

# Memo

**Aan**  
Astrid Labrujere

<b>Datum</b> 10 september 2015	<b>Kenmerk</b> 1220086-005-HYE-0003	<b>Aantal pagina's</b> 32
<b>Van</b> Andre van Hoven	<b>Doorkiesnummer</b> +31(0)88335 7372	<b>E-mail</b> andre.vanhoven@deltares.nl

**Onderwerp**  
Verderlingen kritisch overslagdebiet WT12017

Dit document is gereviewd door Prof. dr. ir. J.M. van der Meer.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
final	nov. 2015	A. van Hoven		J.M. van der Meer		L. Voogt	

## 1 Inleiding

Binnen OI2014 en WT12017 wordt voor het faalmechanisme erosie van grasbekledingen op de kruin en het binnentalud gebruik gemaakt van kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet. De kansverdelingen zijn lognormaal met de parameters in Tabel 1.1. De kansverdelingen zijn eind 2013 in het kader van OI2014 (destijds OIKT – Ontwerp-Instrumentarium Korte Termijn) door middel van een expertsessie afgeleid. Er is geen document waarin de verdelingen worden onderbouwd.

Tabel 1.1 Parameters lognormale kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet

Golfhoogteklasse	Gesloten zode		Open zode	
	$\mu$ (l/s/m)	$\sigma$ (l/s/m)	$\mu$ (l/s/m)	$\sigma$ (l/s/m)
0-1 m	225	250	100	120
1-2 m	100	120	70	80
2-3 m	70	80	40	50

Op 11 mei 2015 is bij het programmamanagement van het WT12017 een concept plan ingediend [2] voor het geven van:

- 1) een onderbouwing, stand van zaken eind 2013 toen de verdelingen werden afgeleid;
- 2) toevoegen van nieuwe kennis die is ontwikkeld in 2014 en begin 2015.

Het plan bevatte in grote lijn de berekeningen met de cumulatieve overbelastingmethode die ten grondslag lagen aan de verdelingen van het kritisch overslagdebiet. Dit memo werkt de berekeningen en uitgangspunten nader uit en dient als verdere onderbouwing van de kansverdelingen binnen WT12017.

De nadere uitwerking van dit memo ten opzichte van het plan zijn:

- lognormale verdeling ipv normale verdeling voor de kritische stroomsnelheid  $U_c$
- onderbouwen gemiddelde en standaardafwijking  $U_c$
- toevoeging reslutaten overslagproeven te Millingen en Nijmegen
- onderbouwing karakteriseren hele storm door een 6 uur durend piek-overslagdebiet
- stroomsnelheden op basis van paragraaf 8.2 uit [3] in plaats van de gesimuleerde stroomsnelheden.

De kennisontwikkeling in 2014 en 2015, zoals het expliciet meenemen van versnelling van de stroming op binnentaluds, blijft achterwege. Dit en andere ontwikkelingen genoemd in [2] kunnen later in het kader van OI2014 worden opgepakt.

## 2 Werkwijze

De kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet zijn gebaseerd op berekeningen met het graserosiemodel, de cumulatieve overbelastingmethode [1], waarbij de sterkteparameter  $U_c$  (m/s) en de kritische cumulatieve overbelasting  $D_c$  ( $m^2/s^2$ ) worden beschouwd als stochasten. De parameter  $U_c$  karakteriseert de sterkte van de grasbekleding. Bij overschrijding van de kritische cumulatieve overbelasting treedt falen van de grasbekleding op.

Bij de onderbouwing van de kansverdelingen worden de volgende stappen gevolgd:

- 1 Deterministische berekening van cumulatieve overbelasting  $D$  voor alle combinaties van:
  - $H_{m0} = 0,5 - 1 - 2 - 3 - 4$  m
  - gemiddeld overslagdebiet van  $0,1 - 1 - 5 - 10 - 50$  l/s/m en
  - $U_c$  van  $1,5$  tot en met  $9,5$  m/s met stappen van  $0,5$  m/s.

Dit leidt voor elk van de golfhoogtes tot een tabel zoals Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Voorbeeld berekende  $D$  voor  $H_{m0}=2$  m en verschillende  $q$  (kolommen) en  $U_c$  (rijen)

D ( $m^2/s^2$ ) gegeven $H_{m0} = 2$ m voor verschillende $q$ l/s/m en $U_c$ (m/s)					
$U_c$ (m/s)	$q=0,1$ l/s/m	$q=1$ l/s/m	$q=5$ l/s/m	$q=10$ l/s/m	$q=50$ l/s/m
1,5	71	1307	6259	11173	34869
2,0	53	1078	5349	9685	31187
2,5	37	836	4346	8016	26886
3,0	22	607	3344	6310	22255
3,5	11	409	2424	4700	17607
4,0	4	253	1644	3293	13237
4,5	0	142	1035	2154	9394
5,0	0	70	598	1303	6245
5,5	0	29	313	721	3853
6,0	0	9	145	359	2183
6,5	0	1	57	157	1121
7,0	0	0	17	57	513
7,5	0	0	2	15	204
8,0	0	0	0	1	66
8,5	0	0	0	0	15
9,0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0

2 Berekening van de faalkans van de grasbekleding gegeven discrete waarden van golfhoogte  $H_{m0}$  en overslagdebiet  $q$ .

- i) Met behulp van de kansverdeling van  $U_c$  (Bijlage A) wordt berekend wat de kans is dat  $U_c$  op een discreet interval ligt van  $0 - 1,75$ ;  $1,75 - 2,25$ ;  $2,25 - 2,75$  .....  $9,25 - \text{'oneindig'}$ . De intervallen liggen rondom de waarden  $U_c$  die zijn gebruikt bij de berekening van de cumulatieve overbelasting (Tabel 2.1).
- ii) Met behulp van de stochast  $D_c$  (Bijlage A) wordt berekend wat de faalkans van de grasbekleding is bij de berekende  $D$ 's, gegeven een golfhoogte,  $U_c$  en  $q$ .  
Door de kansen uit i) en ii) te vermenigvuldigen wordt een schatting van de kans verkregen dat de grasbekleding faalt gegeven een sterkte  $U_c$  in een bepaald interval ligt (bv  $5,75 - 6,25$ ) en gegeven een bepaalde golfhoogte en overslagdebiet.

Door sommatie van kansen voor alle berekende intervallen van  $U_c$  volgt de benadering van de kans op falen van de grasbekleding gegeven een gemiddeld overslagdebiet en gegeven een golfhoogte.

In formulevorm komt dit neer op het benaderen van:

$$P(\text{Falen gras} | H_{m0}; q) = \int_{U_c=0}^{U_c=+\infty} P(\text{Falen gras} | H_{m0}; q; U_c) \cdot f(U_c) dU_c \quad , \quad \text{waarin}$$

$f(U_c)$  de kansdichtheidsfunctie is van  $U_c$  is.

- 3 Per golfhoogte zijn berekende faalkansen per overslagdebiet en per golfhoogte in een grafiek gezet, samen met de verdelingen van het kritisch overslagdebiet zoals afgeleid in het kader van het OI2014 tijdens de expert sessie eind 2013. De berekende kansen leveren de onderbouwing de verdelingen voor de gesloten zode.

In de navolgende hoofdstukken worden de stappen beschreven.

## 3 Stap 1 berekeningen cumulatieve overbelasting

### 3.1 Uitgangspunten

De kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet zijn onderbouwd door berekeningen met het erosiemodel voor gras, de cumulatieve overbelastingmethode. Voor de berekeningen gelden de volgende uitgangspunten:

- Toepassing van de cumulatieve overbelastingmethode, stand van zaken 2013 [1].
- Geen rekening houden met objecten ( $>0.15$  m) en overgangen.
- Geen rekening gehouden met versnelling van de stroming op het binnentalud (kennis ontwikkeld in 2014).
- Cumulatieve overbelasting berekend op basis van 6 uur piek (maximaal) overslagdebiet (onderbouwing zie bijlage B).
- Berekeningen uitgevoerd voor:
  - $H_{m0} = 0,5 - 1 - 2 - 3 - 4$  m
  - gemiddeld overslagdebiet van  $0,1 - 1 - 5 - 10 - 50$  l/s/m en
  - $U_c$  van  $1,5$  tot en met  $9,5$  m/s met stappen van  $0,5$  m/s.
- Golfsteilheid  $s_{op}$  constant  $0,04$ .
- Buitentalud glad  $1:4$ .
- Berekening  $R_{u2\%}$  op basis van formule 5 uit [4].
- Berekening kruinhoogte bij verschillende gemiddelde overslagdebieten  $q$  ( $m^3/s/m$ ) met formules 24 en 25 uit [4].
- Belastingparameter maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid  $U$  (m/s) op basis van paragraaf 8.2 uit [3].

Opgemerkt wordt dat voor de berekening van de maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid op de kruin  $U$  (m/s) bij eerdere studies gebruik werd gemaakt van de relatie  $U=5*V^{0.34}$  waarin  $V$  het over de dijk slaande volume in  $m^3/m$ . Deze relatie geeft de stroomsnelheden weer die door de golfoverslagsimulator worden gesimuleerd. De verdeling van overslagvolumes tijdens een stormconditie was afkomstig uit [4] en is later aangepast naar de verdeling uit [5].

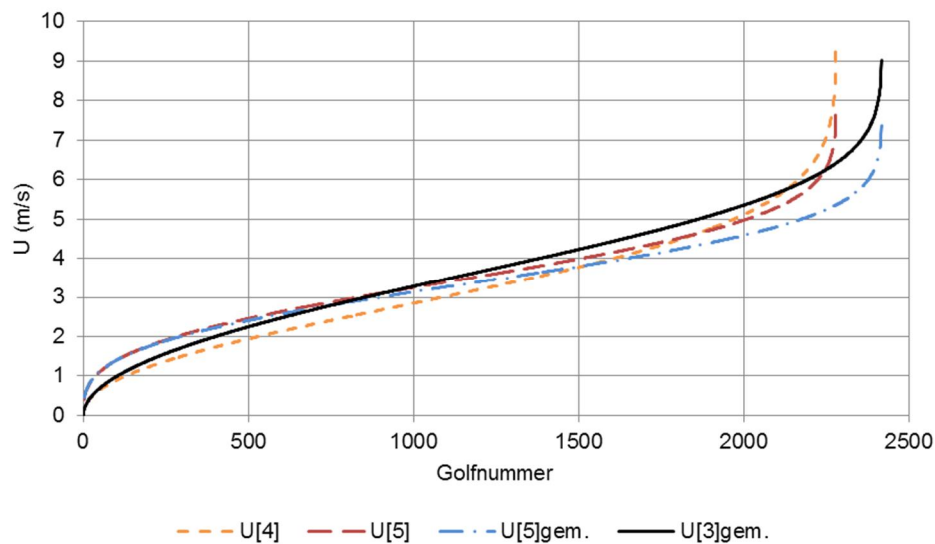
In deze studie wordt echter gebruik gemaakt van de relaties in [3] die leiden tot een andere verdeling van maximale dieptegemiddelde stroomsnelheden op de kruin van de dijk. Het verschil wordt inzichtelijk gemaakt door het voorbeeld in Tabel 3.1 en Figuur 3.1.

Ook werd voor de berekening van  $Z_{2\%}$  eerder gebruik gemaakt van formule 3a en 3b uit [4] en formule 22 en 23 uit [4] voor de relatie tussen kruinhoogte en overslagdebiet, terwijl in deze studie gebruik wordt gemaakt van formule 5a en 5b en 24 en 25 uit [4]. Het verschil tussen deze formules is dat de laatste de schatting van het gemiddelde geven, terwijl de eerste set formules enigszins aan de veilige kant is. Het gebruik van de 'gemiddelde' formules in plaats

van de 'veilige' heeft ook enige invloed op de uiteindelijke resultaten, zoals te zien in Tabel 3.1 en Figuur 3.1.

	U[4]	U[5]	U[5]gem.	U[3]gem.
q=50 l/s/m	$U=5*\sqrt{0.34}$	$U=5*\sqrt{0.34}$	$U=5*\sqrt{0.34}$	Aanpak uit [3]
$H_s=2$ m	Verdeling [4]	Verdeling [5]	Verdeling [5]	Formules 5a, 5b, 24 en 25 uit [4]
$S_{op}=0.04$	Formules 3a, 3b, 22 en 23 uit [4]	Formules 3a, 3b, 22 en 23 uit [4]	Formules 5a, 5b, 24 en 25 uit [4]	
Talud 1:4				
Storm 6 uur				
Aantal overslaande golven	2280	2280	2418	2418
$V_{max}$ (m <sup>3</sup> /m)	6.084	3.489	3.138	-
$U_{max}$ (m/s)	9.24	7.65	7.38	9.02

Tabel 3.1 Voorbeeld verschillen berekende U (m/s) op basis van overslaande golfvolumes verdeeld volgens [4] en [5] en volgens de nieuwe aanpak in [3].



Figuur 3.1 Verdelingen van overslaande golven uit het voorbeeld uit Tabel 3.1



In het voorbeeld komen in de beschouwde 6 uur 4828 golven aan bij het buitentalud.

In kolom **A**, zie kader links onderin het voorbeeld sheet, worden de golven van groot naar klein genummerd.

In kolom **B** wordt aan elke golf van groot naar klein een kans  $P_{ru}$  (-) gekoppeld die gelijk is aan:

$$1 - \frac{\text{Golfnummer}}{\text{Aantal golven} + 1}$$

Volgens de methode beschreven in [3] wordt in kolom **C** voor elke golf  $i$  de oploophoogte  $R_{u,i}$  berekend met de formule:

$$z_{2\%} \left[ \frac{\ln(P_{ru})}{\ln(0.02)} \right]^{0.5}$$

Hierin wordt  $z_{2\%}$  berekend met formule 5 uit [4], de formule voor gemiddelde waarden.

In kolom **D** wordt eveneens op basis van paragraaf 8.2 uit [3] de stroomsnelheid op de kruin berekend met de formule:

$c_{u2\%} \left[ g (R_{ui} - h_k) \right]^{0.5}$ , waarin voor coëfficiënt  $c_{u2\%}$  1,45 (-) wordt aangehouden,  $g$  de zwaartekracht-versnelling ( $m/s^2$ ),  $R_{ui}$  de oploophoogte uit kolom C en  $h_k$  de kruinhoogte gegeven het golfoverslagdebiet (in het kader 0,1 l/s/m). De kruinhoogte wordt hierin berekend met formules 24 en 25 uit [4].

In het voorbeeld (omkaderd in het excel sheet) wordt berekend dat slechts 15 golven een oploophoogte hebben dat hoger is dan de kruinhoogte. Dit is weer gelijk aan  $P_{ov}$  (kans op overslag, zie sheet) keer het aantal golven. Bij de overige, kleinere, golven wordt geen snelheid op de kruin berekend.

Met behulp van de snelheden in kolom D wordt de cumulatieve overbelasting berekend, wat gesommeerd over alle golven in de beschouwde 6 uur leidt tot de cumulatieve overbelasting zoals te zien in Tabel 2.1. De resultaten van alle berekeningen staan in Bijlage C.

## 4 Stap 2 Berekening faalkans grasbekleding gegeven $H_{m0}$ en $q$

### 4.1 Deelstap i – kans $U_c$

Met behulp van de kansverdeling van  $U_c$  (bijlage A) is de kans berekend dat de  $U_c$  in een discreet interval ligt rondom de voor de berekening van de overbelasting gebruikte  $U_c$ . De kansen gelden voor een gesloten zode.

*Tabel 4.1 Kans dat de  $U_c$  van een grasbekleding met de beoordeling 'gesloten zode' in een bepaald interval ligt.*

Lognormale verdeling $U_c$		getransformeerd naar parameters voor lognormale verdeling
$U_{c\_gem.}$	5,6	1,70
$U_{c\_sd.}$	1,3	0,23
$U_c$	Interval $U_c$	$P(U_c\text{-in interval} \mid \text{'gesloten zode'})$
1,5	0-1,75	3,48E-07
2,0	1,75-2,25	5,51E-05
2,5	2,25-2,75	1,34E-03
3,0	2,75-3,25	0,011
3,5	3,25-3,75	0,039
4,0	3,75-4,25	0,087
4,5	4,25-4,75	0,135
5,0	4,75-5,25	0,161
5,5	5,25-5,75	0,157
6,0	5,75-6,25	0,133
6,5	6,25-6,75	0,100
7,0	6,75-7,25	0,069
7,5	7,25-7,75	0,045
8,0	7,75-8,25	0,027
8,5	8,25-8,75	0,016
9,0	8,75-9,25	9,00E-03
9,5	9,25-100	1,06E-02
	Som	1,00

#### 4.2 Deelstap ii en iii kans falen gegeven $q$ en $H_{m0}$

Met behulp van de kansverdeling van  $D_c$  (bijlage A) en de resultaten van de berekeningen van  $D$  (paragraaf 3.2 en bijlage C) zijn de kansen berekend op falen van de grasbekledingen gegeven een  $H_{m0}$ ,  $q$  en  $U_c$ . De resultaten in tabelvorm worden gegeven in bijlage D. Een voorbeeld wordt gegeven in Tabel 4.2 (zelfde voorbeeld als Tabel 2.1;  $H_{m0} = 2$  m).

Vermenigvuldiging van de resultaten van deelstap i en ii geeft de schatting van de kans op falen van de grasbekleding gegeven een golfhoogte, overslagdebiet en de kans dat kritische stroomsnelheid binnen een bepaald interval ligt. Sommatie van de kansen over de volledige range van kritische stroomsnelheden geeft een schatting van de faalkans van de grasbekleding gegeven een golfhoogte en een overslagdebiet. De berekeningen staan in bijlage E. Een voorbeeld staat in Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Voorbeeld faalkans grasbekleding gegeven  $H_{m0} = 2$  m en verschillende  $U_c$  en  $q$ .

Kans falen grasbekleding gegeven $H_{m0} = 2$ m , $q$ l/s/m en $U_c$ (m/s)					
$U_c$ (m/s)	$q=0,1$ l/s/m	$q=1$ l/s/m	$q=5$ l/s/m	$q=10$ l/s/m	$q=50$ l/s/m
1,5	0	4,4E-23	1	1	1
2,0	0	3,2E-32	1	1	1
2,5	0	1,0E-46	0,99	1	1
3,0	0	4,9E-69	0,34	1	1
3,5	0	1,2E-102	1,4E-04	1	1
4,0	0	1,8E-152	2,6E-14	0,29	1
4,5	0	0	2,3E-34	7,2E-07	1
5,0	0	0	4,2E-70	3,3E-23	1
5,5	0	0	0	2,0E-56	0,84
6,0	0	0	0	5,1E-115	1,4E-06
6,5	0	0	0	0	3,3E-30
7,0	0	0	0	0	2,0E-82
7,5	0	0	0	0	1,5E-178
8,0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0
9,0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0

Tabel 4.3 Voorbeeld faalkans grasbekleding gegeven  $H_{m0} = 2$  m,  $q$  keer kans op  $U_c$  (m/s)

Kans falen grasbekleding gegeven $H_{m0} = 2$ m , $q$ l/s/m keer de kans op $U_c$ (m/s)					
$U_c$ (m/s)	$q=0,1$ l/s/m	$q=1$ l/s/m	$q=5$ l/s/m	$q=10$ l/s/m	$q=50$ l/s/m
0-1,75	0	1,5E-29	3,5E-07	3,5E-07	3,5E-07
1,75-2,25	0	1,8E-36	5,5E-05	5,5E-05	5,5E-05
2,25-2,75	0	1,4E-49	1,3E-03	1,3E-03	1,3E-03
2,75-3,25	0	5,1E-71	3,6E-03	0,011	0,011
3,25-3,75	0	4,9E-104	5,4E-06	0,039	0,039
3,75-4,25	0	1,6E-153	2,3E-15	0,025	0,087
4,25-4,75	0	9,1E-227	3,1E-35	9,8E-08	0,135
4,75-5,25	0	0	6,7E-71	5,3E-24	0,161
5,25-5,75	0	0	5,4E-130	3,2E-57	0,133
5,75-6,25	0	0	3,4E-224	6,7E-116	1,9E-07
6,25-6,75	0	0	0	5,8E-213	3,3E-31
6,75-7,25	0	0	0	0	1,4E-83
7,25-7,75	0	0	0	0	6,7E-180
7,75-8,25	0	0	0	0	0
8,25-8,75	0	0	0	0	0
8,75-9,25	0	0	0	0	0
9,25-100	0	0	0	0	0
Sommatie	0	1,5E-29	5,0E-03	0,076	0,57

De aanpak zoals gegeven in hoofdstuk 2 leidt tot een sterke afname van de faalkans bij een klein overslagdebiet van 0,1 à 1 l/s/m. Uit eerdere berekeningen uitgaande van een normale verdeling van  $U_c$  (m/s) en berekening van  $U$  (m/s) op basis van [1] en [5] bleek juist een relatief hoge faalkans bij deze kleine overslagdebieten. Tijdens de expert sessie eind 2013 in het kader van OI2013 zijn daarom de verdelingen van het kritisch overslagdebiet op basis van expert judgement naar beneden bijgesteld.

Anderzijds zijn de faalkansen bij een overslagdebiet van 10 en 50 l/s/m hoger geworden dan destijds berekend.

Het overzicht van de berekende faalkansen van de grasbekleding gegeven een golfhoogte en overslagdebiet staat in Tabel 4.4. Let op, deze getallen gelden voor een gesloten zode.

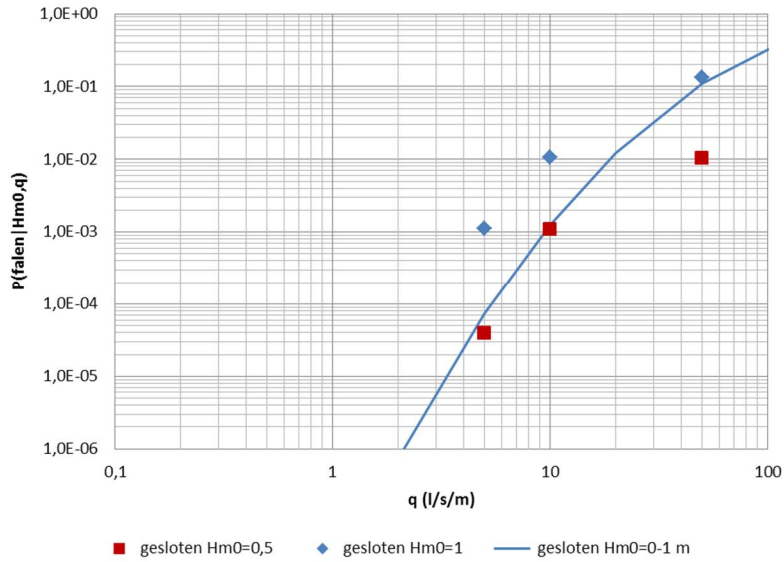
*Tabel 4.4 Faalkans grasbekleding 'gesloten zode' gegeven een golfhoogte  $H_{m0}$  en een overslagdebiet  $q$*

	$q=0,1$ l/s/m	$q=1$ l/s/m	$q=5$ l/s/m	$q=10$ l/s/m	$q=50$ l/s/m
$H_{m0}=0,5$ m	2,0E-166	5,6E-10	5,7E-05	1,4E-03	0,012
$H_{m0}=1$ m	2,9E-215	1,3E-13	1,4E-03	0,012	0,139
$H_{m0}=2$ m	0	1,5E-29	5,0E-03	0,076	0,566
$H_{m0}=3$ m	0	5,4E-50	1,9E-03	0,122	0,744
$H_{m0}=4$ m	0	2,7E-72	1,7E-04	0,123	0,859

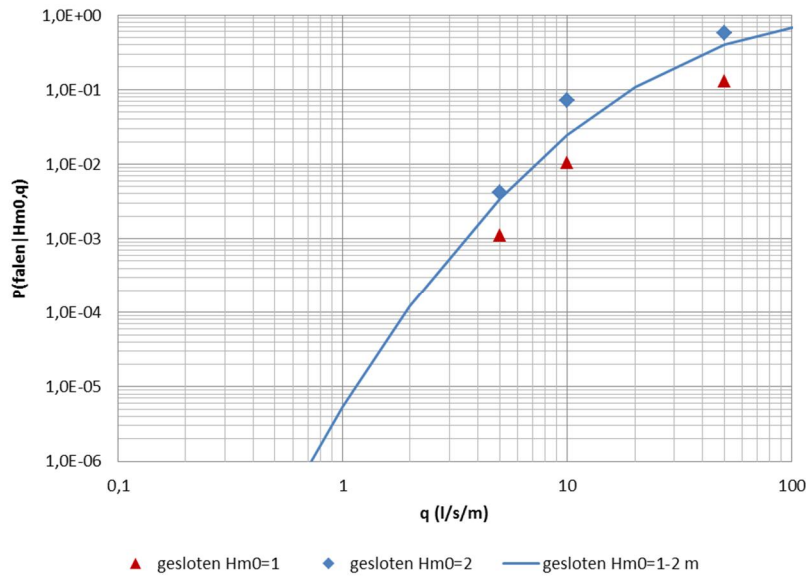
Bij een golfhoogte van 4 m wordt voor een overslagdebiet van 1 en 5 l/s/m een kleinere faalkans gevonden. Dit wordt veroorzaakt door het zeer geringe aantal golven dat over de dijk slaat, wat klaarblijkelijk meer dan compenseert voor de hogere stroomsnelheden van de grootste overslaande golven.

## 5 Stap 3 Berekende kansen vs eerder afgeleide verdeling kritisch overslagdebiet

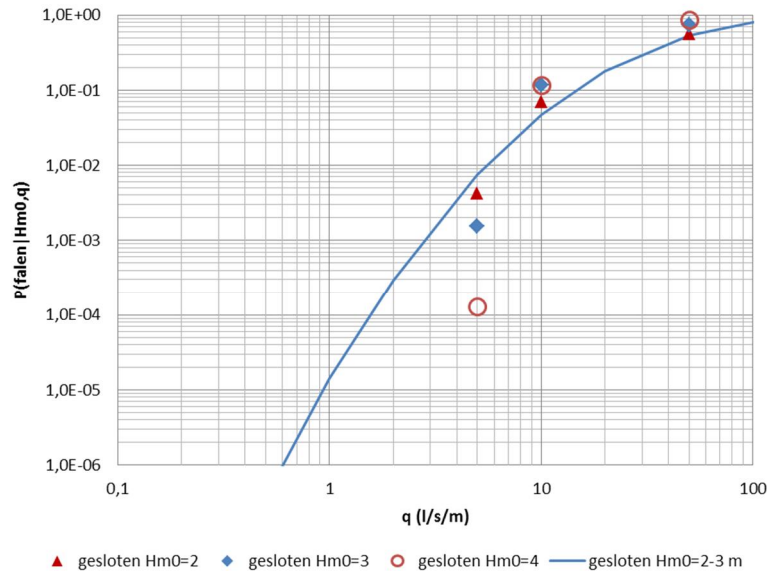
De berekende faalkansen bij een gegeven overslagdebiet en golfhoogte (Tabel 4.4) zijn uitgezet in de grafiek met verdelingen van het kritisch overslagdebiet, zoals afgeleid tijdens de expert sessie eind 2013 in het kader van het OI2014 (Figuur 5.1, Figuur 5.2 en Figuur 5.3). De verticale as is geminimaliseerd op  $1 \times 10^{-6}$  om de verschillen bij hogere overslagdebieten en kansen inzichtelijk te maken. Hierdoor vallen echter (alle) berekende faalkansen bij 0,1 en 1 l/s/m buiten (onder) de grafiek (zie ook de berekende kansen in Tabel 4.4 onder kolom 0,1 en 1 l/s/m).



**Figuur 5.1** Berekende faalkans gesloten zode voor  $H_{m0} = 0,5$  en  $1$  m vs eerder bepaalde verdelingen kritisch overslagdebiet voor gesloten zode voor golfhoogteklasse 0-1 m



**Figuur 5.2** Berekende faalkans gesloten zode voor  $H_{m0} = 1$  en  $2$  m vs eerder bepaalde verdelingen kritisch overslagdebiet voor gesloten zode voor golfhoogteklasse 1-2 m

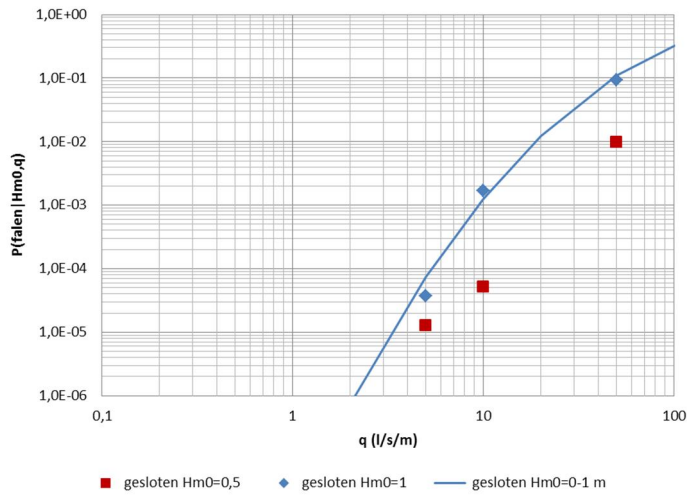


Figuur 5.3 Berekende faalkans gesloten zode voor  $H_{m0}=2, 3$  en  $4$  m vs eerder bepaalde verdelingen kritisch overslagdebiet voor gesloten zode voor golfhoogteklasse 2-3 m

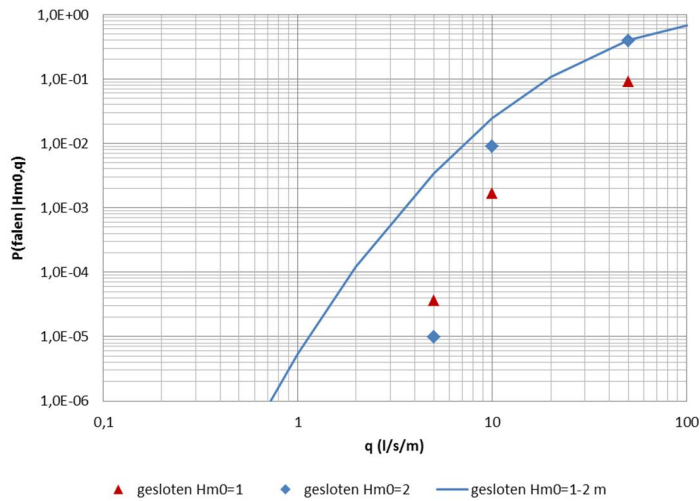
Bij een overslagdebiet van 0,1 en 1 l/s/m is de berekende faalkans in alle gevallen veel kleiner dan de faalkans op basis van de eerder afgeleide kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet.

Voor de overslagdebieten van 10 en 50 l/s/m liggen de berekende kansen zowel boven als onder de eerder afgeleide kansverdeling van het kritisch overslagdebiet voor de betreffende golfhoogte-range.

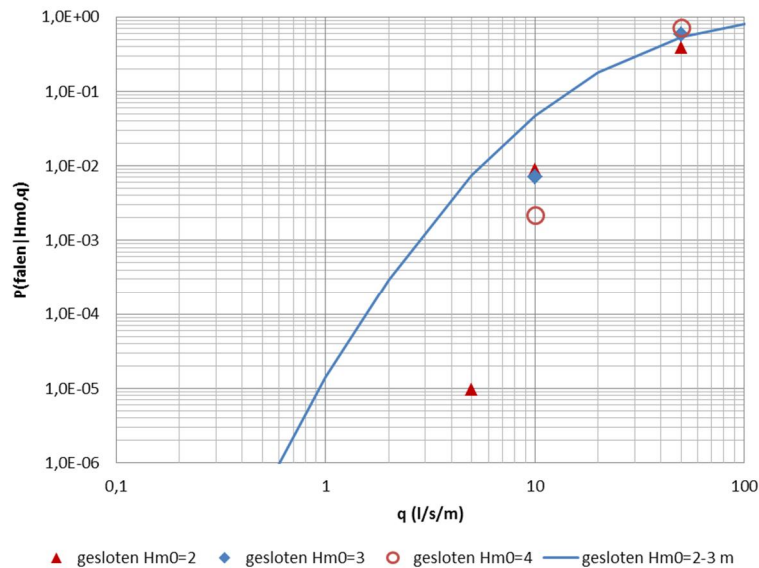
Indien rekening wordt gehouden met een overschatting van de cumulatieve overbelasting doordat wordt uitgegaan van een 6 uur durend piek overslagdebiet in plaats van een verloop van de waterstand en golfhoogte in tijd door de cumulatieve overbelasting te reduceren tot bijvoorbeeld 60% (zie bijlage B) dan leidt dit tot de grafieken in Figuur 5.4, Figuur 5.5 en Figuur 5.6. In dat geval ligt de kansverdeling van het kritisch overslagdebiet aan de hoge kant en is dus conservatief.



Figuur 5.4 Berekende faalkans gesloten zode voor  $H_{m0}=0,5$  en  $1$  m vs eerder bepaalde verdelingen kritisch overslagdebiet voor gesloten zode voor golfhoogteklasse 0-1 m bij reductie  $D$  tot 60%



Figuur 5.5 Berekende faalkans gesloten zode voor  $H_{m0}=1$  en  $2$  m vs eerder bepaalde verdelingen kritisch overslagdebiet voor gesloten zode voor golfhoogteklasse 1-2 m bij reductie  $D$  tot 60%



Figuur 5.6 Berekende faalkans gesloten zode voor  $H_{m0}=2, 3$  en  $4$  m vs eerder bepaalde verdelingen kritisch overslagdebiet voor gesloten zode voor golfhoogteklasse 2-3 m bij reductie  $D$  tot 60%

## 6 Graskwaliteit open zode

Een onderbouwing op basis van golfoverslagproeven voor de verdeling voor een open zode ontbreekt, omdat hiervoor simpelweg geen proevenverzameling is. In de praktijk blijkt de categorie 'open zode' zeldzaam. De categorie is overgenomen uit onderzoek naar erosie van grasbekledingen in de golfklapzone, maar is bij grootschalig fysisch onderzoek naar overslag mogelijk slechts één keer aangetroffen. De gekozen verdeling verdeling voor het kritisch overslagdebiet lijkt redelijk te fitten als wordt uitgegaan van een gemiddelde van  $U_c$  van 5,2 m/s en een standaardafwijking van 1,4 m/s (tegenover 5,6 en 1,3 voor een gesloten zode).

De categorie open zode vertegenwoordigt daarmee een tussencategorie die iets slechter is dan een gesloten zode, maar veel beter dan een fragmentarische zode. Dit is consistent met hoe hiermee wordt omgegaan in het onderzoek naar golfklappen, echter een onderbouwing met golfoverslagproeven is er nog niet.

## 7 Conclusie

Geconcludeerd wordt dat de eerder in het kader van het OI2014 afgeleide kansverdelingen van het kritische overslagdebiet voor een gesloten zode ten dele worden onderbouwd door de berekende faalkansen, gebaseerd op de verdeling van  $U_c$  op basis van de golfoverslagproeven. Samengevat blijken de verdelingen aan de veilige kant.

De kansverdelingen zijn minder steil dan volgt uit de berekeningen. De berekende faalkans bij kleine overslagdebieten (0,1 en 1 l/s/m) zijn aanmerkelijk lager dan volgens de gekozen verdelingen. Bij de grotere overslagdebieten van 10 en 50 l/s/m liggen de gekozen verdelingen

tussen de berekende faalkansen voor de grenzen van de golfhoogte klassen. Indien echter rekening wordt gehouden met het conservatisme in de aanname van een piek overslagdebiet van 6 uur, dan zijn de verdelingen ook conservatief voor de grotere overslagdebieten.

De berekeningen geven aanknopingspunten om de verdelingen bij te stellen. Daarvoor wordt echter aanbevolen om ook naar andere aspecten te kijken, zoals bijvoorbeeld het meenemen van versnelling van water op het talud, het differentiëren naar substraat (zand of klei) en het aanscherpen van de verdeling van  $U_c$  op basis van de beschikbare overslagproeven.

Er is geen onderbouwing op basis van de golfoverslagproeven voor de verdelingen bij een open zode, omdat er mogelijk slechts één proef beschikbaar is. De verdelingen zijn echter kwalitatief consistent met wat is aangehouden voor grasbekledingen in de golfklapzone.

## 8 Verwijzingen

- [1] Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde', via de helpdesk water ([www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)) beschikbaar gesteld door RWS in 2012
- [2] MEMO Plan onderbouwing voorwaardelijke faalkansverdelingen GEKB voor OI2014 en WTI2017, aan Astrid Labrujere RWS WVL, van André van Hoven, opgesteld met Ruben Jongejan en Jentsje van der Meer, 11 mei 2015
- [3] WTI Onderzoek en ontwikkeling landelijk toetsinstrumentarium, Product 5.12 Analyses grass erosion in wave run-up and wave overtopping conditions, Jentsje van der Meer (Van der Meer Consulting), Gijs Hoffmans en Andre van Hoven (Deltares), Deltares kenmerk 1209437-005, versie 3 maart 2015
- [4] Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, mei 2002
- [5] Hughes, S, C. Thornton, J.W. van der Meer and B. Scholl. Improvements in describing wave overtopping processes. ASCE, Proc. ICCE 2012, Santander, Spain

### Kopie aan

Jentsje van der Meer, Ruben Jongejan, Mark Klein Breteler

### Bijlage(n)

Bijlage A	Verdeling $U_c$
Bijlage B	Onderbouwing karakterisering storm door 6 uur piek overslagdebiet
Bijlage C	Berekeningsresultaten cumulatieve overbelasting
Bijlage D	Berekeningsresultaten faalkans grasbekleding gegeven $H_{m0}$ en $q$ en $U_c$
Bijlage E	Berekeningsresultaten faalkans grasbekleding gegeven $H_{m0}$ en $q$

## Bijlage A Verdeling $U_c$ en $D_c$

De verdeling van  $U_c$  is gebaseerd op golfoverslagproeven op diverse locaties in Nederland en België. Van de proefresultaten is een verzameling van  $U_c$  gemaakt die betrekking heeft op de graskwaliteit 'gesloten zode'. Enkele proeven zijn uitgevoerd op een graskwaliteit 'fragmentarische zode', deze zijn niet meegenomen in de beschouwing. Het is achteraf onbekend welke gevallen een kwaliteit 'open zode' hadden. Mogelijk was dit het geval bij St. Philipsland. Ten tijde van deze proefneming was de kwaliteitsindeling gesloten-open-fragmentarisch echter nog niet bekend. De proef is meegenomen als zijnde een proef met een gesloten zode.

Bij het vaststellen van de kritische stroomsnelheid uit de proeven zijn verder de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Kritische waarde cumulatieve overbelasting is  $3500 \text{ m}^2/\text{s}^2$
- Geen invloedsfactoren voor overgangen, objecten of versnelling van de stroming op het talud.
- Uitgaande van de snelheid op de kruin van de dijk met de relatie  $U=5*V^{0,34}$ , met V het overslagvolume in  $\text{m}^3/\text{m}$ .
- De overslagvolumes zijn afkomstig van de zogenaamde stuurlijsten of stuurfiles waarmee de golfoverslagsimulator is aangestuurd.
- Er is uitgegaan van het bezwijken van het talud, niet ter plaatse van overgangen of objecten.
- Soms trad geen bezwijken op (zie opmerkingen), hierbij is een waarde aangehouden die  $U_c$  minimaal moet hebben gehad. Onbekend is hoeveel groter  $U_c$  is geweest. Dit leidt tot conservatisme.

Locatie	$U_c$ (m/s)	Opmerking
Delfzijl	6,5	geen schade
Boonweg 1	7,5	geen schade
Boonweg 2	7,5	geen schade
Boonweg 3	6,3	bezwijken
Boonweg 4	6,3	bezwijken
St. Philipsland	5,5	bezwijken
Kattendijk 1	7,5	geen schade
Kattendijk 2	5,5	bezwijken (bij gierinjecteursnede)
Afsluitdijk 1	6,3	geen bezwijken, wel schade
Afsluitdijk 2	6,3	geen bezwijken, wel schade
Vechtdijk 1	4,5	geen bezwijken, wel schade
Vechtdijk 2	4,5	geen bezwijken, wel schade
Vechtdijk 3	4	bezwijken
Vechtdijk 4	4	bezwijken
Tielrode Durmedijk	4,5	geen schade
Nijmegen 1	3,4	bezwijken steile stukje
Nijmegen 2	4,9	bezwijken talud/teen
Nijmegen 3	6,7	meerdere kale plekken
Millingen 1	4,3	geen schade
Millingen 2	5,6	bezwijken
Aantal waarnemingen	20	
gem.	5,58	
stdev	1,27	

De verzameling leidt tot een gemiddelde  $U_c$  van (afgerond) 5,6 m/s en een standaardafwijking van 1,3 m/s. Deze waarden zijn enigszins conservatief, omdat in een aantal gevallen geen bezwijken is opgetreden en is uitgegaan van een waarde die  $U_c$  minimaal moet hebben gehad.

Omdat  $U_c$  geen negatieve waarden kan aannemen is gekozen voor een lognormale verdeling.

Bij de bepaling van  $U_c$  uit de verschillende proeven is een strikte waarde van  $3500 \text{ m}^2/\text{s}^2$  aangehouden. Aanname hierbij is dat het model nauwkeurig het falen van de grasbekleding voorspelt. In de praktijk zijn er echter allerlei factoren die invloed hebben op het falen van de grasbekleding, die niet expliciet in het model worden meegenomen en die mogelijk niet evenredig in de proevenverzameling zijn vertegenwoordigd. Daarom wordt bij de berekeningen van de faalkans van de grasbekleding rekening gehouden met een spreiding op de kritische cumulatieve overbelasting  $D_c$  van  $350 \text{ m}^2/\text{s}^2$  (10%).

## Bijlage B Onderbouwing karakterisering storm door 6 uur piek overslagdebiet

Bij de berekening van de cumulatieve overbelasting gedurende extreme condities, wordt uitgegaan van een piek van 6 uur, die karakteristiek wordt verondersteld voor een storm met een piek inclusief de flanken. In hoeverre 6 uur het maximale overslagdebiet karakteristiek is voor een verloop van waterstand en golfhoogte is nagegaan door het narekenen van de cumulatieve overbelasting voor 4 fictieve maar realistische cases.

Er wordt momenteel nog gewerkt aan de afleiding waterstandverlooptlijnen in het kader van WT12017. In afwachting hiervan is gebruik gemaakt van de waterstandverlooptlijnen zoals vermeld in 'Waterstandsverlopen zoete en zoute wateren. Beschrijving en review gerapporteerde verlopen en uitbreiden van de tool 'Waterstandsverloop', Auteurs: Chris Geerse en Rolf Waterman, HKV PR2803, april 2014 (verder Geerse 2014).

Voor elk van de vier cases zijn 2 gevallen doorgerekend, één met een kruinhoogte zodanig dat het maximale overslagdebiet 10 l/s/m is en één waarbij die 50 l/s/m is. Voor de 8 gevallen is de cumulatieve overbelasting  $D$  ( $m^2/s^2$ ) berekend van 6 uur het maximale debiet en de cumulatieve overbelasting zoals die volgt uit een waterstand- en golfhoogteverloop. Hierbij is zowel de waterstand als de golfhoogte geschematiseerd tot blokken van 1 uur.

De cumulatieve overbelasting is berekend met een vaste  $U_c$  van 4 m/s, dit is de veilige waarde aanbevolen in de Handreiking Toetsen Grasbekledingen in de verlengde derde toetsronde voor de onderbouwing van het beheerdersoordeel. Voor de berekening van  $U$  is gebruik gemaakt van de verdeling van overslaande golfvolumes volgens [Hughes, S. C. Thornton, J.W. van der Meer and B. Scholl. Improvements in describing wave overtopping processes. ASCE, Proc. ICCE 2012, Santander, Spain] en van de relatie  $U=5 \cdot V^{0.34}$ , waarin  $V$  als overslaande golfvolume in  $m^3/m$ . Dit laatste is afwijkend van de rekenmethode elders in dit memo, maar omdat het gaat om een vergelijking in het effect van een andere belasting en niet om de absolute waarden van de cumulatieve overbelasting zal dit niet tot grote afwijkingen leiden.

Meer gedetailleerde informatie over de cases wordt onderstaand gegeven.

De resultaten zijn samengevat in onderstaande tabel.

Case	$q_{max}$ (l/s/m)	$H_{m0,max}$ (m)	6 uur max $D$ ( $m^2/s^2$ )	verloop in tijd $D$ ( $m^2/s^2$ ) + perc.
1 storm + getij	10	2	978	360 (36%)
	50	2	6240	3350 (54%)
2 storm + getij	10	3	1650	843 (51%)
	50	3	9288	5013 (54%)
3 storm	10	1.5	558	280 (50%)
	50	1.5	3882	2084 (54%)
4 constant hoog peil	10	1	60	43 (72%)
	50	1	2034	1887 (92%)

Voor de vier cases is de cumulatieve overbelasting bij 6 uur maximaal groter dan de cumulatieve overbelasting bij het meenemen van een verloop van waterstand en golfhoogte.

Het verschil is vooral bij stormopzet gedreven watersystemen vrij groot, orde een factor 2. Voor rivierdijken met een zeer langzaam verlopende waterstand en een harde wind gedurende enkele dagen zal het verschil minder zijn. In deze gevallen is echter ook de cumulatieve overbelasting lager.

Geconcludeerd wordt dat de aanname van een cumulatieve overbelasting bij een piekbelasting van 6 uur voor de meeste gevallen aan de veilige kant zal zijn.

### Case 1 storm + getij

Stormopzet conform Geerse 2014 Figuur 2-3

Getijslag 1,5 m

Verschuiving piek windopzet en piek getij 4,5 uur.

Maximale waterstand NAP +5,2 m.

Maximale golfhoogte  $H_{m0} = 2$  m.

Golfhoogteverloop gelijkvormig aan stormopzet.

Piek golfhoogte iets breder gemaakt zodat deze met aanwezig tijdens piek waterstand (inc. faseverschuiving).

$S_{op} = 0,04$  (constant in tijd).

Glad talud 1:4, geen berm.

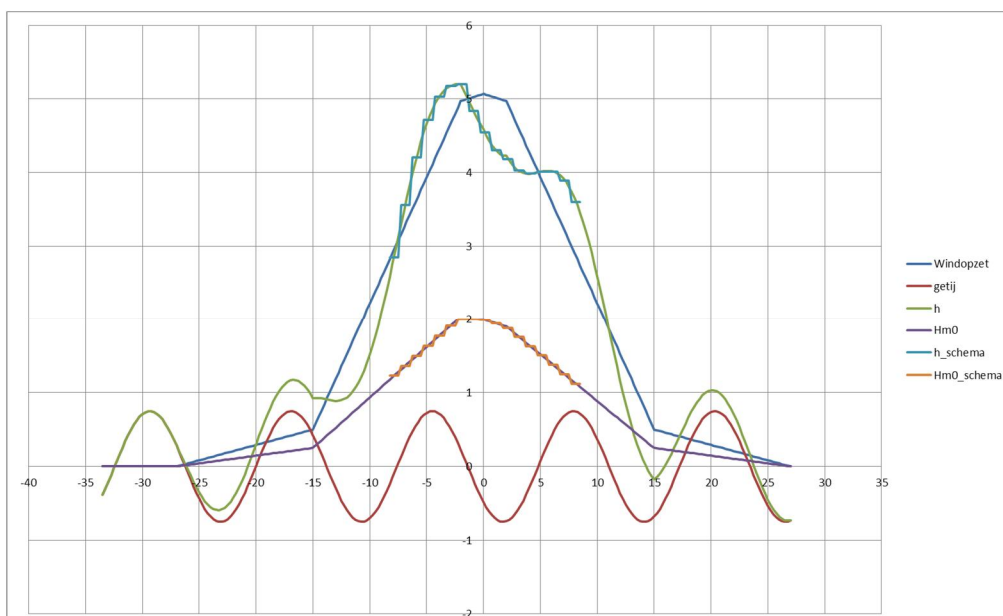
PC-Overslag rekenoptie 'vergelijken met proeven'.

Twee gevallen

- kruinhoogte zodanig dat  $q_{max} = 10$  l/s/m (NAP +7,55 m)
- kruinhoogte zodanig dat  $q_{max} = 50$  l/s/m (NAP +6,78 m)

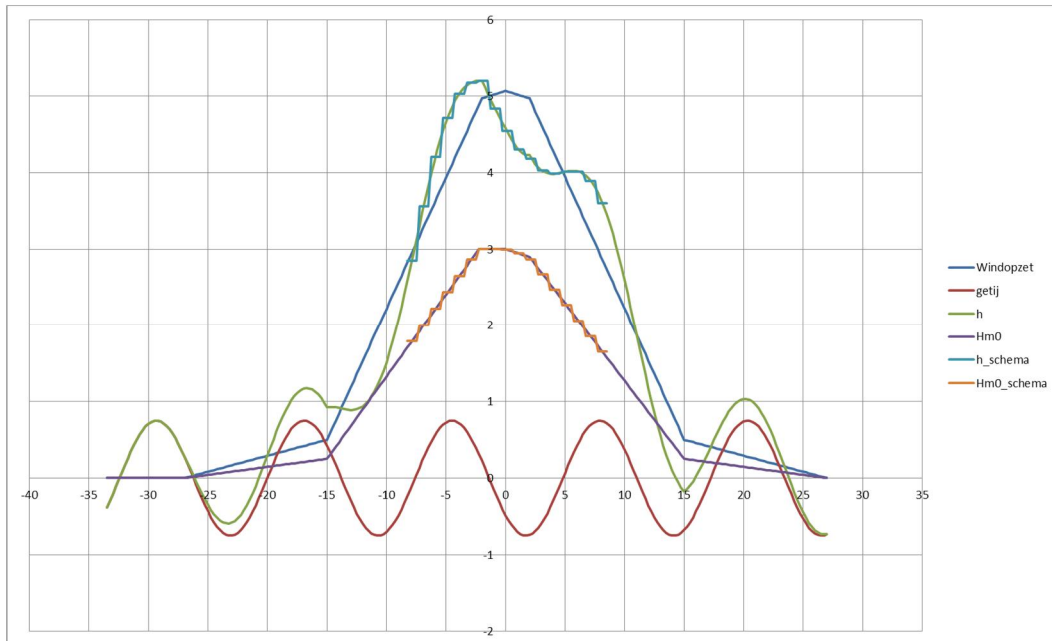
In onderstaande grafiek:

- Waterstandverloop  $h$  (mNAP)
- Golfhoogte  $H_{m0}$  (m)
- Geschematiseerd waterstandverloop (blokken van 1 uur)  $h\_schema$
- geschematiseerd verloop  $H_{m0}$  (blokken van 1 uur)  $H_{m0\_schema}$



## Case 2 storm + getij

Idem case 1, echter maximale golfhoogte  $H_{m0} = 3$  m.



## Case 3 storm (meer)

Waterstandverloop voor meren spoor overslag – gemiddeld meerpeil + stormopzet.

Stormopzet conform Geerse 2014 Figuur 3-2

Maximale waterstand NAP +2,2 m.

Maximale golfhoogte  $H_{m0} = 1,5$  m.

Golfhoogteverloop gelijkvormig aan stormopzet.

$S_{op} = 0,04$  (constant in tijd).

Glad talud 1:3,5, geen berm.

PC-Overslag rekenoptie 'vergelijken met proeven'.

Twee gevallen

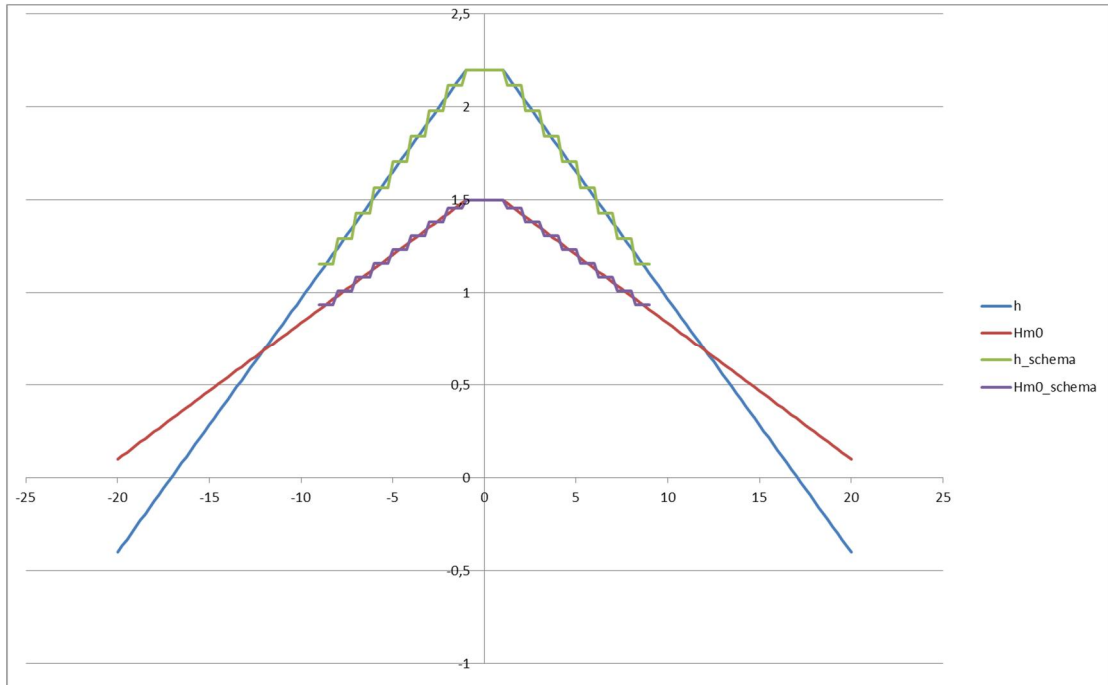
- kruinhoogte zodanig dat  $q_{max} = 10$  l/s/m (NAP +4,06 m)
- kruinhoogte zodanig dat  $q_{max} = 50$  l/s/m (NAP +3,40 m)



Datum  
10 september 2015

Ons kenmerk  
1220086-005-HYE-0003

Pagina  
21/32



## Case 4 Constant hoog peil + harde wind

Constante hoge waterstand NAP + 6,00 m

Omdat de waterstand constant is, is deze niet weergegeven in de onderstaande grafiek.

Maximale golfhoogte  $H_{m0} = 1$  m.

Golfhoogteverloop: één dag aanwas naar piek, 2 uur piek, 1 dag afname.

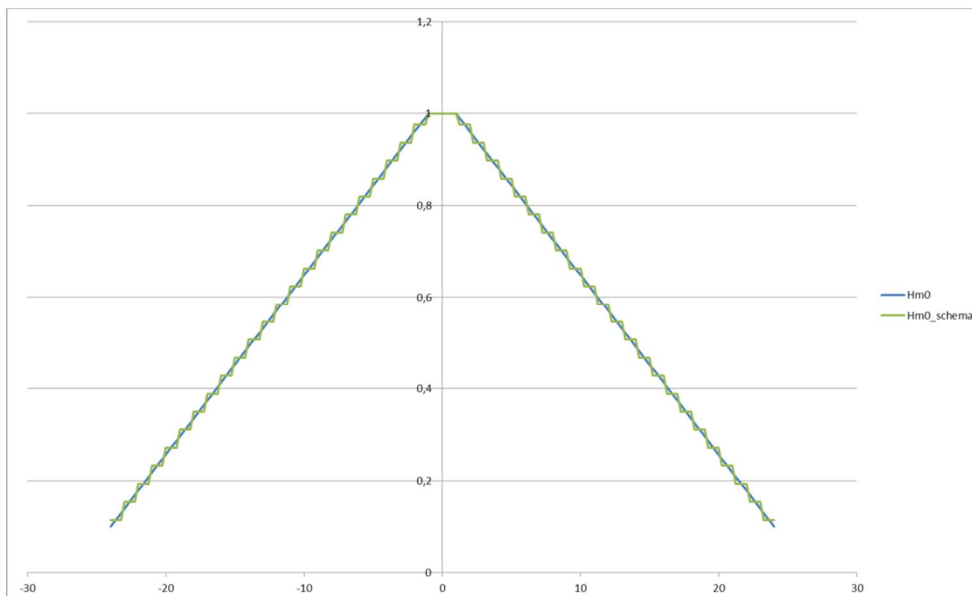
$S_{0p} = 0,04$  (constant in tijd).

Glad talud 1:3, geen berm.

PC-Overslag rekenoptie 'vergelijken met proeven'.

Twee gevallen:

- kruinhoogte zodanig dat  $q_{max} = 10$  l/s/m (NAP +7,28 m)
- kruinhoogte zodanig dat  $q_{max} = 50$  l/s/m (NAP +6,76 m)



## Bijlage C Berekeningsresultaten cumulatieve overbelasting

D (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ) gegeven H <sub>m0</sub> = 0.5 m voor verschillende q l/s/m en U <sub>c</sub> (m/s)					
U <sub>c</sub> (m/s)	q=0,1 l/s/m	q=1 l/s/m	q=5 l/s/m	q=10 l/s/m	q=50 l/s/m
1,5	237	2595	9516	15242	37445
2,0	98	1332	5564	9406	26037
2,5	28	517	2568	4662	15127
3,0	4	140	875	1739	6902
3,5	0	23	200	448	2283
4,0	0	1	26	70	494
4,5	0	0	1	4	60
5,0	0	0	0	0	2
5,5	0	0	0	0	0
6,0	0	0	0	0	0
6,5	0	0	0	0	0
7,0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0
8,0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0
9,0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0

D ( $\text{m}^2/\text{s}^2$ ) gegeven $H_{m0} = 1$ m voor verschillende q l/s/m en $U_c$ (m/s)					
$U_c$ (m/s)	q=0,1 l/s/m	q=1 l/s/m	q=5 l/s/m	q=10 l/s/m	q=50 l/s/m
1,5	161	2125	8683	14541	39405
2,0	101	1495	6533	11244	32382
2,5	53	930	4437	7914	24681
3,0	22	502	2676	4991	17187
3,5	6	229	1403	2764	10730
4,0	0	84	623	1310	5868
4,5	0	23	225	515	2733
5,0	0	3	62	160	1048
5,5	0	0	11	35	316
6,0	0	0	0	4	69
6,5	0	0	0	0	8
7,0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0
8,0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0
9,0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0

D ( $\text{m}^2/\text{s}^2$ ) gegeven $H_{m0} = 2$ m voor verschillende q l/s/m en $U_c$ (m/s)					
$U_c$ (m/s)	q=0,1 l/s/m	q=1 l/s/m	q=5 l/s/m	q=10 l/s/m	q=50 l/s/m
1,5	71	1307	6259	11173	34869
2,0	53	1078	5349	9685	31187
2,5	37	836	4346	8016	26886
3,0	22	607	3344	6310	22255
3,5	11	409	2424	4700	17607
4,0	4	253	1644	3293	13237
4,5	0	142	1035	2154	9394
5,0	0	70	598	1303	6245
5,5	0	29	313	721	3853
6,0	0	9	145	359	2183
6,5	0	1	57	157	1121
7,0	0	0	17	57	513
7,5	0	0	2	15	204
8,0	0	0	0	1	66
8,5	0	0	0	0	15
9,0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0

D (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ) gegeven H <sub>m0</sub> = 3 m voor verschillende q l/s/m en U <sub>c</sub> (m/s)					
U <sub>c</sub> (m/s)	q=0,1 l/s/m	q=1 l/s/m	q=5 l/s/m	q=10 l/s/m	q=50 l/s/m
1,5	33	880	4722	8805	30235
2,0	26	767	4222	7949	27888
2,5	19	641	3646	6953	25079
3,0	13	511	3037	5882	21952
3,5	7	389	2432	4801	18663
4,0	3	280	1868	3771	15373
4,5	0	189	1371	2840	12231
5,0	0	119	957	2044	9368
5,5	0	69	632	1398	6880
6,0	0	35	391	904	4824
6,5	0	14	225	548	3212
7,0	0	4	117	308	2018
7,5	0	0	54	158	1188
8,0	0	0	20	71	649
8,5	0	0	5	26	324
9,0	0	0	0	6	144
9,5	0	0	0	0	54

D (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ) gegeven H <sub>m0</sub> = 4 m voor verschillende q l/s/m en U <sub>c</sub> (m/s)					
U <sub>c</sub> (m/s)	q=0,1 l/s/m	q=1 l/s/m	q=5 l/s/m	q=10 l/s/m	q=50 l/s/m
1,5	16	633	3724	7181	26513
2,0	12	567	3409	6624	24861
2,5	9	492	3039	5963	22859
3,0	6	411	2634	5232	20589
3,5	3	331	2218	4470	18144
4,0	0	256	1810	3711	15621
4,5	0	189	1429	2989	13118
5,0	0	133	1088	2331	10725
5,5	0	87	797	1754	8516
6,0	0	53	559	1270	6553
6,5	0	29	373	882	4871
7,0	0	13	235	583	3487
7,5	0	4	138	365	2395
8,0	0	0	74	214	1571
8,5	0	0	34	115	979
9,0	0	0	12	55	575
9,5	0	0	2	21	314

## Bijlage D Berekeningsresultaten faalkans grasbekleding gegeven $H_{m0}$ en $q$ en $U_c$

D ( $m^2/s^2$ ) gegeven $H_{m0} = 0.5$ m voor verschillende $q$ l/s/m en $U_c$ (m/s)					
$U_c$ (m/s)	$q=0,1$ l/s/m	$q=1$ l/s/m	$q=5$ l/s/m	$q=10$ l/s/m	$q=50$ l/s/m
1,5	5,8E-160	1,6E-03	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00
2,0	2,7E-280	2,8E-22	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00
2,5	0,0E+00	7,1E-82	1,1E-03	1,0E+00	1,0E+00
3,0	0,0E+00	4,0E-228	6,3E-44	1,7E-12	1,0E+00
3,5	0,0E+00	0,0E+00	1,9E-180	3,0E-94	1,2E-05
4,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,4E-85
4,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
5,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
5,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
6,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
6,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
7,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
7,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
8,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
8,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
9,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
9,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

D (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ) gegeven H <sub>m0</sub> = 1 m voor verschillende q l/s/m en U <sub>c</sub> (m/s)					
U <sub>c</sub> (m/s)	q=0,1 l/s/m	q=1 l/s/m	q=5 l/s/m	q=10 l/s/m	q=50 l/s/m
1,5	8,2E-209	3,6E-07	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00
2,0	6,1E-277	1,2E-17	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00
2,5	0,0E+00	2,7E-40	9,9E-01	1,0E+00	1,0E+00
3,0	0,0E+00	2,6E-84	4,1E-03	1,0E+00	1,0E+00
3,5	0,0E+00	1,9E-164	4,0E-20	1,0E-02	1,0E+00
4,0	0,0E+00	2,8E-305	5,0E-67	5,6E-23	1,0E+00
4,5	0,0E+00	0,0E+00	3,3E-166	3,9E-82	7,6E-03
5,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	9,5E-210	1,1E-33
5,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,0E-128
6,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
6,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
7,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
7,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
8,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
8,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
9,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
9,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

D (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ) gegeven H <sub>m0</sub> = 2 m voor verschillende q l/s/m en U <sub>c</sub> (m/s)					
U <sub>c</sub> (m/s)	q=0,1 l/s/m	q=1 l/s/m	q=5 l/s/m	q=10 l/s/m	q=50 l/s/m
1,5	0	4,4E-23	1	1	1
2,0	0	3,2E-32	1	1	1
2,5	0	1,0E-46	0,99	1	1
3,0	0	4,9E-69	0,34	1	1
3,5	0	1,2E-102	1,4E-04	1	1
4,0	0	1,8E-152	2,6E-14	0,29	1
4,5	0	0	2,3E-34	7,2E-07	1
5,0	0	0	4,2E-70	3,3E-23	1
5,5	0	0	0	2,0E-56	0,84
6,0	0	0	0	5,1E-115	1,4E-06
6,5	0	0	0	0	3,3E-30
7,0	0	0	0	0	2,0E-82
7,5	0	0	0	0	1,5E-178
8,0	0	0	0	0	0
8,5	0	0	0	0	0
9,0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0

D (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ) gegeven H <sub>m0</sub> = 3 m voor verschillende q l/s/m en U <sub>c</sub> (m/s)					
U <sub>c</sub> (m/s)	q=0,1 l/s/m	q=1 l/s/m	q=5 l/s/m	q=10 l/s/m	q=50 l/s/m
1,5	0,0E+00	1,6E-43	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00
2,0	0,0E+00	3,0E-52	9,7E-01	1,0E+00	1,0E+00
2,5	0,0E+00	6,6E-65	6,8E-01	1,0E+00	1,0E+00
3,0	0,0E+00	9,7E-83	8,5E-02	1,0E+00	1,0E+00
3,5	0,0E+00	2,0E-107	1,6E-04	1,0E+00	1,0E+00
4,0	0,0E+00	2,8E-141	2,1E-10	7,9E-01	1,0E+00
4,5	0,0E+00	1,5E-187	4,6E-21	2,0E-02	1,0E+00
5,0	0,0E+00	5,9E-251	1,2E-38	4,5E-08	1,0E+00
5,5	0,0E+00	0,0E+00	5,8E-66	2,8E-20	1,0E+00
6,0	0,0E+00	0,0E+00	8,1E-107	5,7E-42	1,0E+00
6,5	0,0E+00	0,0E+00	1,3E-166	4,9E-77	2,1E-01
7,0	0,0E+00	0,0E+00	1,4E-253	7,4E-131	2,3E-08
7,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,6E-211	2,1E-27
8,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	5,9E-64
8,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,5E-125
9,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	7,9E-224
9,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

D (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ) gegeven H <sub>m0</sub> = 4 m voor verschillende q l/s/m en U <sub>c</sub> (m/s)					
U <sub>c</sub> (m/s)	q=0,1 l/s/m	q=1 l/s/m	q=5 l/s/m	q=10 l/s/m	q=50 l/s/m
1,5	0,0E+00	7,7E-66	7,5E-01	1,0E+00	1,0E+00
2,0	0,0E+00	2,8E-74	4,2E-01	1,0E+00	1,0E+00
2,5	0,0E+00	4,4E-86	8,6E-02	1,0E+00	1,0E+00
3,0	0,0E+00	5,1E-102	2,6E-03	1,0E+00	1,0E+00
3,5	0,0E+00	3,3E-123	3,0E-06	9,9E-01	1,0E+00
4,0	0,0E+00	4,6E-151	2,7E-11	7,4E-01	1,0E+00
4,5	0,0E+00	1,4E-187	2,1E-19	6,3E-02	1,0E+00
5,0	0,0E+00	1,5E-235	1,0E-31	2,8E-05	1,0E+00
5,5	0,0E+00	4,2E-299	9,2E-50	3,1E-12	1,0E+00
6,0	0,0E+00	0,0E+00	1,9E-75	2,5E-24	1,0E+00
6,5	0,0E+00	0,0E+00	2,3E-111	1,9E-43	1,0E+00
7,0	0,0E+00	0,0E+00	3,9E-161	4,6E-72	5,1E-01
7,5	0,0E+00	0,0E+00	4,8E-230	1,9E-113	8,8E-05
8,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,4E-172	7,5E-16
8,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	5,7E-256	2,2E-37
9,0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,3E-73
9,5	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	9,5E-129

## Bijlage E Berekeningsresultaten faalkans grasbekleding gegeven $H_{m0}$ en $q$

Kans falen grasbekleding gegeven $H_{m0} = 0.5 \text{ m}$ , $q$ l/s/m keer de kans op $U_c$ (m/s)					
$U_c$ (m/s)	$q=0,1$ l/s/m	$q=1$ l/s/m	$q=5$ l/s/m	$q=10$ l/s/m	$q=50$ l/s/m
0-1,75	2,0E-166	5,6E-10	3,48E-07	3,48E-07	3,5E-07
1,75-2,25	1,5E-284	1,6E-26	5,51E-05	5,51E-05	5,5E-05
2,25-2,75	0,0E+00	9,5E-85	1,51E-06	1,34E-03	1,3E-03
2,75-3,25	0,0E+00	4,2E-230	6,60E-46	1,75E-14	1,1E-02
3,25-3,75	0,0E+00	0,0E+00	7,40E-182	1,17E-95	4,5E-07
3,75-4,25	0,0E+00	0,0E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,2E-86
4,25-4,75	0,0E+00	0,0E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0E+00
4,75-5,25	0,0E+00	0,0E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0E+00
5,25-5,75	0,0E+00	0,0E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0E+00
5,75-6,25	0,0E+00	0,0E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0E+00
6,25-6,75	0,0E+00	0,0E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0E+00
6,75-7,25	0,0E+00	0,0E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0E+00
7,25-7,75	0,0E+00	0,0E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0E+00
7,75-8,25	0,0E+00	0,0E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0E+00
8,25-8,75	0,0E+00	0,0E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0E+00
8,75-9,25	0,0E+00	0,0E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0E+00
9,25-100	0,0E+00	0,0E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0E+00
Sommatie	2,0E-166	5,6E-10	5,7E-05	1,4E-03	1,2E-02

Kans falen grasbekleding gegeven $H_{m0} = 1 \text{ m}$ , q l/s/m keer de kans op $U_c$ (m/s)					
$U_c$ (m/s)	q=0,1 l/s/m	q=1 l/s/m	q=5 l/s/m	q=10 l/s/m	q=50 l/s/m
0-1,75	2,9E-215	1,3E-13	3,5E-07	3,5E-07	3,5E-07
1,75-2,25	3,4E-281	6,4E-22	5,5E-05	5,5E-05	5,5E-05
2,25-2,75	0,0E+00	3,7E-43	1,3E-03	1,3E-03	1,3E-03
2,75-3,25	0,0E+00	2,7E-86	4,3E-05	1,0E-02	1,1E-02
3,25-3,75	0,0E+00	7,4E-166	1,6E-21	4,0E-04	3,9E-02
3,75-4,25	0,0E+00	2,4E-306	4,4E-68	4,9E-24	8,7E-02
4,25-4,75	0,0E+00	0,0E+00	4,4E-167	5,2E-83	1,0E-03
4,75-5,25	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,5E-210	1,7E-34
5,25-5,75	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,8E-129
5,75-6,25	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
6,25-6,75	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
6,75-7,25	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
7,25-7,75	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
7,75-8,25	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
8,25-8,75	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
8,75-9,25	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
9,25-100	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sommatie	2,9E-215	1,3E-13	1,4E-03	1,2E-02	1,4E-01

Kans falen grasbekleding gegeven $H_{m0} = 2 \text{ m}$ , q l/s/m keer de kans op $U_c$ (m/s)					
$U_c$ (m/s)	q=0,1 l/s/m	q=1 l/s/m	q=5 l/s/m	q=10 l/s/m	q=50 l/s/m
0-1,75	0	1,5E-29	3,5E-07	3,5E-07	3,5E-07
1,75-2,25	0	1,8E-36	5,5E-05	5,5E-05	5,5E-05
2,25-2,75	0	1,4E-49	1,3E-03	1,3E-03	1,3E-03
2,75-3,25	0	5,1E-71	3,6E-03	0,011	0,011
3,25-3,75	0	4,9E-104	5,4E-06	0,039	0,039
3,75-4,25	0	1,6E-153	2,3E-15	0,025	0,087
4,25-4,75	0	9,1E-227	3,1E-35	9,8E-08	0,135
4,75-5,25	0	0	6,7E-71	5,3E-24	0,161
5,25-5,75	0	0	5,4E-130	3,2E-57	0,133
5,75-6,25	0	0	3,4E-224	6,7E-116	1,9E-07
6,25-6,75	0	0	0	5,8E-213	3,3E-31
6,75-7,25	0	0	0	0	1,4E-83
7,25-7,75	0	0	0	0	6,7E-180
7,75-8,25	0	0	0	0	0
8,25-8,75	0	0	0	0	0
8,75-9,25	0	0	0	0	0
9,25-100	0	0	0	0	0
Sommatie	0	1,5E-29	5,0E-03	0,076	0,57

Kans falen grasbekleding gegeven $H_{m0} = 3 \text{ m}$ , $q$ l/s/m keer de kans op $U_c$ (m/s)					
$U_c$ (m/s)	$q=0,1$ l/s/m	$q=1$ l/s/m	$q=5$ l/s/m	$q=10$ l/s/m	$q=50$ l/s/m
0-1,75	0,0E+00	5,4E-50	3,5E-07	3,5E-07	3,5E-07
1,75-2,25	0,0E+00	1,7E-56	5,4E-05	5,5E-05	5,5E-05
2,25-2,75	0,0E+00	8,9E-68	9,1E-04	1,3E-03	1,3E-03
2,75-3,25	0,0E+00	1,0E-84	8,9E-04	1,1E-02	1,1E-02
3,25-3,75	0,0E+00	7,8E-109	6,3E-06	3,9E-02	3,9E-02
3,75-4,25	0,0E+00	2,4E-142	1,9E-11	6,9E-02	8,7E-02
4,25-4,75	0,0E+00	2,0E-188	6,2E-22	2,8E-03	1,3E-01
4,75-5,25	0,0E+00	9,5E-252	1,9E-39	7,3E-09	1,6E-01
5,25-5,75	0,0E+00	0,0E+00	9,1E-67	4,4E-21	1,6E-01
5,75-6,25	0,0E+00	0,0E+00	1,1E-107	7,5E-43	1,3E-01
6,25-6,75	0,0E+00	0,0E+00	1,3E-167	4,9E-78	2,1E-02
6,75-7,25	0,0E+00	0,0E+00	9,6E-255	5,1E-132	1,6E-09
7,25-7,75	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	7,3E-213	9,6E-29
7,75-8,25	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,6E-65
8,25-8,75	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,3E-127
8,75-9,25	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	7,1E-226
9,25-100	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sommatie	0,0E+00	5,4E-50	1,9E-03	1,2E-01	7,4E-01

Kans falen grasbekleding gegeven $H_{m0} = 4 \text{ m}$ , $q$ l/s/m keer de kans op $U_c$ (m/s)					
$U_c$ (m/s)	$q=0,1$ l/s/m	$q=1$ l/s/m	$q=5$ l/s/m	$q=10$ l/s/m	$q=50$ l/s/m
0-1,75	0,0E+00	2,7E-72	2,6E-07	3,5E-07	3,5E-07
1,75-2,25	0,0E+00	1,6E-78	2,3E-05	5,5E-05	5,5E-05
2,25-2,75	0,0E+00	5,9E-89	1,2E-04	1,3E-03	1,3E-03
2,75-3,25	0,0E+00	5,3E-104	2,7E-05	1,1E-02	1,1E-02
3,25-3,75	0,0E+00	1,3E-124	1,2E-07	3,9E-02	3,9E-02
3,75-4,25	0,0E+00	4,0E-152	2,3E-12	6,4E-02	8,7E-02
4,25-4,75	0,0E+00	1,9E-188	2,8E-20	8,5E-03	1,3E-01
4,75-5,25	0,0E+00	2,4E-236	1,6E-32	4,6E-06	1,6E-01
5,25-5,75	0,0E+00	6,6E-300	1,5E-50	4,9E-13	1,6E-01
5,75-6,25	0,0E+00	0,0E+00	2,5E-76	3,3E-25	1,3E-01
6,25-6,75	0,0E+00	0,0E+00	2,3E-112	1,9E-44	1,0E-01
6,75-7,25	0,0E+00	0,0E+00	2,7E-162	3,2E-73	3,5E-02
7,25-7,75	0,0E+00	0,0E+00	2,1E-231	8,3E-115	3,9E-06
7,75-8,25	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	6,5E-174	2,0E-17
8,25-8,75	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	9,0E-258	3,6E-39
8,75-9,25	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,9E-75
9,25-100	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,0E-130
Sommatie	0,0E+00	2,7E-72	1,7E-04	1,2E-01	8,6E-01