden zullen dan gedurende de storm (met een duur van 2 dagen) extra verhoogd worden tot aan de waterstand uit de berekeningen met Riskeer (de Q-variant). De totale opzet komt dan uit op de waterstand in de maatgevende berekening. De hoogste windsnelheden vallen in dit geval samen met de stormopzet en de piek van de waterstanden, zie Figuur 7.

De golfhoogte tijdens de storm wordt dus door een trapezium omschreven, met een piek die tegelijk valt met de piek van de waterstand en de maatgevende waarde voor de golfhoogte uit de Q-variant. Voor en na de piek passen we trapezia met een golfhoogte op basis van dagelijkse omstandigheden toe (windkracht 3 tot windkracht 6).



Figuur 7: Schematische weergave belastingmodel 4 (overgangsgebied).

Het verschil tussen de waterstand uit de Q-variant en de waterstand bij de afvoer uit het ontwerp punt is weergegeven in de figuur als de hoogte h_1 .

4 Resultaten

4.1 Golfrandvoorwaarden (Riskeer Q-variant)

Met Riskeer is de maatgevende golfhoogte over het verloop van het talud bepaald door gebruik te maken van de Q-variant. De belastingmodellen worden gebaseerd op de meest conservatieve golf uit de Q-variant.

We beschouwen de maatgevende golfhoogte uit de Q-variant in combinatie met de waterstand waarvoor deze golfhoogte is afgeleid (als piekwaterstand) in de verschillende belastingmodellen om het verloop van de waterstand en de golfhoogte te schematiseren.

Niet loodrecht invallende golven leveren een minder hoge belasting op. We kunnen beschouwen in welke mate de maximale golfhoogte gereduceerd wordt door de golfrichting t.o.v. de dijk door de invloedsfactor voor scheve golfaanval mee te nemen (bron: relevantiestudie gras op zand):

$$f_{\beta} = \max(0,35; (\cos\beta)^{0,67})$$

Hierin is β de hoek van inval t.o.v. de dijknormaal.

De invloed van scheef invallende golven is nu ook beschouwd in de analyse van de maatgevende belasting, dat was in de berekeningen die tot nu toe zijn gedaan niet het geval:

- Dat betekende meestal dat een minder scheef invallende golf met een lagere hoogte maatgevend bleek te zijn. Zie bijvoorbeeld het Riskeer resultaat van profiel 6 in Tabel 1. In plaats van de hoogste golf wordt nu een lagere golf gebruikt bij een waterstand die 1 meter lager is;
- Dat betekende ook dat het belastingmodel voor het overgangsgebied soms onlogische resultaten opleverde. De geschatte waterstand die hoorde bij de afvoer uit het ontwerp punt van de waterstandsberekeningen was vaak hoger dan de waterstand uit de Q-variant (zie BIJLAGE 2). Dit leidde tot hele kleine waarden (of zelfs negatieve waarden) voor de hoogte h_1 in het waterstandsverloop;
- Dat suggereerde dat de betreffende waterstand mogelijk niet door een gecombineerde gebeurtenis van een verhoogde afvoer en stormopzet wordt veroorzaakt, maar juist meer door een gebeurtenis die afvoer gedomineerd is. Dat beeld werd bevestigd door te kijken naar de betreffende windrichting waarbij deze waterstand optreedt.

Tabel 1: Resultaten Q-Variant Riskeer: Profiel 6 (oriëntatie van het profiel in Riskeer: 52 graden t.o.v. Noord).

Waterstand [m+NAP]	Golfhoogte [m]	Golfperiode [s]	Hoek van inval [°]	Golfrichting [°]	Windrichting [°]	f_{β}	Gecorrigeerde golfhoogte $H_s \cdot f_{\beta}$ [m]	Geschatte mate van stormopzet
3,68	0,14	1,17	-74	338	NNW	0,43	0,06	
3,5	0,29	1,72	-74	338	NNW	0,43	0,12	
3	0,79	2,74	-70	341	NNW	0,49	0,39	veel stormopzet
2,5	0,67	2,56	-49	2	N	0,75	0,50	
2	0,6	2,43	15	67	NO	0,98	0,59	geen stormopzet
1,5	0,36	2,73	15	66	NO	0,98	0,35	
1	0,08	2,87	12	63	NO	0,99	0,08	
0,8								

Hieruit is geconcludeerd dat de maatgevende belasting (en dus het belastingmodel) afhankelijk zijn van de gevonden windrichting uit het ontwerp punt van de berekeningen met de Q-variant:

- De voor GEBU dominante situatie bij een waterstand van NAP +3,0m (voor profiel 6 in Tabel 1) is afhankelijk van een bepaalde mate van stormopzet. Dit is af te leiden uit de resultaten; we zien dat de maatgevende golven ontstaan bij een windrichting waarbij er ook stormopzet op kan treden (NNW; de windrichtingen waarbij stormopzet kan optreden zijn: W, WNW, NW, NNW, en in mindere mate ook bij: N en WZW). De betreffende hoge waterstand is dus afhankelijk van een bepaalde windrichting die ook resulteert in stormopzet (NB: in combinatie met een verhoogde afvoer).
- Gelet op de resultaten kunnen we ook zeggen dat de kans op deze waterstand én hoge golven uit andere windrichtingen (meer loodrecht op de dijk) kleiner is → het is minder waarschijnlijk dat er sprake is van een relatief zware storm uit een windrichting die op de dijk is georiënteerd gegeven de oriëntatie van het profiel. Dat resulteert in scheef invallende golven voor de delen hoog op het talud.
- De waterstand van NAP +2,0m is minder afhankelijk van een bepaalde mate van stormopzet, bij relatief vaak voorkomende afvoeren kan deze waterstand al optreden. Het is dan waarschijnlijker dat de dijk ook belast kan worden vanuit andere windrichtingen (en dus ook windrichtingen loodrecht op de dijk die niet resulteren in stormopzet). We vinden dan dus ook dat voor GEBU maatgevende windrichting een windrichting is waarbij je geen stormopzet zou verwachten.

Op basis van deze inzichten is daarom gekozen voor een ander belastingmodel. Als de geschatte mate van stormopzet niet significant is, past een afvoer gedomineerd belastingmodel beter bij het deeltraject. In feite neemt de hoogte h_1 dan af tot 0, waardoor belastingmodel 4 vereenvoudigd kan worden tot belastingmodel 1. Dit geldt uiteraard niet voor het afvoer gedomineerde deel van de Vecht, daar speelt stormopzet geen rol. In het stormopzet gedomineerde deel van de Vecht is dit effect ook zichtbaar. Daar is de golfhoogte alleen minder afhankelijk van de hoogte waarop het buitentalud wordt belast, waardoor het minder sterk zichtbaar is.

4.2 Beoordeling GEBU (BM-Gras Buitentalud)

De uitkomsten van de analyse (de faalfractie per deeltraject/vak) zijn weergegeven in Tabel 2. De analyse laat zien dat op 4 vakken een faalfractie lager dan 1 berekend is (en dat dus op 4 vakken geen versterkingscope resteert voor het toetspoot GEBU).

Tabel 2: Berekende faalfractie per deeltraject (als deze kleiner is dan 1 voldoet het profiel).

9-1		53-3	
Locatie	Faalfractie	Locatie	Faalfractie
10A	2750,997	1A	0,571
10B	12500,986	1B	16250,996
11	15750,973	2	21000,995
12	15250,997	3	0,813
13	7500,989	4A	14500,0997
14A	16750,973	4B	11500,983
14B	19500,988	4C	10250,957
14C	0,839	5A	14000,963
15	11500,858	5B	15000,953
16A	17000,945	6	14500,981
16B	12500,966	7A	0,484
16C	14500,971	7B	11250,937
17A	11750,700	7C	12750,998
17B	22250,975	8A	8250,967
		8B	12000,696

De gepresenteerde resultaten worden ingeschat als beperkt conservatief; er is gerekend met representatieve profielen per vak in combinatie met een conservatief belastingmodel. Omdat is gekozen voor representatieve profielen kan het zo zijn dat de belasting op een beperkt deel van de deeltrajecten hoger is, waardoor de resultaten niet geldig zijn voor het hele deeltraject. Of een deeltraject daarvoor gevoelig is, kan worden afgeleid uit de berekende faalfractie, als deze ruim onder de 1 ligt is het waarschijnlijk dat het oordeel voor het hele deeltraject geldt. Als de berekende faalfractie dicht bij de 1 ligt is dat niet waarschijnlijk.

5 Gevoeligheidsanalyses belastingmodellen

Om de invloed van de verschillende belastingmodellen op het oordeel te bepalen zijn een aantal gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd. Met de resultaten van deze berekeningen, en de invloed hiervan op de berekende faalfracties, kan een uitspraak worden gedaan over de robuustheid van het resultaat.

De volgende gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd:

- Stormduur in het stormopzet gedomineerde deel van de Vecht:
We schematiseren een ander trapezium voor de golfhoogte en waterstand in het stormopzet gedomineerde deel van de Vecht. Voor 1 locatie per normtraject (2 locaties in totaal), worden 4 aanvullende berekeningen uitgevoerd, in totaal dus 8 berekeningen:
 1. Duur basis -> 1 en 3 dagen;
 2. Duur piek -> 2 of 8 uur i.p.v. 4 uur.
- Afvoer gedomineerde deel:
Afhankelijk van de gekozen manier om de belasting te schematiseren zullen wij voor het afvoer gedomineerde deel van de Vecht gevoeligheidsanalyses doen. Voor 2 locaties (1 per normtraject), doen we 3 aanvullende berekeningen, in totaal dus 6 berekeningen:
 3. Storm vindt plaats voor of na de piek van het hoogwater;
 4. Berekeningen zonder reguliere golfcondities voor én na de storm.

5.1 Stormduur in het stormopzet gedomineerde deel van de Vecht

De analyse is uitgevoerd voor profiel 7A (laagste faalfractie) en profiel 17B (meest benedenstrooms).

	Basis 2 d Top 4 u	Duur basis -> 3 d	Duur basis -> 1 d	Duur top -> 2 u	Duur top -> 8 u
Profiel 17B	22.250	34.750	11.250	21.000	24.250
Profiel 7A	0,484	0,67	0,30	0,42	0,60

De berekeningen laten zien dat de resultaten vooral gevoelig zijn voor de duur van de basis. De duur van de top heeft minder invloed op de resultaten maar is nog wel van invloed. De duur van de totale belasting blijkt een belangrijke factor in de berekeningen.

5.2 Afvoer gedomineerde deel van de Vecht

De analyse is uitgevoerd voor profiel 1A (laagste faalfractie) en profiel 11 (hoogste faalfractie normtraject 9-1).

	Storm op piek – reguliere condities voor en na	Storm voor piek	Storm na piek	Zonder reguliere condities voor en na
Profiel 1A	0,571	0,487	0,487	0,57
Profiel 11	15.750	14.000	14.500	15.750

Wanneer de storm voor of na de piek plaatsvindt wordt niet de hele tijd hetzelfde deel van het talud belast. Dat heeft een positieve invloed op de resultaten, hoewel de invloed beperkt is, de faalfractie neemt ongeveer 15-20% af. Verder blijkt dat de reguliere golfcondities niet of nauwelijks tot schade leiden.

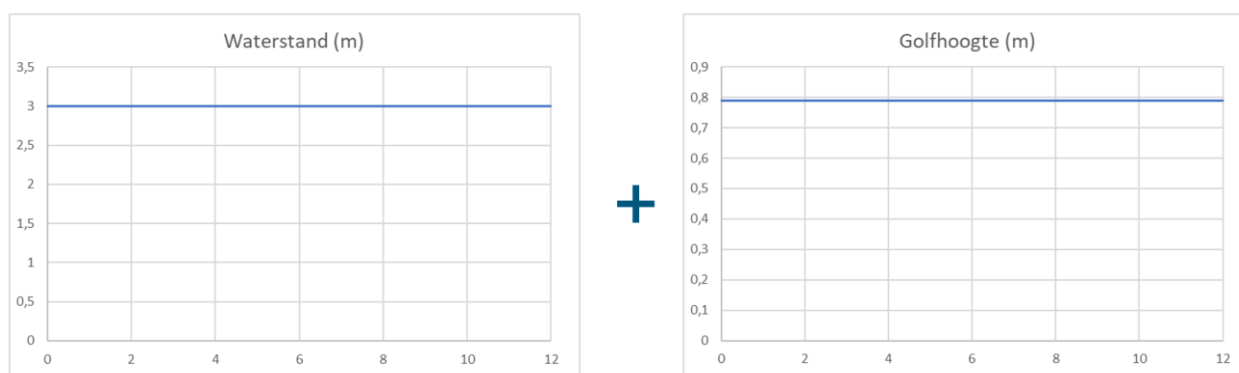
6 Duiding resultaten

In dit hoofdstuk worden een aantal zaken beschouwd om de resultaten beter te kunnen duiden:

1. Een duiding van de belastingmodellen (paragraaf 6.1).
2. Een beschouwing over de reststerkte (paragraaf 6.2).
3. Een beschouwing over de hersteltijd (paragraaf 6.3).
4. Beschouwing van de semi-probabilistische aanpak (paragraaf 6.4).
5. Kwaliteit van de grasmatten (paragraaf 6.5).
6. Indeling op basis van ontwerp punt waterstandsberekeningen (paragraaf 6.6).

6.1 Duiding van de belastingmodellen

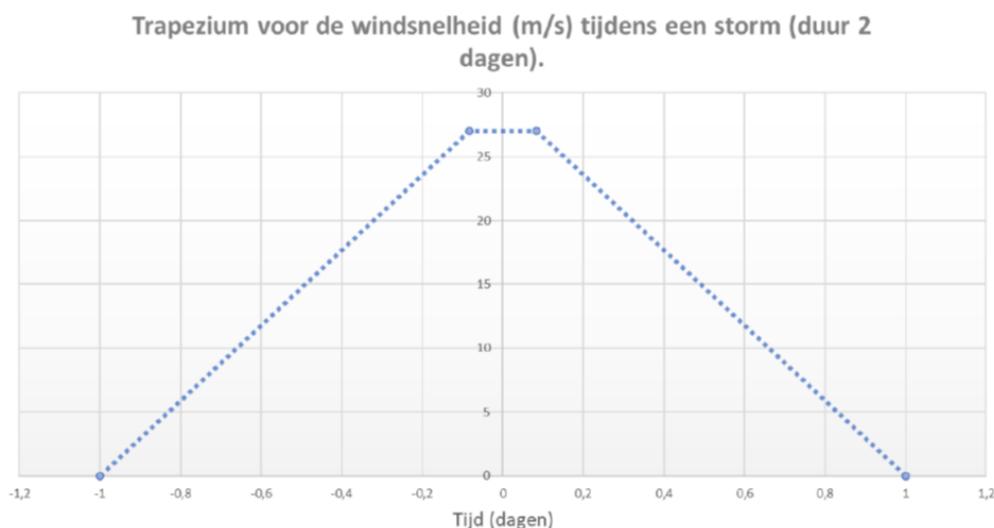
Om de verschillen tussen de belastingmodellen te kunnen duiden wordt hieronder ingegaan op de belastingmodellen. Er zijn bijvoorbeeld verschillen geconstateerd tussen de resultaten van de berekeningen met belastingmodel 2: 12 uur constante belasting (maximale golfhoogte) en belastingmodel 1: een waterstandsverloop van 30 dagen met variërende golfhoogte. Belastingmodel 2 bleek minder conservatief dan verwacht en is daarom niet meegenomen. Belastingmodel is hieronder weergegeven.



Figuur 8: Schematische weergave belastingmodel 2.

Uitgangspunt voor belastingmodel 1 (afvoer gedomineerd) is dat de storm optreedt bij de gevonden waterstand uit de Q-variant, bij lagere waterstanden kan de gevonden golfhoogte meestal niet optreden (vanwege voorland). De storm valt daarom dus ook precies samen met de piek van de waterstand in het belastingmodel. Als de storm eerder op zou treden zou de golfhoogte zich niet kunnen ontwikkelen. Belastingmodel 1 resulteert dus in een hoge belasting op hetzelfde deel van het talud over een periode van 2 dagen. De golfhoogte is alleen niet constant in tegenstelling tot de golfhoogte in belastingmodel 2.

De golfhoogte is gebaseerd op een lineaire relatie tussen de windsnelheid en golfhoogte. Het schematische verloop van de windsnelheid en de golfhoogte is te zien in Figuur 9. De golfhoogte is 4 uur maximaal (en gelijk aan de waarde uit het ontwerppunt). De hoogte is voor een periode van ruim een dag hoger dan 60% van de maximale waarde. BM2 levert daarom uiteindelijk een zwaardere belasting op.



Figuur 9: Schematische weergave van het verloop van de windsnelheid tijdens een storm.

In belastingmodel 4 (overgangsgebied) treedt de storm ook op tijdens de piek van de hoogwatergolf. De waterstanden als gevolg van de afvoer zijn in deze periode constant. Als de wind uit bepaalde windrichtingen komt treedt er aanvullende opzet op, er is dan sprake van stormopzet op de Vecht. De waterstanden nemen tijdens de piek van het hoogwater nog verder toe met de hoogte h_1 uit Figuur 7. Hierdoor wordt niet de hele tijd hetzelfde deel van het buitentalud belast, de waterstand varieert namelijk tijdens de storm als gevolg van deze stormopzet gedurende de piek van het hoogwater.

Belastingmodel 3 (stormopzet gedomineerd) is wat dat betreft een variant op belastingmodel 4, waarbij de mate van stormopzet nog groter is (de hoogte h_1 is dus groter). Als we de periode voor en na een storm met reguliere windcondities buiten beschouwing laten vereenvoudigd belastingmodel 4 naar belastingmodel 3, de hoogte h_1 is alleen groter. Dat betekent dat er meer variatie is in de waterstanden tijdens maatgevende condities en dat er dus minder belasting op hetzelfde deel van het talud plaatsvindt. Hierdoor is de uiteindelijke golfbelasting in belastingmodel 3 minder zwaar.

Belastingmodel 4 vereenvoudigd op gelijke wijze tot belastingmodel 1, afhankelijk van de mate van stormopzet.

We kunnen de maximale golfhoogte op het buitentalud waarbij we voor GEBU nog een positief resultaat krijgen voor de verschillende belastingmodellen bepalen. Uitgaande van loodrecht invallende golven is de maximale golfhoogte waarvoor GEBU goedgekeurd kan worden gelijk aan:

- Belastingmodel 1 (afvoer gedomineerd): 0,46m (faalfractie 1,00)
- Belastingmodel 2 (constante waterstand 12 uur): 0,50m (faalfractie 0,95)
- Belastingmodel 3 (stormopzet gedomineerd): 0,59m (faalfractie 0,99)
- Belastingmodel 4 (overgangsgebied): 0,53m (faalfractie 0,98)

Voor belastingmodel 3 is hier 1m stormopzet aangenomen, voor belastingmodel 4 2m. Zonder stormopzet komen de belastingmodellen allemaal uit op de waarde van belastingmodel 1. Belastingmodel 2 is iets minder conservatief dan belastingmodel 1.

Alle belastingmodellen worden overigens conservatief geacht omdat ze uitgaan van een storm tijdens de piek van het hoogwater waardoor de belasting veelal op hetzelfde deel van het talud plaatsvindt. Als dat niet zo zou zijn dan zou de waterstand niet constant zijn. Dat resulteert direct in gunstigere resultaten. Hier kan alleen niet vanuit worden gegaan, je weet niet wanneer de storm plaatsvindt. Dit is in ieder geval de meest conservatieve manier van het schematiseren van de belastingmodellen omdat de waterstand tijdens deze piek constant is.

6.2 Reststerkte

De reststerkte van de zandige kern van de dijk geeft volgens het relevantie onderzoek Gras op zand (Deltares) nog ongeveer 12 uur bescherming (bij een golfhoogte van 0,6 m is een afslag van 12m berekend bij een belastingduur van 12 uur). Afhankelijk van de dikte van de dijk op het belaste deel van het talud kan hiermee een inschatting worden gemaakt van de reststerkte. Deze reststerkte zit niet in de berekeningen met BM-Gras Buitentalud. Er wordt daarom gewezen op de aanwezige reststerkte en de mogelijke invloed hiervan op de beoordeling.

6.3 Hersteltijd

De belastingmodellen voor het overgangsgebied en het afvoer gedomineerde deel van de Vecht houden rekening met schade binnen de hersteltijd. Er kan na een storm namelijk nog aanvullende schade optreden aan de dijk onder meer reguliere omstandigheden.

Uit de gevoeligheidsberekeningen (zie sectie 5.2) blijkt dat er tijdens reguliere omstandigheden voor en na de storm niet of nauwelijks schade optreedt. Tenzij er twee stormen in korte tijd achter elkaar optreden is er tijd om herstelwerkzaamheden aan de dijk uit te voeren. De kans dat deze tweede storm hetzelfde deel van het talud belast is daarbij klein, maar dit kan tegelijkertijd ook niet uitgesloten worden.

6.4 Semi-probabilistische aanpak

Omdat de waarden uit ontwerp punt van de berekeningen met Riskeer (de resultaten van de Q-variant, paragraaf 4.1) worden gebruikt als invoer voor de berekeningen met BM-gras is de voorgestelde aanpak semi-probabilistisch. Feitelijk gezien kunnen meerdere combinaties van bijvoorbeeld meerpeil, afvoer van de Vecht en windsnelheid leiden tot dezelfde waterstanden en golfhoogtes. Dat is ook terug te zien in de illustratiepunten van de waterstandsberekeningen met Riskeer (NB: het ontwerp punt is het illustratiepunt met de hoogste kansbijdrage).

Als blijkt dat meerdere combinaties relevant kunnen zijn (d.w.z. als deze een vergelijkbare kansbijdrage hebben) is het goed om dit mee te nemen in de beschouwing van de robuustheid van het oordeel. Zeker als de waarden van de hierboven bedoelde stochasten uit de illustratie punten significant onderscheidend zijn van die uit het ontwerp punt. Als er dus illustratiepunten bij zitten met een hogere significante golfhoogte maar een lagere kansbijdrage zou dat mogelijk van invloed kunnen zijn op de beoordeling. Dit is alleen geen uitvoer van de berekeningen met de Q-variant. Het is dus alleen mogelijk om de illustratiepunten van de waterstandsberekeningen te beschouwen, deze hebben alleen invloed op de keuze voor het belastingmodel.

We weten ondertussen dat de belastingmodellen alleen in het overgangsgebied en in het stormopzet gedomineerde deel van de Vecht mogelijk conservatiever kunnen worden gekozen. In het afvoer

gedomineerde deel van de Vecht is al gerekend met het meest conservatieve belastingmodel. Wanneer er dus illustratiepunten zijn met een vergelijkbare kansbijdrage als het ontwerp punt dat meer afvoer gedomineerd is kan het belastingmodel voor GEBU mogelijk anders zijn. Voor slechts 2 vakken kan dit invloed hebben op het oordeel: deeltraject 7A en 14C. Deze zijn namelijk goedgekeurd.

Deeltraject 7A is hier niet gevoelig voor, de maatgevende golfhoogte is hier beperkt (0,36m). Ruim binnen de marge voor alle belastingmodellen. Op deeltraject 14C is niet gerekend met stormopzet, gegeven de windrichting is het niet aannemelijk dat de waterstand aanvullend wordt opgezet door stormopzet. Omdat niet is gerekend met stormopzet, vereenvoudigt het belastingmodel (BM3 = overgangsgebied) naar het belastingmodel voor het afvoer gedomineerde deel van de Vecht (BM1). Er is dus al gerekend met het meest conservatieve belastingmodel.

6.5 Kwaliteit van de grasmat

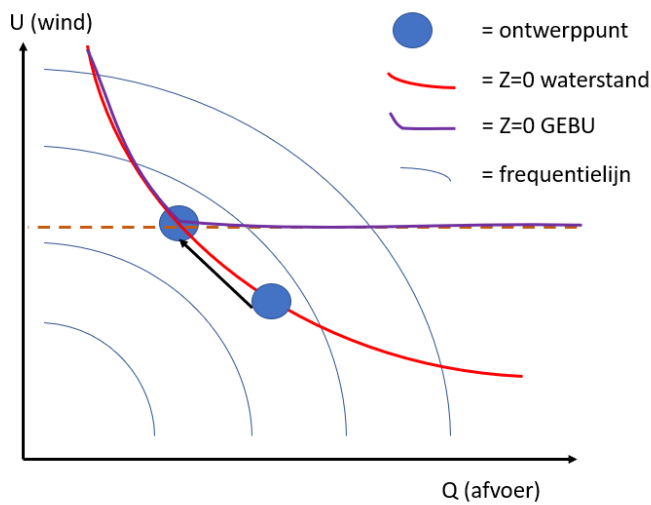
In het Technisch Rapport Erosiebestendigheid van Grasland als Dijkbekleding staat dat een goed ontwikkelde grasmat (op een zandige ondergrond) met een dicht wortelnet weerstand levert tegen erosie tot een golfhoogte van 0,7 m. Dat lijkt goed te overeen te komen met de waarde van 0,65m uit de Relevantiestudie gras op zand van Deltares. De waarde van de maximale golfhoogte van 0,5m die we vinden voor belastingmodel 2 is wat lager, er wordt opgemerkt dat dit loodrecht invallende golven betreft.

De kwaliteit van de grasmat is dus een belangrijk aandachtspunt. Op locaties met een slechtere kwaliteit van de grasmat gaat bovenstaande redenering niet zomaar op, hoewel de kwaliteit van de grasmat geen invoer is voor de berekeningen en dus geen invloed zal hebben op de berekeningen. Voor deze analyse wordt uitgegaan van een situatie na aanleg van de dijk en daarmee dus een goede graskwaliteit. Er lijkt daarmee nog wel wat ruimte te zitten in de berekeningen (ze zijn conservatief).

6.6 Indeling deelgebieden op basis van waterstandsberekeningen

In het overleg met het ADO en het waterschap (d.d. 14 maart 2023) waarin de belastingmodellen besproken zijn kwam ter sprake dat het niet helemaal correct is om de indeling in de deelgebieden te maken op basis van de ontwerp punten van de waterstandsberekeningen. Deze berekeningen zeggen namelijk wat over de maatgevende waterstanden en niet persé over de maatgevende golfhoogte voor GEBU. Na afloop van het overleg is dit besproken met het ADO. Conclusie was dat de zorgen daarover alleen van invloed zijn in het overgangsgebied en dat de gekozen methodiek daar conservatief is.

Dit heeft te maken met de manier waarop de ontwerp punten worden bepaald. Deze worden bepaald door het punt te benaderen waar de belasting (R) gelijk is aan de sterkte (S), dit heet de grenstoestand (Z). Als $Z=R-S$ gelijk is aan 0 betekent dat falen, dit punt wordt bepaald voor meerdere combinaties. Voor een bepaalde faalkans kunnen de combinaties worden bepaald en deze hebben allemaal een andere kans van voorkomen. Het ontwerp punt is de betreffende combinatie voor $Z=0$ met de hoogste kans.



Figuur 10: Ontwerppunten waterstand en GEBU, ter toelichting op de tekst.

Voor GEBU wordt de grenstoestand anders omschreven dan voor de waterstand. Wat hoger op het buitentalud is deze ook afhankelijk van de waterstand maar de grenstoestand voor GEBU is ook afhankelijk van de windsnelheid. Hierdoor vind je andere ontwerppunten voor GEBU dan voor de waterstand.

Gedeeltelijk is het ontwerppunt dus wel afhankelijk van een bepaalde waterstand; je hebt namelijk een bepaalde waterstand nodig voor bepaalde delen van het talud belast kunnen worden. Maar er is ook een bepaalde minimale windsnelheid nodig om te falen. Dat betekent dat de curve van de Z=0 functie voor GEBU gedeeltelijk gelijk is aan die van de waterstand maar wordt afgekapt door de windsnelheid, zie de blauwe lijn in Figuur 10. Dat betekent dat je voor GEBU, in het overgangsgebied, dus altijd ontwerppunten vindt met hogere windsnelheden. Daarom is deze manier van schematiseren uiteindelijk conservatief.

7 Conclusies

De uitkomsten van de analyse (de faalfractie per deeltraject/vak) zijn weergegeven in Tabel 3. De analyse laat zien dat op 4 vakken een faalfractie lager dan 1 is berekend (en dat dus op 4 vakken geen scope resteert voor GEBU).

Tabel 3: Berekende faalfractie per deeltraject (als deze kleiner is dan 1 voldoet het profiel).

9-1		53-3	
Locatie	Faalfractie	Locatie	Faalfractie
10A	2750,997	1A	0,571
10B	12500,986	1B	16250,996
11	15750,973	2	21000,995
12	15250,997	3	0,813
13	7500,989	4A	14500,0997
14A	16750,973	4B	11500,983
14B	19500,988	4C	10250,957
14C	0,839	5A	14000,963
15	11500,858	5B	15000,953
16A	17000,945	6	14500,981
16B	12500,966	7A	0,484
16C	14500,971	7B	11250,937
17A	11750,700	7C	12750,998
17B	22250,975	8A	8250,967
		8B	12000,696

Deze resultaten worden ingeschat als beperkt conservatief, er is gerekend met representatieve profielen per vak in combinatie met een conservatief belastingmodel. De reststerkte is nog niet meegenomen en het lijkt aannemelijk dat er vaak nog hersteltijd is na een storm. Onder reguliere omstandigheden treedt niet of nauwelijks schade op. De gevonden faalfracties lijken ook voorzichtig ten opzichte van andere leidraden voor grasbekledingen (zoals het Technisch Rapport Erosiebestendigheid van Grasland als Dijkbekleding). Wat dat betreft geeft dit voldoende zekerheid dat de scope op deze trajecten met vertrouwen kan worden aangescherpt.

Hoek van inval

Door de hoek van inval mee te nemen bij de beschouwing van de resultaten van de Q-variant weten we zeker dat we aan de conservatieve kant blijven zitten. Als we dit niet hadden gedaan hadden we mogelijk profielen onterecht goedgekeurd. We zien dat de maatgevende belasting dan lager op het talud plaatsvindt. Bij lagere waterstanden worden de golven niet door een gecombineerde gebeurtenis van een verhoogde afvoer en stormopzet veroorzaakt, maar juist meer door een gebeurtenis die afvoer gedomineerd is (en dan kan de wind uit alle richtingen komen). Hierdoor zijn de maatgevende golven bij deze lagere waterstanden vaak meer loodrecht op de dijk georiënteerd.

Belastingmodel passend bij windrichting

We zien dat het te hanteren belastingmodel voor het overgangsgebied afhankelijk is van de hoogte van het betreffende deel van het talud dat wordt belast. Hoe lager op het talud, hoe relevanter de afvoer gedomineerde belastingmodellen logischerwijs worden. We zien dat duidelijk terug in de Riskeer resultaten. We merken daarbij op dat deze relatie afhankelijk is van de oriëntatie van de dijkvakken. Als

een windrichting loodrecht op een dijkvak ook resulteert in stormopzet in het systeem, vinden we vaak hogere waterstanden in het ontwerp punt van de Q-variant.

We vonden het nodig om de keuze voor het belastingmodel in het overgangsgebied daarop aan te passen. De voorgestelde aanpak in het PvA bleek ook niet altijd in een logisch waterstandsverloop te resulteren. We hebben de hoogte h_1 zoals bedoeld in Figuur 1 daarom afhankelijk gemaakt van de geschatte mate stormopzet (en dus van de windrichting uit het ontwerp punt van de berekening met de Q-variant). Dat betekende soms dat er geen aanvullende stormopzet in het systeem is, h_1 is dan gelijk aan 0 m. Het belastingmodel voor het overgangsgebied wordt dan gelijk aan die van het afvoer gedomineerde deel van de Vecht.

We merken op dat bovenstaande ook geldt voor het stormopzet gedomineerde deel van de Vecht. In het stormopzet gedomineerde deel van de Vecht vinden we echter vrijwel altijd windrichtingen waarbij er sprake is van stormopzet in het systeem. Voor profiel 7A, 7C en 17B was dit niet het geval, daar hebben we ook gekozen voor een ander belastingmodel. In het afvoer gedomineerde deel van de Vecht zijn de waterstanden niet afhankelijk van stormopzet. Daar is dit dus niet van toepassing.

Mate van conservatisme

De belastingmodellen zijn conservatief: de storm vindt altijd plaats gelijktijdig met de piek van het waterstandsverloop. De waterstanden zijn dan gedurende de storm constant, hetzelfde deel van het buitentalud wordt dan lang (2 dagen) door de maatgevende golven uit de Q-variant belast. Als de storm op zou treden voor of na deze piek in het waterstandsverloop, zouden de waterstanden niet constant zijn en dan zouden de resultaten gunstiger uitvallen. Dat valt alleen niet uit te sluiten.

We merken op dat voor vrijwel alle profielen de geschematiseerde belasting het resultaat is van een constante waterstand voor een periode van 2 dagen met daarbij een golfhoogte volgens een trapezium met een basis van 2 dagen. Op basis van de resultaten (inclusief die van de gevoeligheidsanalyses) kunnen we concluderen dat dit het meest conservatieve belastingmodel is. De andere belastingmodellen leveren altijd gunstigere resultaten op.

De periode voor en na de piek in het waterstandsverloop (met meer dagelijkse golfomstandigheden) heeft dan nauwelijks nog invloed op de resultaten. De dijk faalt altijd tijdens de piek in de waterstanden. De gecorrigeerde golfhoogte (loodrecht op de dijk) die net niet resulteert in falen van de dijk is bepaald op 0,46m. Dat is aanzienlijk minder dan verwacht.

In het stormopzet gedomineerde deel van de Vecht zijn de waterstanden niet constant tijdens de storm. Daar is de waterstand meestal gecorreleerd aan de stormopzet en daarom is deze daar dus ook geschematiseerd als een trapezium. De golfhoogtes in dit deel van de Vecht zijn over het algemeen veel groter ($> 0,5m$) waardoor ook hier de scope meestal niet beperkt kon worden.

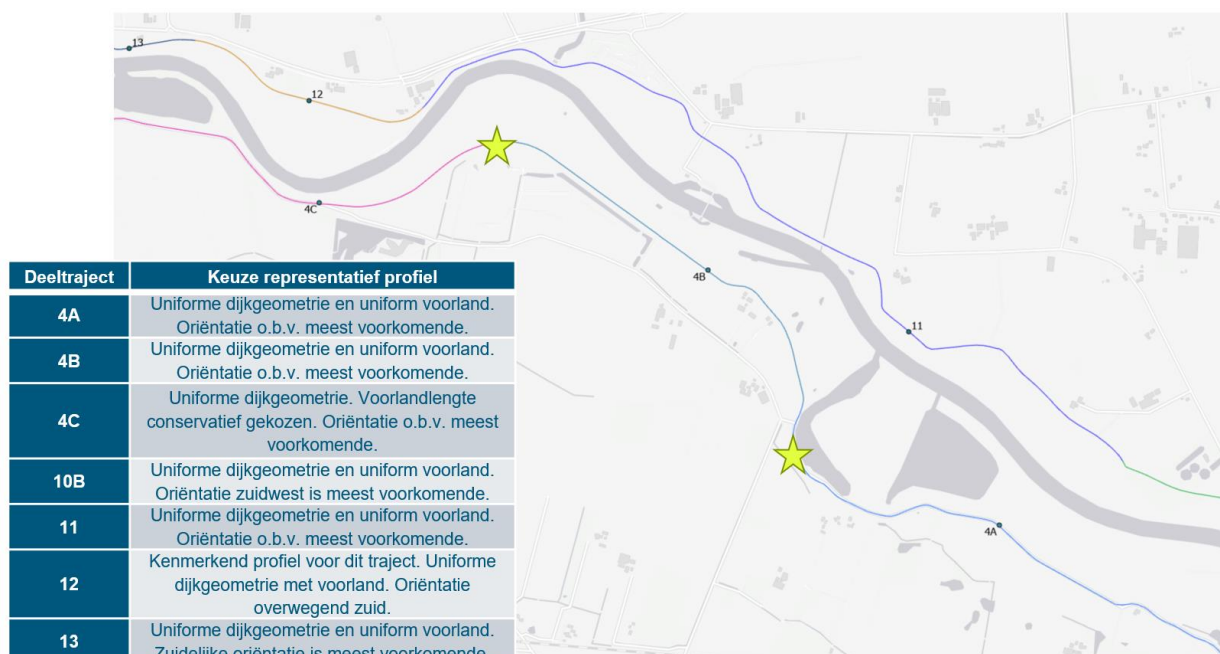
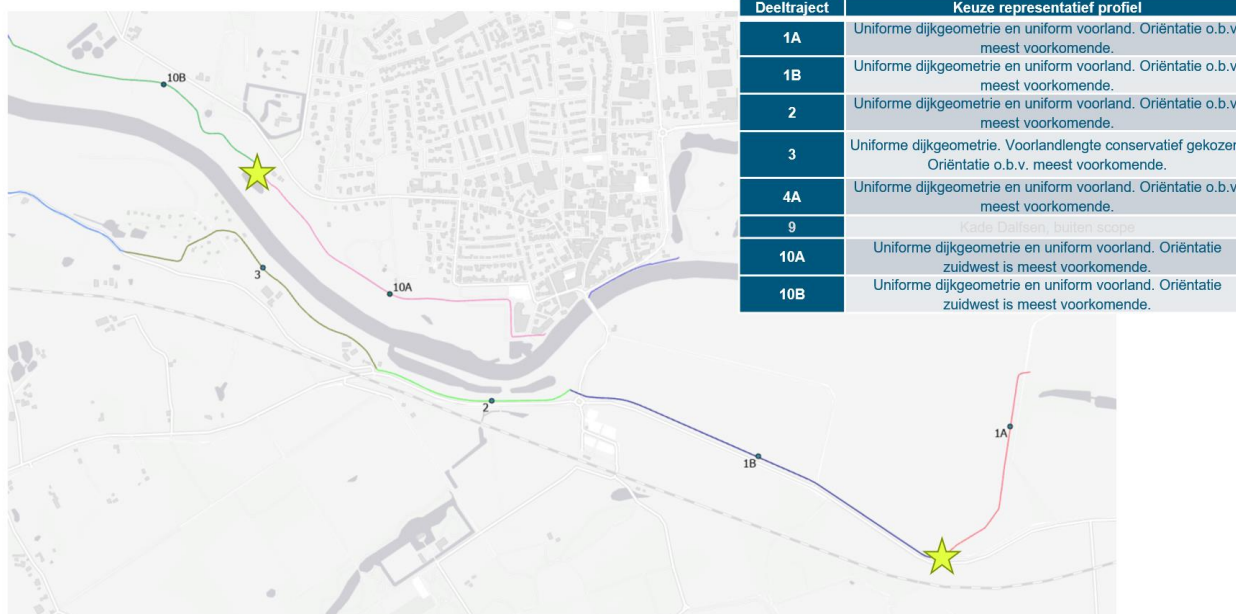
We merken op dat hoger of lager op het talud vaak juist wel met een gunstiger belastingmodel/gunstiger golfklimaat kan worden gerekend, hiermee kan GEBU-opgave over de hoogte van het buitentalud worden aangescherpt. Dat is in deze analyse niet gedaan (de meest conservatieve golfhoogte is beschouwd voor het hele buitentalud). Uit de Riskeer resultaten kunnen we in ieder geval afleiden (op basis van de gecorrigeerde golfhoogte) dat de hoogste delen van het buitentalud waarschijnlijk zullen voldoen. De laagste delen van het buitentalud zullen ook voldoen omdat daar de golfhoogte wordt beperkt door het voorland. Daar tussenin wordt het buitentalud door de hoogste golven belast en zijn de resultaten dus geldig.

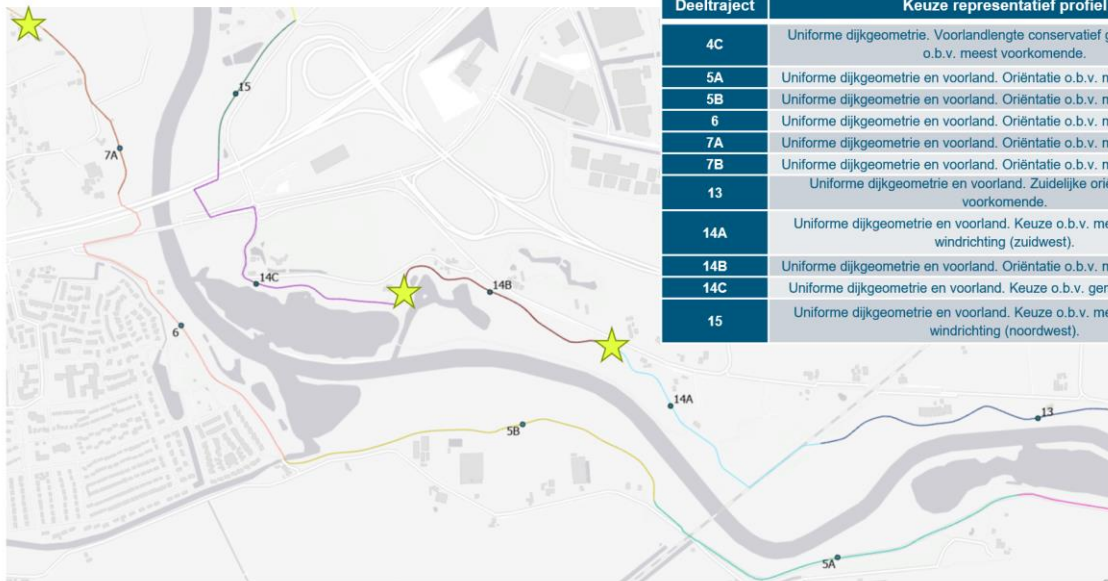
Conclusies

Met de opgedane inzichten kunnen we de resultaten duidelijk interpreteren en verklaren. We hebben er vertrouwen in dat deze conservatief zijn. Het is een logisch en uitlegbaar verhaal geworden. Helaas heeft dat alleen niet geresulteerd in een significante afname van de scope.

BIJLAGE: Trajectindeling en profiellocaties GEBU analyse

★ = extra knip





Deeltraject	Keuze representatief profiel
4C	Uniforme dijkgeometrie. Voorlandlengte conservatief gekozen. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
5A	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
5B	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
6	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
7A	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
7B	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
13	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Zuidelijke oriëntatie is meest voorkomende.
14A	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Keuze o.b.v. meest voorkomende windrichting (zuidwest).
14B	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
14C	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Keuze o.b.v. gemiddelde oriëntatie.
15	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Keuze o.b.v. meest voorkomende windrichting (noordwest).



Deeltraject	Keuze representatief profiel
7A	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
7B	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
7C	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
8A	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
8B	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Keuze o.b.v. gemiddelde oriëntatie.
15	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Keuze o.b.v. meest voorkomende windrichting (noordwest).
16A	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Keuze o.b.v. gemiddelde oriëntatie.
16B	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
16C	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
17A	Uniforme dijkgeometrie en voorland. Keuze o.b.v. gemiddelde oriëntatie.

Deeltraject	Keuze representatief profiel
7A	Uniforme dijkgeometrie en uniform voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
7B	Uniforme dijkgeometrie en uniform voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
7C	Uniforme dijkgeometrie en uniform voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
8A	Uniforme dijkgeometrie en uniform voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
8B	Uniforme dijkgeometrie en uniform voorland. Keuze o.b.v. gemiddelde oriëntatie.
16C	Uniforme dijkgeometrie en uniform voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.
17A	Uniforme dijkgeometrie en uniform voorland. Keuze o.b.v. gemiddelde oriëntatie.
17B	Uniforme dijkgeometrie en uniform voorland. Oriëntatie o.b.v. meest voorkomende.



BIJLAGE: Resultaten Q-variant Riskeer

Profiel: 10A	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	4,62	0,26	1,6	71	270	WZW	0,48	0,12	4,0	6,5%	
	4,5	0,24	1,52	48	247	ZW	0,76	0,18	3,6	6,7%	
	4	0,63	2,08	70	269	WZW	0,50	0,31	6,8	9,3%	
	3,5	0,55	2,22	47	246	ZW	0,77	0,43	7,7	7,1%	
	3	0,5	2,11	25	224	ZZW	0,94	0,47	7,0	7,2%	geen stormopzet
Voorland:	2	0,23	2,29	3	202	Z	1,00	0,23	8,2	2,8%	

Profiel: 10B	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	4,47	0,34	1,86	48	247	ZW	0,76	0,26	5,4	6,3%	
	4	0,5	1,93	26	225	ZZW	0,93	0,47	5,8	8,6%	
	3,5	0,76	2,38	47	246	ZW	0,77	0,59	8,8	8,6%	
	3	0,59	2,67	25	224	ZZW	0,94	0,55	11,1	5,3%	geen stormopzet
	2,5	0,27	2,66	3	202	Z	1,00	0,27	11,0	2,4%	
	2	0,03	2,99	18	217	ZZW	0,97	0,03	14,0	0,2%	
	1,9										

Profiel: 11	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	4,37	0,32	1,8	49	270	WZW	0,75	0,24	5,1	6,3%	
	4	0,48	1,88	5	225	ZZW	1,00	0,48	5,5	8,7%	
	3,5	0,76	2,82	44	264	WZW	0,80	0,61	12,4	6,1%	beperkte stormopzet
	3	0,47	2,55	4	224	ZZW	1,00	0,47	10,2	4,6%	
Voorland:	2,5	0,14	3	3	224	ZZW	1,00	0,14	14,1	1,0%	
	2,2										

Profiel: 12	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,98	0,3	1,72	53	247	ZW	0,72	0,21	4,6	6,5%	
	3,5	0,49	1,92	52	247	ZW	0,72	0,36	5,8	8,5%	
	3	0,8	2,82	61	256	WZW	0,62	0,49	12,4	6,4%	beperkte stormopzet
	2,5	0,74	2,72	43	238	ZW	0,81	0,60	11,6	6,4%	geen stormopzet
	2	0,45	2,75	22	217	ZZW	0,95	0,43	11,8	3,8%	
	1,5	0,11	3,25	20	214	ZZW	0,96	0,11	16,5	0,7%	
Voorland:	1,38										

Profiel: 13	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,88	0,31	1,76	57	225	ZZW	0,66	0,21	4,8	6,4%	geen stormopzet
	3,5	0,35	2,41	56	223	ZZW	0,68	0,24	9,1	3,9%	
	3	0,71	2,25	55	222	ZZW	0,69	0,49	7,9	9,0%	
	2,5	0,68	2,72	51	219	ZZW	0,73	0,50	11,6	5,9%	geen stormopzet
Voorland:	2	0,33	2,75	29	197	Z	0,91	0,30	11,8	2,8%	
	1,5	0,03	3,47	25	193	Z	0,94	0,03	18,8	0,2%	
	1,45										

Profiel: 14A	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,59	0,34	1,87	27	270	WZW	0,93	0,31	5,5	6,2%	
	3,5	0,34	1,86	27	270	WZW	0,93	0,31	5,4	6,3%	
	3	0,78	2,39	27	270	WZW	0,93	0,72	8,9	8,7%	
	2,5	0,78	2,9	26	269	WZW	0,93	0,73	13,1	5,9%	beperkte stormopzet
Voorland:	2	0,43	3,08	4	247	ZW	1,00	0,43	14,8	2,9%	
	1,5	0,36	0,9	4	247	ZW	1,00	0,36	1,3	28,5%	
	1,09										

Profiel: 14B	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,53	0,22	1,72	44	247	ZW	0,80	0,18	4,6	4,8%	
	3,5	0,22	1,72	44	247	ZW	0,80	0,18	4,6	4,8%	
	3	0,54	2,02	22	225	ZZW	0,95	0,51	6,4	8,5%	
	2,5	0,87	2,92	43	246	ZW	0,81	0,70	13,3	6,5%	geen stormopzet
Voorland:	2	0,71	2,79	21	224	ZZW	0,95	0,68	12,2	5,8%	
	1,5	0,37	3,25	21	224	ZZW	0,96	0,35	16,5	2,2%	
	1	0,1	3,34	19	222	ZZW	0,96	0,10	17,4	0,6%	

Profiel: 14C	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,49	0,16	1,46	56	247	ZW	0,68	0,11	3,3	4,8%	
	3	0,4	1,73	32	223	ZZW	0,90	0,36	4,7	8,6%	
	2,5	0,55	2,65	46	237	ZW	0,79	0,43	11,0	5,0%	
Voorland:	2	0,18	3,1	26	217	ZZW	0,93	0,17	15,0	1,2%	

Profiel: 15	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,24	0,33	1,82	-32	270	W	0,90	0,30	5,2	6,4%	
	3	0,88	2,61	-9	293	WNW	0,99	0,87	10,6	8,3%	
	2,5	0,9	3,15	-9	293	WNW	0,99	0,89	15,5	5,8%	veel stormopzet
	2	0,69	3,56	12	314	WNW	0,98	0,68	19,8	3,5%	
	1,5	0,4	3,48	12	314	WNW	0,99	0,39	18,9	2,1%	
	1	0,14	3,46	10	312	WNW	0,99	0,14	18,7	0,7%	
Voorland:	0,65										

Profiel: 16A	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,24	0,22	1,62	36	292	W	0,87	0,19	4,1	5,4%	
	3	0,89	2,57	36	292	W	0,87	0,78	10,3	8,6%	
	2,5	0,91	3,07	13	270	WZW	0,98	0,89	14,7	6,2%	beperkte stormopzet
	2	0,86	3,57	13	269	WZW	0,98	0,85	19,9	4,3%	
	1,5	0,63	3,4	13	269	WZW	0,98	0,62	18,0	3,5%	
	1	0,32	3,25	12	268	WZW	0,99	0,32	16,5	1,9%	
Voorland:	0,5										

Profiel: 16B	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	2,87	0,64	2,69	57	274	W	0,67	0,43	11,3	5,7%	
	2,5	0,87	3,24	49	266	WZW	0,75	0,65	16,4	5,3%	beperkte stormopzet
	2	0,52	3,63	32	249	WZW	0,90	0,47	20,6	2,5%	
	1,5	0,19	3,88	24	240	ZW	0,94	0,18	23,5	0,8%	
Voorland:	1,3										

Profiel: 16C	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,1	0,38	1,97	25	270	WZW	0,93	0,35	6,1	6,3%	
	3	0,45	2,22	48	292	W	0,77	0,35	7,7	5,8%	
	2,5	0,8	2,49	25	269	WZW	0,94	0,75	9,7	8,3%	beperkte stormopzet
	2	0,52	2,74	3	247	ZW	1,00	0,52	11,7	4,4%	
	1,5	0,2	3,32	3	247	ZW	1,00	0,20	17,2	1,2%	
Voorland:	1										

Profiel: 17A	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,02	0,28	1,97	-37	270	W	0,86	0,24	6,1	4,6%	
	3	0,28	1,96	-37	270	W	0,86	0,24	6,0	4,7%	
	2,5	0,92	2,72	-14	293	WNW	0,98	0,90	11,6	8,0%	veel stormopzet
	2	0,84	3,78	-14	293	WNW	0,98	0,82	22,3	3,8%	
	1,5	0,55	3,67	-13	294	WNW	0,98	0,54	21,0	2,6%	
	1	0,22	3,61	-11	296	WNW	0,99	0,22	20,3	1,1%	
Voorland:	0,74										

Profiel: 17B	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,02	0,27	1,9	50	269	WZW	0,74	0,20	5,6	4,8%	
	3	0,27	1,9	50	269	WZW	0,74	0,20	5,6	4,8%	
	2,5	0,89	2,66	47	266	WZW	0,77	0,69	11,0	8,1%	bepaalde stormopzet
	2	0,84	3,24	25	244	ZW	0,93	0,79	16,4	5,1%	geen stormopzet
	1,5	0,55	3,69	23	242	ZW	0,95	0,52	21,3	2,6%	
	1	0,17	3,79	15	234	ZW	0,98	0,17	22,4	0,8%	
Voorland:	0,85										

Profiel: 1A	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	5,17	0,1	0,91	-14	68	ONO	0,98	0,10	1,3	7,7%	
	5	0,18	1,27	-36	45	NO	0,87	0,16	2,5	7,1%	
	4,5	0,31	1,51	-36	45	NO	0,87	0,27	3,6	8,7%	
	4	0,43	1,76	-36	46	NO	0,87	0,37	4,8	8,9%	geen stormopzet
	3,5	0,5	2,6	-63	18	N	0,59	0,30	10,6	4,7%	
	3	0,3	1,91	-45	37	NNO	0,79	0,24	5,7	5,3%	
Voorland:	2,55										

Profiel: 1B	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	5,16	0,27	1,67	-68	315	NW	0,52	0,14	4,4	6,2%	
	5	0,32	1,77	22	45	NNO	0,95	0,30	4,9	6,5%	
	4,5	0,76	2,34	-44	339	NNW	0,81	0,61	8,5	8,9%	veel stormopzet
	4	0,75	2,8	-41	342	NNW	0,83	0,62	12,2	6,1%	veel stormopzet
	3,5	0,45	2,91	-1	23	NNO	1,00	0,45	13,2	3,4%	
	3	0,16	3,13	-17	6	N	0,97	0,16	15,3	1,0%	
Voorland:	2,64										

Profiel: 2	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_B	$H_s * f_B$	L	Steilheid	Stormopzet
	4,9	0,26	1,62	-67	293	WNW	0,54	0,14	4,1	6,3%	
	4,5	0,57	2,44	-43	316	NW	0,81	0,46	9,3	6,1%	
	4	0,9	2,97	-42	318	NW	0,82	0,74	13,8	6,5%	veel stormopzet
	3,5	0,8	3,49	-40	319	NW	0,84	0,67	19,0	4,2%	
	3	0,49	3,02	-19	340	NNW	0,96	0,47	14,2	3,4%	
	2,5	0,16	3,49	-29	330	NW	0,92	0,15	19,0	0,8%	
Voorland:	2,27										

Profiel: 3	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_B	$H_s * f_B$	L	Steilheid	Stormopzet
	4,72	0,19	1,37	-76	338	NNW	0,39	0,07	2,9	6,5%	
	4,5	0,19	1,4	37	90	ONO	0,86	0,16	3,1	6,2%	
	4	0,6	1,99	-75	339	NNW	0,41	0,25	6,2	9,7%	veel stormopzet
	3,5	0,55	2,24	-52	1	N	0,72	0,40	7,8	7,0%	
	3	0,58	2,26	-51	2	N	0,73	0,43	8,0	7,3%	bepaalde stormopzet
Voorland:	2,5	0,26	2,17	-8	46	NO	0,99	0,26	7,4	3,5%	
Voorland:	2										

Profiel: 4A	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_B	$H_s * f_B$	L	Steilheid	Stormopzet
	4,59	0,28	1,69	-65	338	NNW	0,56	0,16	4,5	6,3%	
	4,5	0,27	1,67	-65	338	NNW	0,57	0,15	4,4	6,2%	
	4	0,51	2,37	-55	348	NNW	0,69	0,35	8,8	5,8%	
	3,5	0,75	2,9	-47	357	NNW	0,78	0,58	13,1	5,7%	veel stormopzet
Voorland:	3	0,43	3,37	-36	7	N	0,87	0,37	17,7	2,4%	
Voorland:	2,52										

Profiel: 4B	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_B	$H_s * f_B$	L	Steilheid	Stormopzet
	4,41	0,24	1,54	-58	338	NNW	0,65	0,16	3,7	6,5%	
	4	0,45	1,82	-58	338	NNW	0,65	0,29	5,2	8,7%	
	3,5	0,78	2,75	-55	341	NNW	0,69	0,54	11,8	6,6%	veel stormopzet
	3	0,74	2,71	-53	343	NNW	0,71	0,52	11,5	6,5%	
	2,5	0,41	2,84	-32	4	N	0,90	0,37	12,6	3,3%	
	2	0,12	2,91	-24	12	N	0,94	0,11	13,2	0,9%	
Voorland:	1,81										

Profiel: 4C	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	4,2	0,27	1,64	-73	293	WNW	0,45	0,12	4,2	6,4%	veel stormopzet
	4	0,32	2,35	-50	315	NW	0,74	0,24	8,6	3,7%	
	3,5	0,76	2,28	-50	315	NW	0,74	0,57	8,1	9,4%	
	3	0,73	2,64	-28	338	NNW	0,92	0,67	10,9	6,7%	veel stormopzet
Voorland:	2,5	0,48	2,71	-5	360	N	1,00	0,48	11,5	4,2%	
	2	0,17	2,72	-5	360	N	1,00	0,17	11,6	1,5%	
	1,6										

Profiel: 5A	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	4,02	0,28	1,69	-60	293	WNW	0,64	0,18	4,5	6,3%	
	4	0,28	1,69	-60	293	WNW	0,64	0,18	4,5	6,3%	
	3,5	0,72	2,21	-37	315	NW	0,86	0,62	7,6	9,4%	
	3	0,8	2,74	-37	315	NW	0,86	0,69	11,7	6,8%	
	2,5	0,84	3,04	-37	315	NW	0,86	0,72	14,4	5,8%	veel stormopzet
Voorland:	2	0,71	2,28	-14	338	NNW	0,98	0,69	8,1	8,7%	
	1,5	0,31	2,72	8	360	NNW	0,99	0,31	11,6	2,7%	
	1	0,18	0,57	8	360	NNW	0,99	0,18	0,5	35,5%	

Profiel: 5B	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,74	0,32	1,81	-59	293	WNW	0,64	0,20	5,1	6,3%	
	3,5	0,74	2,26	-59	293	WNW	0,64	0,48	8,0	9,3%	
	3	0,89	2,94	-36	316	NW	0,87	0,77	13,5	6,6%	veel stormopzet
Voorland:	2,5	0,88	3,3	-35	317	NW	0,87	0,77	17,0	5,2%	
	2	0,58	3,09	-14	338	NNW	0,98	0,57	14,9	3,9%	
	1,5	0,28	3,17	-13	339	NNW	0,98	0,28	15,7	1,8%	
	1	0,04	3,44	-23	329	NW	0,95	0,04	18,5	0,2%	

Profiel: 6	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,68	0,14	1,17	-74	338	NNW	0,43	0,06	2,1	6,6%	veel stormopzet
	3,5	0,29	1,72	-74	338	NNW	0,43	0,12	4,6	6,3%	
	3	0,79	2,74	-70	341	NNW	0,49	0,39	11,7	6,7%	
	2,5	0,67	2,56	-49	2	N	0,75	0,50	10,2	6,5%	
	2	0,6	2,43	15	67	NO	0,98	0,59	9,2	6,5%	geen stormopzet
Voorland:	1,5	0,36	2,73	15	66	NO	0,98	0,35	11,6	3,1%	
	1	0,08	2,87	12	63	NO	0,99	0,08	12,9	0,6%	

Profiel: 7A	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,48	0,15	1,07	-78	0	N	0,35	0,05	1,8	8,4%	beperkte stormopzet
	3	0,35	2,75	-68	9	N	0,37	0,13	11,8	3,0%	
	2,5	0,68	2,88	-64	14	N	0,44	0,30	13,0	5,3%	
	2	0,36	2,31	-9	69	ONO	0,99	0,36	8,3	4,3%	geen stormopzet
Voorland:	1,5 1,3	0,08	2,53	-7	71	ONO	0,99	0,08	10,0	0,8%	

Profiel: 7B	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,07	0,91	2,65	-60	318	NW	0,63	0,57	11,0	8,3%	veel stormopzet
	3	0,89	2,63	-60	318	NW	0,63	0,56	10,8	8,2%	
	2,5	0,74	3,1	-17	1	N	0,97	0,72	15,0	4,9%	beperkte stormopzet
	2	0,39	3,61	-16	2	N	0,97	0,38	20,3	1,9%	
Voorland:	1,5 1,18	0,13	3,6	-14	4	N	0,98	0,13	20,2	0,6%	

Profiel: 7C	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,3	0,13	1,04	68	158	ZZO	0,51	0,07	1,7	7,7%	
	3	0,25	1,57	-22	68	ONO	0,95	0,24	3,8	6,5%	
	2,5	0,39	1,8	1	90	ONO	1,00	0,39	5,1	7,7%	
	2	0,56	2,11	1	90	ONO	1,00	0,56	7,0	8,1%	geen stormopzet
Voorland:	1,5 1	0,25	2,85	1	90	ONO	1,00	0,25	12,7	2,0%	

Profiel: 8A	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s * f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,37	0,2	1,4	-69	338	NNW	0,50	0,10	3,1	6,5%	veel stormopzet
	3	0,37	2,03	-68	339	NNW	0,52	0,19	6,4	5,8%	
	2,5	0,96	3,17	-60	347	NNW	0,63	0,61	15,7	6,1%	
	2	0,74	2,96	-41	6	N	0,83	0,62	13,7	5,4%	beperkte stormopzet
	1,5	0,44	2,48	-2	45	NO	1,00	0,44	9,6	4,6%	
Voorland:	1 0,74	0,12	3,51	-27	20	N	0,93	0,11	19,2	0,6%	

Projectgerelateerd



Profiel: 8B	Waterstand	Hoogte	Periode	Hoek van inval	Richting	Windrichting	f_b	$H_s \cdot f_b$	L	Steilheid	Stormopzet
	3,34	0,22	1,61	-72	293	WNW	0,47	0,10	4,0	5,4%	
	3	0,67	2,66	-49	315	NW	0,76	0,51	11,0	6,1%	
	2,5	0,94	2,7	-27	338	NNW	0,93	0,87	11,4	8,3%	
	2	0,99	3,26	-27	338	NNW	0,93	0,92	16,6	6,0%	veel stormopzet
	1,5	0,68	3,64	-4	360	N	1,00	0,68	20,7	3,3%	
	1	0,41	3,45	-4	360	N	1,00	0,41	18,6	2,2%	
	0,5	0,36	1,08	-4	360	N	1,00	0,36	1,8	19,8%	
Voorland:	0										