

**BOI Omgaan met overgangen  
bij faalmechanisme gras  
erosie kruin en binnentalud**

Korte studie naar kansverdelingen van het kritisch  
overslagdebiet inclusief overgangen



# **BOI Omgaan met overgangen bij faalmechanisme gras erosie kruin en binnentalud**

**Korte studie naar kansverdelingen van het kritisch  
overslagdebiet inclusief overgangen**

de heer A. van Hoven  
de heer M. Boers

## Titel

BOI Omgaan met overgangen bij faalmechanisme gras erosie kruin en binnentalud

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, LELYSTAD	11203720-025	11203720-025-GEO-0001	25

## Trefwoorden

WBI, BOI, grasbekleding, overgangen, objecten, cumulatieve overbelasting, golfoverslagdebiet, kansverdeling, kritisch golfoverslagdebiet

## Samenvatting

Er zijn kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet afgeleid voor 64 scenario's, waarbij rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van 'nette' overgangen en objecten. Er is hierbij uitgegaan van de theoretisch meest ongunstige combinatie van invloedsfactoren voor overgangen en objecten. Het begrip 'nette' overgang wordt beschreven en geïllustreerd met enkele foto's. Het falen wordt in dit geval gedefinieerd als het falen van de grasbekleding op de kruin en het binnentalud van een dijk door golfoverslag. Dit hoeft nog niet direct het falen van de dijk te betekenen. De kansverdelingen bieden de mogelijkheid om met Riskeer faalkansberekeningen te maken, of berekeningen van de benodigde kruinhoogte, waarbij expliciet rekening wordt gehouden met de invloed van overgangen en objecten. De bedoeling is om de kansverdelingen vrij te geven bij de release van het BOI in het najaar van 2019. Voordat de kansverdelingen worden toegepast bij een veiligheidsbeoordeling of een dijkontwerp wordt aanbevolen om een aantal aanvullende werkzaamheden uit te voeren.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	okt. 2019	ir. A. van Hoven dr.ir. M. Boers		ir. A.J. Smale		ir. L. Voogt	
1.0	nov. 2019	ir. A. van Hoven dr.ir. M. Boers		ir. A.J. Smale		ir. L. Voogt b/a ir. T.P. Stoutjesdijk	

## Status

definitief

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Uitgangspunten</b>	<b>2</b>
2.1	Rekenmethode voorwaardelijke faalkansen	2
2.2	Scenario's	3
<b>3</b>	<b>Kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Afbakening geldigheid 'nette overgang'</b>	<b>10</b>
4.1	Toelichting overgangen en objecten	10
4.2	Situaties met een overgang of object	10
4.3	Situaties waar de rekenresultaten niet kunnen worden toegepast	13
<b>5</b>	<b>Vergelijking met WBI2017 kansverdelingen</b>	<b>15</b>
5.1	Golfhoogteklasse tot 1 m	15
5.2	Golfhoogteklasse 2 m	16
5.3	Golfhoogteklasse 3 m	18
5.4	Riskeer GEKB kruinhoogteberekening	19
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>21</b>
6.1	Conclusie	21
6.2	Handelingsperspectief	21
6.3	Aanbevelingen	23
<b>7</b>	<b>Verwijzingen</b>	<b>25</b>
<b>Bijlage(n)</b>		
<b>A</b>	<b>Resultaten curve fitting</b>	<b>A-1</b>
A.1	Kansverdelingen met overgangen	A-1
A.1.1	Gesloten zode	A-1
A.1.2	Open zode	A-5
A.2	Kansverdelingen zonder overgangen	A-9
A.2.1	Gesloten zode	A-9
A.2.2	Open zode	A-13

## 1 Inleiding

Het faalmechanisme gras erosie kruin en binnentalud (GEKB) kan probabilistisch worden beoordeeld met Riskeer in het kader van het WBI2017. Hiervoor zijn kansverdelingen van het kritisch golfoverslagdebiet afgeleid [3]. De kansverdelingen zijn een resultaat van een probabilistische berekening met het achterliggende erosiemodel voor een grasbekleding bij golfoverslag: de cumulatieve overbelastingmethode [4], gecombineerd met expert judgement.

In het kader van het Ontwerpinstrumentarium, OI2014 versie 4, zijn opnieuw kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet afgeleid [1]. Bij deze afleiding is gebruik gemaakt van een aangepast erosiemodel en is daarnaast rekening gehouden met de negatieve invloed van overgangen en objecten op dit mechanisme door middel van invloedfactoren op zowel de sterkte als de belasting. Overgangen en objecten zijn bijvoorbeeld een boom of een weg op de kruin van de dijk (Figuur 1.1).

In het kader van het BOI zijn in deze studie wederom kansverdelingen van het kritisch golfoverslagdebiet afgeleid. Ten opzichte van de eerdere kansverdelingen zijn de uitgangspunten aangepast en zijn verdelingen afgeleid voor meerdere scenario's.



Figuur 1.1 Boom in een grasbekleding en een asfaltweg op de kruin van de dijk

Het is de bedoeling dat de in deze studie afgeleide kansverdelingen uiteindelijk in Hydra-Ring/ Riskeer kunnen worden gebruikt als hulpmiddel bij de beoordeling en het ontwerp van dijken. Voordat de kansverdelingen worden toegepast wordt aanbevolen enkele aanvullende werkzaamheden uit te voeren (paragraaf 6.3). De kansverdelingen zijn afgeleid voor 64 scenario's welke in overleg met RWS WV tot stand zijn gekomen. De kansverdelingen zijn geschikt voor gebruik in Hydra-NL.

De afleiding van de kansverdelingen is uitgevoerd volgens dezelfde methode als beschreven in [1].

In hoofdstuk 2 staan de uitgangspunten en de scenario's waarvoor de kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet zijn afgeleid. Hoofdstuk 3 bevat de resultaten en enige duiding bij de berekende faalkansverdelingen. In hoofdstuk 4 wordt beschreven welke overgangen wel en niet vallen onder de afgegeven kansverdelingen, geïllustreerd met enkele foto's. Een beperkte kwantificering van het effect van het in rekening brengen van objecten en overgangen wordt gegeven in Hoofdstuk 5. Tenslotte bevat hoofdstuk 6 conclusies en aanbevelingen.

## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Rekenmethode voorwaardelijke faalkansen

De gebruikte methode voor het afleiden van de kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet wordt beschreven in [1]. De kansverdelingen zijn bedoeld voor gebruik in Hydra-Ring/ Riskeer. De in deze studie gehanteerde uitgangspunten worden hier kort samengevat:

- Er is gebruik gemaakt van het gras erosiemodel de cumulatieve overbelastingmethode zoals beschreven in [1].

$$D = \sum_{i=1}^N \max \left[ \left( \alpha_M (\alpha_a U_i)^2 - \alpha_S U_c^2 \right); 0 \right]$$

Waarin:

D Cumulatieve overbelasting, ook wel schadegetal ( $m^2/s^2$ ).

N Aantal overslaande golven (-).

$\alpha_M$  Factor voor verdisconteren belastingverhoging bij overgangen (-).

$\alpha_a$  Versnellingsfactor afhankelijk van taludhelling en lengte (-).

$\alpha_S$  Factor voor verdisconteren sterkteverlaging bij overgangen (-).

$U_i$  Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid tijdens de  $i^{\text{de}}$  overslaande golf ter plaatse van de kruin (m/s).

$U_c$  Kritische stroomsnelheid (m/s).

- De waterstand en golfcondities worden stationair beschouwd voor een periode van 2, 5 en 12 uur. Deze stationaire belasting wordt karakteristiek verondersteld voor een werkelijk verloop van waterstand en golfcondities in tijd.
- De verdeling van golfoploophoogtes is gebaseerd op het Technisch Rapport Golfloop en Golfoverslag bij Dijken [2].
- Bij het berekenen van de oploophoogte is uitgegaan van een glad buitentalud, zonder berm met een helling van 1:3. Er is gebruik gemaakt van formule 5 uit [2][1]. Formule 5 geeft de verwachtingswaarde van de 2% golfoploophoogte die als deterministische waarde is toegepast.
- Er is conform [1] uitgegaan van een golfsteilheid van 4%, uitgaande van de golfhoogte op diep water bij de piekperiode.
- Voor de berekening van de stroomsnelheid van de  $i^{\text{de}}$  overslaande golf  $U_i$  (m/s) op de kruin van de dijk is gebruik gemaakt van de relatie hiervan met de wortel uit de golfoploophoogte van de  $i^{\text{de}}$  golf  $R_{ui}$  (m+NAP) boven de kruinhoogte  $h_k$  (m+NAP).  

$$U_i = c_{u2\%} \left[ g (R_{ui} - h_k) \right]^{0.5}$$
 Voor de coëfficiënt  $c_{u2\%}$  is conform [1] 1,45 (-) gebruikt. Dit betreft een discretisatie van golfoverslagvolumes tot een reeks, hetgeen voor kleine golfoverslagdebieten leidt tot een onderschatting van de cumulatieve overbelasting en een onderschatting van de faalkans. De coëfficiënt van 1,45 (-) is in werkelijkheid een onzekere parameter waarschijnlijk gelegen tussen 1,4 en 1,5 [5]. In deze analyse is conform [1] uitgegaan van een deterministische waarde.
- Voor taluds met enkel een geometrische overgang van talud naar achterland of berm wordt gebruik gemaakt van  $\alpha_M=1,1$  (-) en  $\alpha_S=1,0$  (-).
- Voor de kruin zonder overgangen of objecten wordt gebruik gemaakt van  $\alpha_M=1,0$  (-) en  $\alpha_S=1,0$  (-).

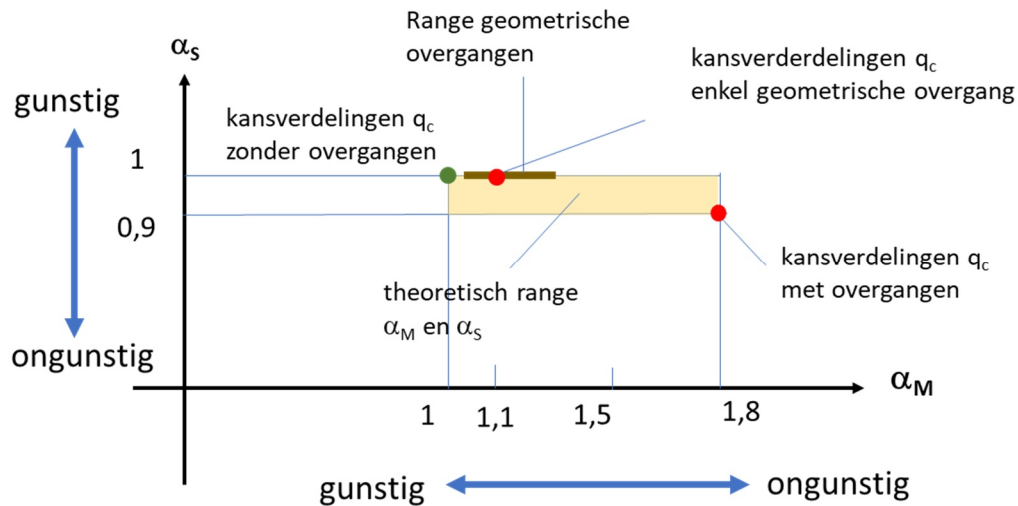
- Voor het modelleren van de overgang in de cumulatieve overbelastingmethode wordt gebruik gemaakt van een deterministische waarde van  $\alpha_M=1,8$  (-) en  $\alpha_S=0,9$  (-). Deze combinatie geldt voor een nette overgang en is theoretisch het meest ongunstig (zie hiervoor Hoofdstuk 4).
- Conform [1] wordt onderscheid gemaakt tussen de kruin en het talud door het in rekening brengen van de versnellingsfactor  $\alpha_a$ , voor de kruin in deze 1 en voor het talud 1,4.(-).
- De erosiebestendigheid van de grasbekleding wordt uitgedrukt in de kritische stroomsnelheid  $U_c$  (m/s). Conform [1] wordt uitgegaan van een normale verdeling met:
  - Gesloten zode op klei 8 m/s,  $\sigma=1,0$  m/s
  - Open zode op klei 6 m/s,  $\sigma=0,75$  m/s
- Deze kansverdelingen van de kritische stroomsnelheid worden gezien als realistisch voor de gegeven graskwaliteiten op een substraat van klei.
- Voor de kritische cumulatieve overbelasting is conform [1] 7000 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> aangehouden met  $\sigma=700$  m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, uitgaande van een normale verdeling.
- Voor een golfoverslagdebiet van 0,1; 1, 5, 10, 50, 100 en 200 l/s per m is per scenario de faalkans berekend, middels een numerieke integratie.
- Door de berekende faalkansen per golfoverslagdebiet is een lognormale verdeling gefit. De grafische weergave voor alle gefitte kansverdelingen is opgenomen in bijlage A.

In het kader van [1] voor 29 scenario's met andere uitgangspunten kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet afgeleid. De afwijkende uitgangspunten zijn:

- Buitentaludhelling voor de berekening van golfoverslag en golfoploop 1:4 (ipv 1:3 in deze studie).
- Afwijkende variatie van parameters belastingduur en alfa's.

## 2.2 Scenario's

In het kader van [1] zijn naast invloedsfactoren voor het theoretisch ongunstigste geval van een object of overgang  $\alpha_M=1,8$  (-) en  $\alpha_S=0,9$  (-) ook invloedsfactoren gegeven voor een gemiddelde overgang,  $\alpha_M=1,5$  (-) en  $\alpha_S=0,9$  (-). Er is helaas onvoldoende kennis over welke overgang welke invloedsfactoren zou moeten krijgen. Er is geen consensus over tussen experts en proefresultaten geven er voorsnog geen uitsluitsel over. In het kader van deze studie is gekozen voor kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet gelijk aan  $\alpha_M=1,8$  (-) en  $\alpha_S=0,9$  (-), het theoretisch slechtste geval, voor een 'nette' overgang (zie Hoofdstuk 4). De foto's in Hoofdstuk 4 bevatten foto's van nette overgangen die vallen binnen de range van de gegeven alfa's. Alleen is niet bekend waar in deze range elk van de overgangen ligt (Figuur 2.1).



Figuur 2.1 Grafische weergave theoretisch bereik invloedsfactoren  $\alpha_M$  en  $\alpha_S$ , en de in deze studie gehanteerde combinaties voor enkel een geometrische overgang en een theoretisch ongunstigste combinatie

De scenario's waarvoor kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet zijn afgeleid, zijn in overleg met de opdrachtgever vastgesteld. De volgende parameters zijn gevarieerd:

- Groene dijk met enkel een overgang van talud naar berm en of achterland ( $\alpha_M=1,1$  en  $\alpha_S=1$ ), dijk met overgangen en objecten ( $\alpha_M=1,8$  en  $\alpha_S=0,9$ ).
- Belastingduur, 2, 5 en 12 uur.
- Golfhoogte 1, 2, en 3 m (3 m enkel voor belastingduur 2 en 5 uur).
- Graskwaliteit gesloten of open op klei.
- Versnellingsfactor 1 (kruin) of 1,4 (talud).

Het totale aantal scenario's waarvoor in deze studie een kansverdeling is afgeleid is daarmee gelijk aan 64, waarbij opgemerkt dat een aantal scenario's minder relevant zullen zijn omdat deze in de praktijk vrijwel nooit maatgevend zullen zijn. Het gaat om de scenario's voor de kruin van een groene dijk zonder overgangen of objecten, in dat geval zullen de scenario's voor het talud maatgevend zijn.

De belastingduur van 2, 5 en 12 uur is in deze studie aangehouden om een volledige range te kunnen bieden. De huidige stand van zaken omtrent te karakteristieke belastingduur is dat voor stormgedreven hoogwaters 3 uur een geschikte duur is en voor afvoergedreven hoogwaters 5 uur, op basis van [4]. Bij een grote getijslag zou dit echter ook 2 uur kunnen worden. Voor GEBU wordt momenteel voor afvoergedreven hoogwaters uitgegaan van een continue golfbelasting gedurende 12 uur, wat niet helemaal aansluit bij de aangehouden belasting voor GEKB bij afvoergedreven hoogwaters. Mogelijk zal de karakteristieke belastingduur voor GEKB in de komende tijd nader worden onderbouwd en /of aangepast.



In het kader van [1] zijn met iets afwijkende uitgangspunten 29 scenario's doorerekend. In deze eerdere studie is gevarieerd met:

- Objecten en overgangen in vier categorieën:
  - Geen enkele overgang  $\alpha_M=1,0$ ;  $\alpha_S=1,0$  (alleen talud, of heel ruim afgeronde overgang tussen talud en achterland).
  - Overgang van talud naar berm/ achterland  $\alpha_M=1,1$ ;  $\alpha_S=1,0$ .
  - Gemiddelde overgang of object  $\alpha_M=1,5$ ;  $\alpha_S=0,9$ .
  - Theoretisch slechtste geval van een overgang of object  $\alpha_M=1,8$   $\alpha_S=0,9$ .
- Golfhoogte 0,5, 1, 2, 3 en 4 m.
- Open en gesloten zode op klei en gesloten zode op zand.
- Tijdsduur van de belasting 3 en 5 uur.

### 3 Kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet

Op basis van de uitgangspunten uit hoofdstuk 2 zijn kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet afgeleid. Voor een golfoverslagdebiet van 0,1, 1, 5, 10, 50, 100 en 200 l/s per m is een faalkans berekend. Door deze punten is een lognormale kansverdeling van het kritisch golfoverslagdebiet gefit. De gefitte verdelingen zijn niet perfect, soms moest worden gekozen voor een betere aansluiting op de punten bij hogere of lagere waarden van het golfoverslagdebiet. De resultaten staan in *Tabel 3.1*. De figuren voor alle fits staan in bijlage A. Let op dat de nummering van de scenario's in de eerste kolom niet strikt oplopend is, dit komt door een in de loop van de studie gewijzigde indeling van de scenario's.

Nr	Overgang	Graskwaliteit	Versnelling (-)	Golfhoogte (m)	Duur (uur)	Verwachtingswaarde (l/s per m)	Spreiding (l/s per m)
<b>KRUIN met overgangen en objecten</b>							
1	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1	1	2	412	391
2	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1	1	5	189	210
3	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1	1	12	43	35
4	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1	2	2	79	38
5	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1	2	5	24	11
6	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1	2	12	13	7,9
7	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1	3	2	53	18
8	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1	3	5	17	5,2
17	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1	1	2	60	33
18	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1	1	5	21	13
19	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1	1	12	8,2	4,6
20	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1	2	2	23	5,9
21	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1	2	5	10	3,3
22	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1	2	12	4,3	1,2
23	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1	3	2	27	6,5
24	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1	3	5	9,4	2,2
<b>KRUIN zonder overgangen en objecten</b>							
33	Nee $\alpha_M=1,0$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1	1	2	28.480	54.614
34	Nee $\alpha_M=1,0$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1	1	5	10.820	21.594
35	Nee $\alpha_M=1,0$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1	1	12	7.952	19.685
36	Nee $\alpha_M=1,0$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1	2	2	1.315	1.191
37	Nee $\alpha_M=1,0$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1	2	5	439	382
38	Nee $\alpha_M=1,0$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1	2	12	224	223
39	Nee $\alpha_M=1,0$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1	3	2	461	286
40	Nee $\alpha_M=1,0$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1	3	5	150	85
49	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1	1	2	537	416
50	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1	1	5	271	262
51	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1	1	12	167	212
52	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1	2	2	121	49

Nr	Overgang	Graskwaliteit	Versnelling (-)	Golfhoogte (m)	Duur (uur)	Verwachtingswaarde (l/s per m)	Spreiding (l/s per m)
53	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1	2	5	33	12
54	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1	2	12	20	11
55	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1	3	2	86	26
56	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1	3	5	24	6,4
<b>TALUD met overgangen en objecten</b>							
9	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	1	2	23	14
10	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	1	5	7,6	3,7
11	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	1	12	3,9	2,5
12	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	2	2	11	3,2
13	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	2	5	4,6	1,2
14	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	2	12	4,5	0,9
15	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	3	2	11	2,2
16	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	3	5	4,5	0,9
25	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1,4	1	2	7,2	2,8
26	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1,4	1	5	2,9	1,0
27	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1,4	1	12	1,2	0,5
28	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1,4	2	2	6,7	1,4
29	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1,4	2	5	2,8	0,6
30	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1,4	2	12	1,1	0,2
31	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1,4	3	2	7,7	1,2
32	Ja $\alpha_M=1,8$ en $\alpha_S=0,9$	Open	1,4	3	5	3,0	0,5
<b>TALUD zonder overgangen en objecten</b>							
41	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1,4	1	2	205	165
42	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1,4	1	5	119	129
43	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1,4	1	12	31	26
44	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1,4	2	2	59	28
45	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1,4	2	5	19	8,7
46	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1,4	2	12	14	4,3
47	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1,4	3	2	29	7,4
48	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Gesloten	1,4	3	5	14	4,3
57	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1,4	1	2	30	14
58	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1,4	1	5	11	4,3
59	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1,4	1	12	6,1	3,4
60	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1,4	2	2	18	4,6
61	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1,4	2	5	6,8	1,7
62	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1,4	2	12	3,5	1,0
63	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1,4	3	2	19	4,1
64	Nee $\alpha_M=1,1$ en $\alpha_S=1,0$	Open	1,4	3	5	7,4	1,7

Tabel 3.1 Scenario's onderhavige studie

In het kader van [1] zijn voor 29 scenario's kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet afgeleid. Deze scenario's staan in *Tabel 3.2*. De ten opzichte van deze studie zijn afwijkende uitgangspunten zijn aan de tabel toegevoegd, het gaat hierbij met name om de helling van het buitentalud voor de berekening van de golfploophoogte, de duur van de golfoverslag en de gehanteerde factoren voor het in rekening brengen van objecten en overgangen.

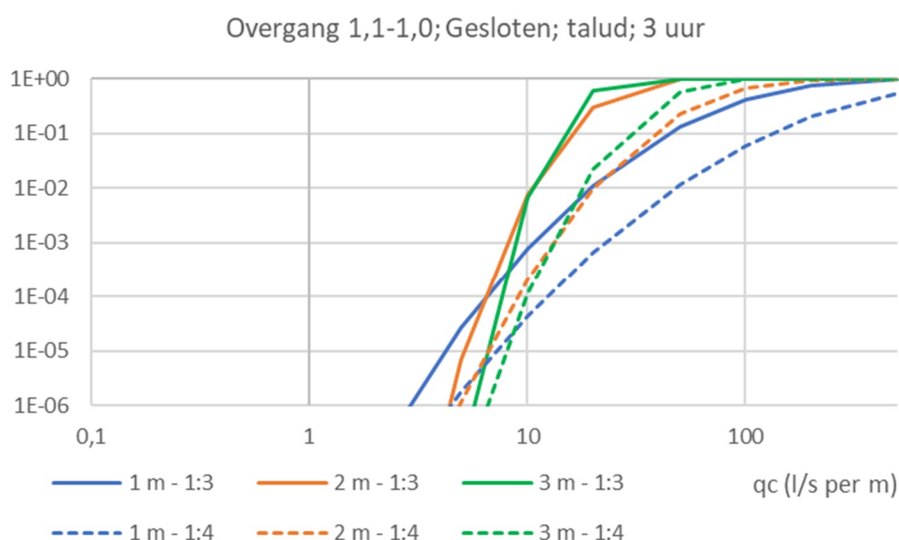
Nr	Overgang	Graskwaliteit	Versnelling (-)	Golfhoogte (m)	Duur (uur)	Helling buitentalud (1:..)	Verw. (l/s per m)	Spr. (l/s per m)
100	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	0,5	3	4	1,1E5	4,3E5
101	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	1	3	4	1,2E3	1,5E3
102	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	2	3	4	1,3E2	83
103	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	3	3	4	65	29
104	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	4	3	4	50	17
105	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Open	1,4	0,5	3	4	1,8E3	3,2E3
106	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Open	1,4	1	3	4	120	110
107	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Open	1,4	2	3	4	23	7,2
108	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Open	1,4	3	3	4	27	8,9
109	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Open	1,4	4	3	4	23	5,3
110	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	0,5	5	4	1,0E5	4,8E5
111	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	1	5	4	1,0E3	1,6E3
112	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	2	5	4	88	68
113	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	3	5	4	26	9,0
114	$\alpha_M=1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	4	5	4	21	5,7
115	$\alpha_M=1,1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	0,5	3	4	5,6E4	1,9E5
116	$\alpha_M=1,1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	1	3	4	729	915
117	$\alpha_M=1,1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	2	3	4	93	59
118	$\alpha_M=1,1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	3	3	4	51	22
119	$\alpha_M=1,1; \alpha_S=1$	Gesloten	1,4	4	3	4	41	14
120	$\alpha_M=1,5; \alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	0,5	3	4	1,6E3	3,6E3
121	$\alpha_M=1,5; \alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	1	3	4	59	57
122	$\alpha_M=1,5; \alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	2	3	4	13,3	6,1
123	$\alpha_M=1,5; \alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	3	3	4	10,1	3,2
124	$\alpha_M=1,5; \alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	4	3	4	9,6	2,3
125	$\alpha_M=1,8; \alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	0,5	3	4	460	927
126	$\alpha_M=1,8; \alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	1	3	4	24	20
127	$\alpha_M=1,8; \alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	2	3	4	6,9	2,0
128	$\alpha_M=1,8; \alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	3	3	4	6,3	1,5
129	$\alpha_M=1,8; \alpha_S=0,9$	Gesloten	1,4	4	3	4	6,8	1,5

Tabel 3.2 Scenario's uit [1]

	Kansverdelingen zonder overgang van talud naar berm of achterland
	Kansverdelingen voor tussenvorm objecten en overgangen uit [1], welke niet goed kan worden omschreven

Voor de scenario's 33 tot en met 37 wordt een enorme verwachtingswaarde van het kritisch overslagdebiet berekend. Ook in de scenario's uit [1] komen dergelijke hoge verwachtingswaarden voor. Deze hoge waarden liggen zowel buiten het bereik van de rekenmethode van het golfoverslagdebiet als buiten het bereik van de uitgevoerde proeven. Het is echter alleen de staart van de kansverdeling, aan de lage kant, die van belang is voor de faalkansberekeningen met Riskeer. De voor de probabilistische berekening relevante golfoverslagdebieten liggen wel binnen het bereik van de overslagberekeningen en het ervaringsgebied van de golfoverslagproeven.

In het kader van deze studie is door de opdrachtgever gekozen voor een buitentaludhelling van 1:3 ten opzichte van de keuze voor 1:4 in [1]. Deze taludhelling van 1:3 past beter bij de voor rivierdijken aanwezige taluds dan de eerder gehanteerde 1:4. Om het effect hiervan op de kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet inzichtelijk te maken zijn voor de scenario's 116, 117 en 118 uit [1] ook berekeningen uitgevoerd met een helling 1:3, genoemd scenario's 116a, 117a en 118a. De resultaten staan in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Kansverdeling van het kritisch overslagdebiet  $q_c$  (l/s per m) voor golfhoogtes van 1, 2 en 3 m voor een helling van het buitentalud van 1:3 (volle lijn) en 1:4 (stippellijn)

De kansverdelingen voor een helling van 1:4 liggen lager en daarmee gunstiger dan die voor een helling van 1:3. Ter illustratie, kijken we bij een golfoverslagdebiet van 10 l/s per m, dan is de berekende faalkans van de grasbekleding bij een buitentalud van 1:4 met een golfhoogte van 1 m gelijk aan  $0,4 \times 10^{-4}$  (-) en bij een taludhelling van het buitentalud van 1:3  $0,8 \times 10^{-3}$  (-), ofwel een orde verschil. Voor hogere overslagdebieten neemt het verschil af, voor kleinere overslagdebieten neemt het verschil toe.

Naast de taludhelling zullen waarschijnlijk ook de ruwheid en eventuele bermen van invloed zijn op de kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet. Dit is een gevolg van de vereenvoudiging van de methode om de kans op falen te modelleren. Het is buiten de scope van deze studie om de effecten verder uit te diepen, of om verder te differentiëren naar scenario's voor het buitenbeloop van de dijk.

## 4 Afbakening geldigheid 'nette overgang'

### 4.1 Toelichting overgangen en objecten

Er zijn in deze studie twee scenario's van objecten en overgangen op kruin en binnentalud gedefinieerd:

1. Er is sprake van enkel een geometrische overgang van talud naar berm of achterland
2. Er is sprake van een willekeurige overgang of object, buiten de overgang van talud naar berm of achterland.

Voor scenario's waarbij sprake is van een overgang tussen een grasbekleding en een ander type object wordt in dit hoofdstuk toegelicht wanneer de resultaten uit deze studie kunnen worden toegepast en wanneer niet.

De geometrische overgang is altijd aanwezig in de vorm van een overgang van talud naar berm of achterland. Het wortelnet van de grasbekleding heeft geen onderbreking en er is dus geen sprake van een zwakke plek  $\alpha_s=1$  (-). Doordat de stroming van richting verandert komt er een extra hoge druk op de knik in de geometrie. Hoe meer afgerond deze is, hoe lager de extra belasting in theorie is. Voor gangbare overgangen tussen talud en berm of achterland is de variatie echter gering en wordt uitgegaan van één waarde:  $\alpha_M=1,1$  (-).

### 4.2 Situaties met een overgang of object

Situaties waarbij kan worden uitgegaan van een overgang of object hebben betrekking op nette overgangen waarvoor geldt dat deze voldoen aan de volgende criteria:

- Er is sprake van een goede aansluiting van de grasbekleding op het object (Figuur 4.1). Omdat het horizontale verband van de grasbekleding ter plaatse van de overgang wordt onderbroken wordt er gerekend met een waarde van  $\alpha_s = 0.9$ .



Figuur 4.1 Nette aansluiting wortelnet van de grasbekleding op de overgang, aangetoond door het steken van een plag

- Er is een mate van een verhoging van de hydraulische belasting. Dit wordt verdisconteerd in de waarde  $\alpha_M = 1.8$ .
- Er zijn kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet voor deze situatie beschikbaar (Tabel 3.1):
  - De overgang bevindt zich op kruin of binnentalud.
  - De golfhoogte is in de orde van 1 tot en met 3 m.
  - De representatieve belastingduur is 2, 5 of 12 uur.
  - Het betreft een gesloten of open grasbekleding op klei.

In onderstaande foto's staan voorbeelden van nette overgangen (Figuur 4.2 en Figuur 4.3).

Foto links:

Rechts op de kruin bevindt zich een vlakke aansluiting tussen de grasbekleding en het asfalt voetpad. Links daarvan bevinden zich enkele Niet Waterkerende Objecten van klein formaat (kleiner dan  $15 * 15 \text{ cm}^2$ ) Weer links daarvan bevindt zich een aansluiting van een grasbekleding op een opsluitband van een rijweg.

Foto rechts:

Op de rechter foto bevindt zich de aansluiting van een grasbekleding op doorgroeistenen.



Figuur 4.2 Voorbeelden 'nette' overgang

Foto links:

Nette aansluiting van de grasbekleding op een keermuur.

Foto rechts:

Nette aansluiting van de grasbekleding op een asfaltweg en een klinkerbestrating. Daarnaast de aansluiting op een raster.



Figuur 4.3 Voorbeelden 'nette' overgang

Wanneer er sprake is van een aansluitende grasbekleding op een object waarbij sprake is van een mindere grasmat ter plaatse van de aansluiting, dan bestaat nog de mogelijkheid om de berekening uit te voeren met de rekenresultaten voor een open zode, mits deze voldoet aan de beschrijving hiervan in de schematiseringshandleiding grasbekledingen. Een dergelijke situatie doet zich veelvuldig voor bij aansluitingen van een grasbekleding op een weg zoals weergegeven in Figuur 4.4.





Figuur 4.4 Voorbeelden 'nette' overgang, maar met een plaatselijk mindere kwaliteit grasbekleding

#### 4.3 Situaties waar de rekenresultaten niet kunnen worden toegepast

Voor een aantal situaties is het niet mogelijk om de rekenresultaten uit deze studie toe te passen. Hier gaat hierbij om de volgende situaties:

- Overgangen op een ondergrond op zand. Dit komt frequent voor bij wegen op dijken waar in het dijklichaam een wegfundering van zand is aangebracht.
- Situaties waarbij de grasbekleding niet aansluit op een object, of waarbij de grasbekleding ter plaatse van de overgang te slecht is om deze te kwalificeren als gesloten of als open zode. Van beide situaties zijn voorbeelden weergegeven in onderstaande foto's. Dit zijn zogenaamde niet-nette overgangen (Figuur 4.5).



*Figuur 4.5 Voorbeelden niet nette overgangen*

- Situaties waarbij sprake is van een zeer verhoogde toename van de hydraulische belasting. Dergelijke situaties doen zich voor bij stroomcontractie rond huizen op het binnentalud van een dijk. Onderstaande foto geeft hiervan een voorbeeld (Figuur 4.6). Vaak is er rondom panden ook geen sprake van een open of gesloten zode, maar gaat het om tuinen, borders, klinkerbestrating, grindpaden et cetera. Hiervoor zijn de afgeleide kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet niet geschikt.



*Figuur 4.6 Voorbeelden panden in de bekleding*

## 5 Vergelijking met WBI2017 kansverdelingen

De in het kader van deze studie afgeleide kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet (*Tabel 3.1*) zijn vergeleken met de kansverdelingen uit het WBI [3]. De kansverdelingen voor het WBI zijn destijds afgeleid op basis van een iets ander erosiemodel en zonder rekening te houden met overgangen en objecten, ook niet met de overgang van talud naar berm of achterland. Later is het model aangepast en is in het kader van [1] gekeken in hoeverre het aangepaste model en het meenemen van de altijd aanwezige overgang tussen talud en achterland paste bij de WBI- kansverdelingen. Uit deze vergelijking bleek dat de WBI- kansverdelingen aan de conservatieve kant waren ten opzichte van de in [1] afgeleide kansverdelingen.

In deze studie zijn weer andere uitgangspunten gehanteerd:

- Differentiatie van de belastingduur naar 2, 5 en 12 uur, in plaats van 6 uur (WBI) en 3 en 5 uur [1].
- Taludhelling buitentalud 1:3 in plaats van 1:4 (WBI en [1]).
- In rekening brengen van overgangen en objecten met invloedsfactoren.

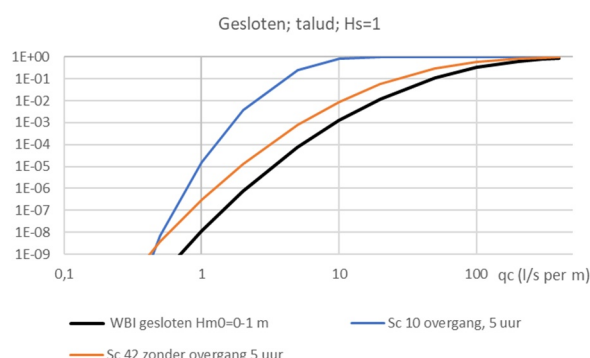
Door deze wijziging van uitgangspunten veranderen ook de kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet. Door de wijzigingen zal geen enkele van de nu 64 scenario's overeenkomen met de WBI kansverdelingen. Om inzicht te krijgen of de kansverdelingen gunstiger of ongunstiger gaan uitpakken zijn deze met elkaar vergeleken.

Om een werkelijke schatting van de impact te krijgen op de beoordeling en het ontwerp van dijken zouden meerdere berekeningen met Riskeer moeten worden gemaakt. Er waren drie profielen beschikbaar waarvoor een Riskeerberekening is gemaakt van het Hydraulisch Belastingniveau (HBN). Deze geven een beperkt beeld van de invloed op de kruinhoogte.

### 5.1 Golfhoogteklasse tot 1 m

Er is bij de vergelijking uitgegaan van een golfhoogte van 1 m en een gesloten zode op klei. De belastingduur is afhankelijk van het watersysteem. In [4] wordt voor rivierdijken representatieve belastingduur van circa 5 uur gevonden. Voor de kansverdelingen in het WBI2017 is uitgegaan van 6 uur. Met de representatieve belastingduur wordt bedoeld de belastingduur waarbij de maximale golfoverslag tijdens een stormgebeurtenis wordt aangehouden en een gelijke cumulatieve overbelasting geeft als de overslag tijdens het hele stormverloop, met toenamen, piek en afname. Daarnaast zijn overgangen en objecten expliciet in rekening gebracht en is de taludhelling van het buitentalud aangepast van 1:4 naar 1:3, wat ongunstig werkt.

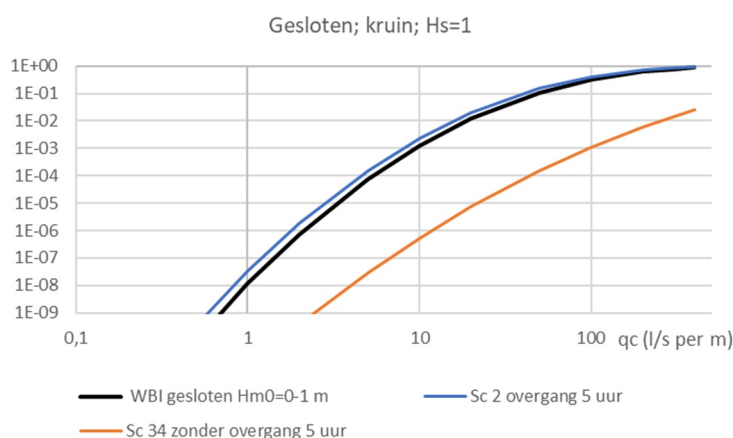
De kansverdelingen zijn grafisch weergegeven in Figuur 5.1.



Figuur 5.1 Kansverdeling  $q_c$  (l/s per m) bij een golfhoogte van 1 m en een gesloten zode op klei, volgens WBI, en scenario's 10, met overgangen op het talud en 42, zonder overgangen op het talud

De kansverdeling voor het talud zonder overgangen (sc 42) is al iets ongunstiger dan de WBI-kansverdeling. De kansverdeling waarbij rekenging wordt gehouden met overgangen en objecten is logischerwijs ongunstiger. Ter illustratie, de faalkans bij 10 l/s per m is volgens WBI orde  $10^{-3}$ , volgens scenario 42 zonder overgangen orde 0,01 en volgens scenario 10, met overgangen orde 1.

Dezelfde vergelijking is gemaakt voor de kruin, dus waarbij de versnellingsfactor gelijk is aan 1 (-) in plaats van 1,4 (-) (Figuur 5.2).



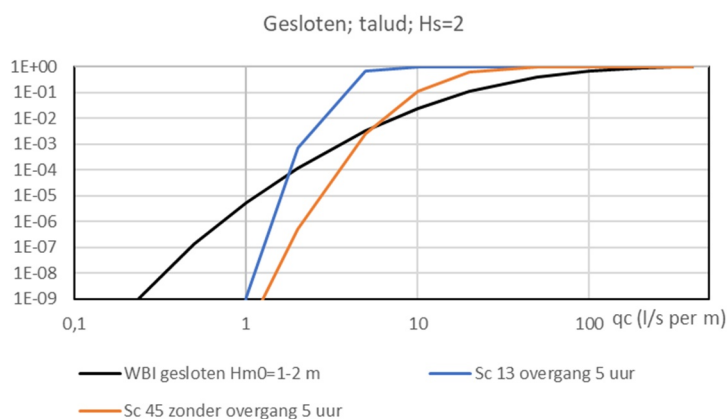
Figuur 5.2 Kansverdeling  $q_c$  (l/s per m) bij een golfhoogte van 1 m en een gesloten zode op klei, volgens WBI, en scenario's 2, met overgangen op de kruin en 34, zonder overgangen op de kruin

Zonder overgangen, scenario 3, ligt de kansverdeling van  $q_c$  veel gunstiger dan die van het WBI. Met overgangen, scenario 34, is de kansverdeling nagenoeg gelijk aan die van het WBI.

## 5.2 Golfhoogteklasse 2 m

Er is bij de vergelijking uitgegaan van een golfhoogte van 2 m en een gesloten zode op klei. Voor stormgedreven watersystemen, zoals zee en meren, is in [4] een representatieve belastingduur gevonden van 3 uur, in plaats van de gehanteerde 6 uur bij WBI. Bij de vergelijking is uitgegaan van 5 uur, vanwege beschikbaarheid van scenario's. Overwogen zou kunnen worden om, door interpolatie, een scenario voor 3 uur af te leiden. Daarnaast zijn uiteraard de overgangen en objecten expliciet in rekening gebracht en is de taludhelling van het buitentalud aangepast van 1:4 naar 1:3.

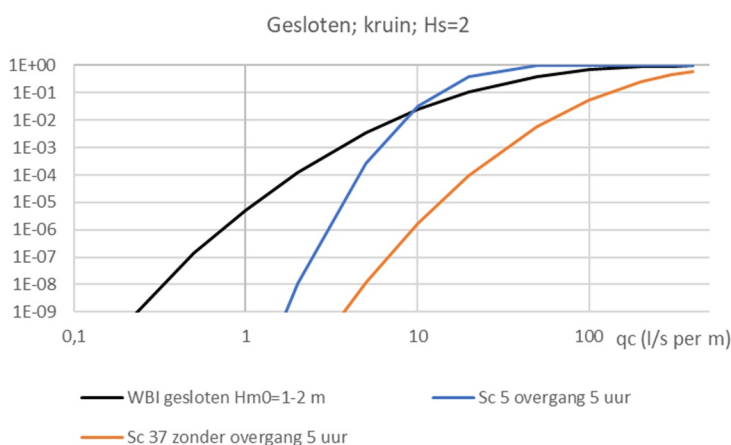
De kansverdelingen zijn grafisch weergegeven in Figuur 5.3.



Figuur 5.3 Kansverdeling  $q_c$  (l/s per m) bij een golfhoogte van 2 m en een gesloten zode op klei, volgens WBI, en scenario's 13, met overgangen op het talud en 45 zonder overgangen op het talud

Beide kansverdelingen, scenario 13 en 45 liggen bij overslagdebieten boven 2 à 5 l/s per m boven de WBI kansverdeling en zijn in dat bereik ongunstiger. Ter illustratie, de faalkans bij 10 l/s per m is volgens WBI orde  $10^{-2}$ , volgens scenario 45 zonder overgangen orde 0,1 en volgens scenario 13, met overgangen orde 1. Bij lagere waarden van het kritisch overslagdebiet duiken de kansen veel sneller naar nul in vergelijking tot het WBI en rivierdijken.

Dezelfde vergelijking is gemaakt voor de kruin, dus waarbij de versnellingsfactor gelijk is aan 1 (-) in plaats van 1,4 (-) (Figuur 5.4). De WBI kansverdeling maakt geen onderscheid tussen kruin en talud dus de ligging blijft gelijk aan die voor het talud.



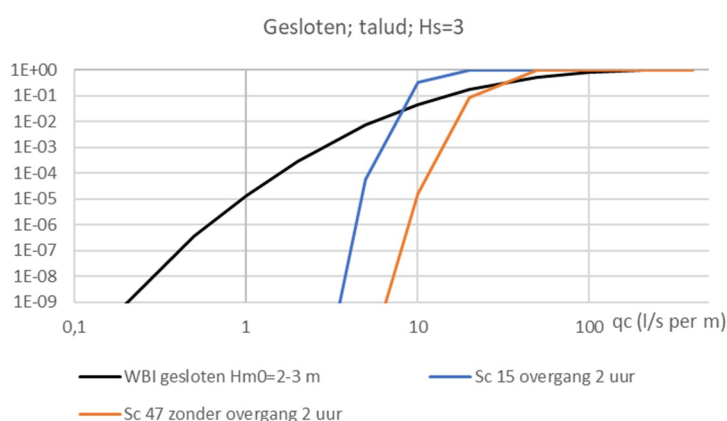
Figuur 5.4 Kansverdeling  $q_c$  (l/s per m) bij een golfhoogte van 2 m en een gesloten zode op klei, volgens WBI, en scenario's 5, met overgangen op de kruin en 37, zonder overgangen op de kruin

Met overgangen, scenario 5, ligt de kansverdeling van  $q_c$  bij een overslagdebiet groter dan 10 l/s per m nog iets ongunstiger dan die van het WBI, echter bij lagere overslagdebieten en kleinere kansen dan orde  $10^{-2}$  ligt de kansverdeling met overgangen gunstiger dan die van het WBI. De kansverdeling zonder overgangen, scenario 37, is volledig gunstiger dan die van het WBI.

### 5.3 Golfhoogteklasse 3 m

Er is bij deze vergelijking uitgegaan van een golfhoogte van 3 m en een gesloten zode op klei. Voor stormgedreven watersystemen, zoals zee en meren, is in [4] een representatieve belastingduur gevonden van 3 uur, in plaats van de gehanteerde 6 uur bij WBI. Bij de vergelijking is uitgegaan van 2 uur, vanwege beschikbaarheid van scenario's. Overwogen zou kunnen worden om, door interpolatie, een scenario voor 3 uur af te leiden. Verder zijn de overgangen en objecten expliciet in rekening gebracht en is de taludhelling van het buitentalud aangepast van 1:4 naar 1:3. Voor zeedijken is een taludhelling van het buitentalud van 1:4 echter meer gangbaar en in die zin zijn de hier gegeven kansverdelingen juist conservatief.

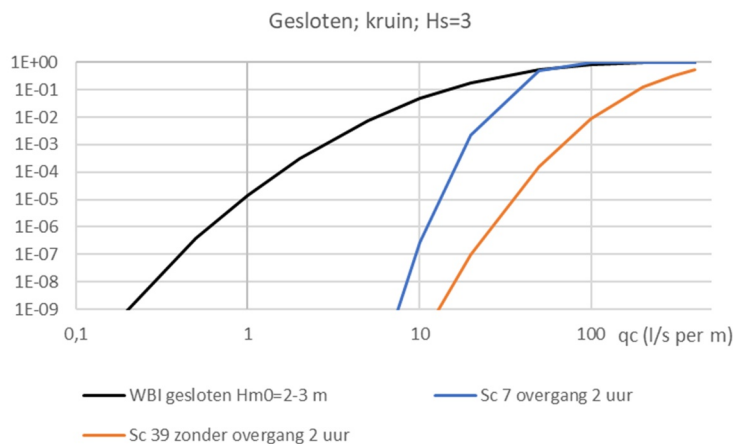
De kansverdelingen zijn grafisch weergegeven in Figuur 5.5.



Figuur 5.5 Kansverdeling  $q_c$  (l/s per m) bij een golfhoogte van 3 m en een gesloten zode op klei, volgens WBI, en scenario's 15, met overgangen op het talud en 47 zonder overgangen op het talud

Voor overslagdebieten boven ca. 20 l/s per m is de binnen deze studie afgeleide kansverdeling zonder overgangen op het talud, scenario 47, iets ongunstig ten opzichte van de WBI kansverdeling. Het verschil is echter zeer klein en globaal gezien ligt de kansverdeling aanzienlijk gunstiger dan die van het WBI. Voor de kansverdeling met overgangen en objecten op het talud van de dijk, scenario 15, ligt de kansverdeling boven een overslagdebiet van ca. 10 l/s per m ongunstiger en daaronder aanzienlijk gunstiger. Het zal aan de specifieke situatie liggen hoe dit uitpakt. Gezien de sterke daling van de faalkans tussen circa 5 en 10 l/s per m lijkt een rekenwaarde tussen de 5 en 10 l/s per m voor een dergelijke dijk met 'nette' overgangen haalbaar.

Voor de kruin liggen de kansverdelingen logischerwijs wat gunstiger ten opzichte van de WBI kansverdeling. Deze zijn weergegeven in Figuur 5.6.



Figuur 5.6 Kansverdeling  $q_c$  (l/s per m) bij een golfhoogte van 3 m en een gesloten zode op klei, volgens WBI, en scenario's 7, met overgangen op de kruin en 39, zonder overgangen op de kruin

Voor zowel het scenario met als zonder overgangen en objecten op de kruin van de dijk liggen de kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet gunstiger dan die uit het WBI.

#### 5.4 Riskeer GEKB kruinhoogteberekening

Voor drie dwarsprofielen zijn berekeningen uitgevoerd met Riskeer, rekenoptie 'HBN-berekenen'. Let op dat bij deze berekening gebruik is gemaakt van de kansverdeling van het kritisch golfoverslagdebiet, in tegenstelling tot een deterministisch kritisch golfoverslagdebiet dat bij reguliere HBN-berekening met Hydra-NL wordt gebruikt. Het betreft twee profielen langs de Waddenzee, golfhoogte circa 2 m en één profiel langs een rivier, golfhoogte circa 1 m. Er is uitgegaan van een gesloten zode op klei. De kruinhoogteberekening is uitgevoerd met kansverdelingen voor een duur van 2 uur en 5 uur en dat de resultaten lineair zijn geïnterpoleerd voor een tijdsduur van 3 uur. De resultaten staan in Tabel 5.1.

Traject	Water	Scenario	HBN (m NAP)	t.o.v. WBI (m)
6-5	Waddenzee	WBI2017	<b>7,64</b>	<b>0</b>
		sc 44, talud, zonder overgang, 2 uur	7,38	
		sc 45, talud, zonder overgang, 5 uur	7,93	
		Interpolatie 3 uur, <i>zonder overgang</i>	<b>7,56</b>	<b>-0,08</b>
		Sc 12, talud, met overgang, 2 uur	8,12	
		sc 13, talud, met overgang, 5 uur	8,56	
		Interpolatie 3 uur, <i>met overgang</i>	<b>8,27</b>	<b>+0,63</b>
6-7	Waddenzee	WBI2017	<b>7,82</b>	<b>0</b>
		sc 42, talud, zonder overgang, 5 uur	<b>7,90</b>	<b>+0,08</b>
		Sc 10, talud, met overgang, 5 uur	<b>8,15</b>	<b>+0,33</b>
43-1	Lek	WBI2017	<b>8,79</b>	<b>0</b>
		sc 44, talud, zonder overgang, 2 uur	8,69	
		sc 45, talud, zonder overgang, 5 uur	8,98	
		Interpolatie 3 uur, zonder overgang	<b>8,79</b>	<b>0</b>
		Sc 12, talud, met overgang, 2 uur	9,09	
		sc 13, talud, met overgang, 5 uur	9,31	
		Interpolatie 3 uur, met overgang	<b>9,16</b>	<b>0,37</b>

Tabel 5.1 Resultaten Riskeerberekeningen, optie 'HBN berekenen', voor drie profielen (m tov NAP) en de verschillen in HBN ten opzichte van WBI2017 (m)

Uit deze beperkte steekproef blijkt dat de kansverdelingen uit deze studie, zonder overgangen en objecten anders dan de geometrische, leiden tot ongeveer eenzelfde benodigde kruinhoogte als de WBI2017 kansverdelingen. Indien er wel overgangen en objecten op het talud aanwezig zijn, dan scheelt dat voor deze steekproef 0,3 à 0,6 m op de benodigde kruinhoogte.



## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusie

Volgens een in het kader van [1] bepaalde rekenmethode zijn voor 'nette' overgangen (Hoofdstuk 4) kansverdelingen van het kritisch golfoverslagdebiet bepaald voor 64 scenario's (Hoofdstuk 3). 32 scenario's met overgangen en objecten en 32 scenario's waarbij enkel de overgang van talud naar berm of achterland in rekening is gebracht. Het kritisch golfoverslagdebiet is het golfoverslagdebiet waarbij de grasbekleding op de kruin en of het binnentalud van de dijk faalt. Dit betekent niet dat er ook direct sprake is van een dijkdoorbraak. De kansverdelingen kunnen worden gebruikt om met Riskeer faalkansberekeningen te maken.

Uit een korte vergelijking tussen de WBI2017 kansverdelingen en de kansverdelingen die in het kader van deze studie zijn afgeleid blijkt een wisselend beeld, afhankelijk van de aanwezigheid van overgangen en objecten en of het talud dan wel de kruin wordt beschouwd. De kansverdelingen vallen deels gunstiger en deels ongunstiger uit.

Enkele Riskeerberekeningen laten zeer beperkt het effect op de benodigde kruinhoogte zien. Voor twee profielen langs de Waddenzee leiden de nieuwe kansverdelingen tot een 0,08 m lagere kruinhoogte en gelijke kruinhoogte ten opzichte van WBI2017. Dit is voor het scenario zonder overgangen en objecten en een gesloten grasbekleding op klei bij een indicatieve golfhoogte van 2 m. Indien er rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van 'nette' objecten en overgangen op het dijktalud, dan moet de kruinhoogte circa 0,4 en 0,6 m hoger zijn. Voor een profiel langs de Lek met een indicatieve golfhoogte van 1 m wordt een 0,08 m hogere benodigde kruinhoogte berekend zonder overgangen en objecten, en moet de kruin circa 0,3 m omhoog indien wel rekening wordt gehouden met objecten en overgangen op het dijktalud.

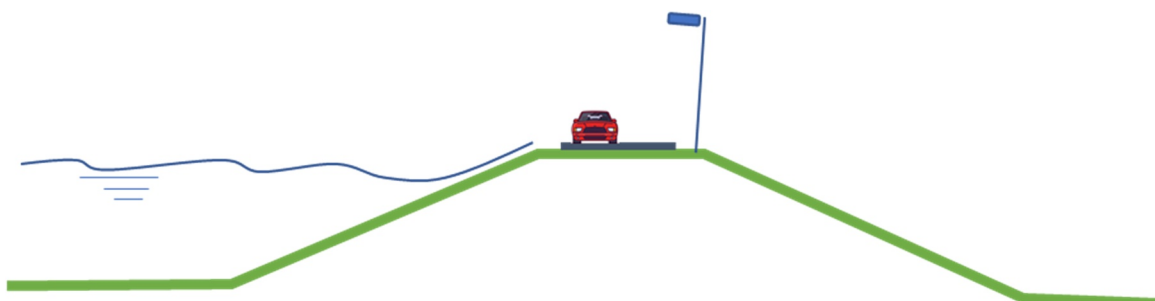
### 6.2 Handelingsperspectief

De kansverdelingen van het kritisch golfoverslagdebiet zoals gegeven in *Tabel 3.1* kunnen gebruikt worden in Riskeer om faalkans van de grasbekleding op de kruin en het binnentalud te berekenen, waarbij expliciet rekening kan worden gehouden met de aanwezigheid van overgangen en objecten. Ook kan met Riskeer een benodigde kruinhoogte worden berekend uitgaande van de gegeven kansverdelingen. Voor dijken die storm gedreven hoogwaters moeten keren en met een buitentaludhelling dichter bij 1:4 dan bij 1:3 kan hiervoor gebruik worden gemaakt van de scenario's 116- 119 en 125-129 uit *Tabel 3.2*, mits de zode gesloten is en het substraat uit klei bestaat.

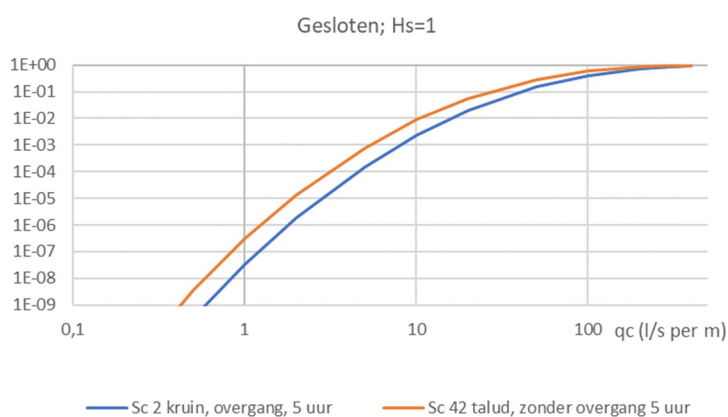
De kansverdelingen van het kritisch golfoverslagdebiet zijn afgeleid voor een representatieve belasting duur van 2, 5 en 12 uur. Deze range dekt de denkbare representatieve belastingduren voor primaire waterkeringen in Nederland. Totdat een betere onderbouwing wordt gevonden voor de representatieve belastingduur kan worden uitgegaan van 3 uur storm gedreven hoogwaters en 5 uur voor afvoer gedreven hoogwaters en overgangsgebieden.

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen overgangen en objecten op de kruin van de dijk en die op het talud. *Bijvoorbeeld*, een dijk met enkel objecten en of overgangen op de kruin, een gesloten zode op klei, een representatieve belastingduur van 5 uur en relatief lage golven van circa 1 m kan worden berekend met scenario 2. Voor het talud, zonder overgangen en objecten, geldt scenario 42. In dit geval is scenario 42 strikt ongunstiger, waardoor dit scenario maatgevend is en alleen dit scenario hoeft te worden berekend (Figuur 6.2). Meestal zal één

van de scenario's strikt ongunstiger zijn, echter dit dient te worden gecontroleerd, of beide scenario's moeten worden berekend.

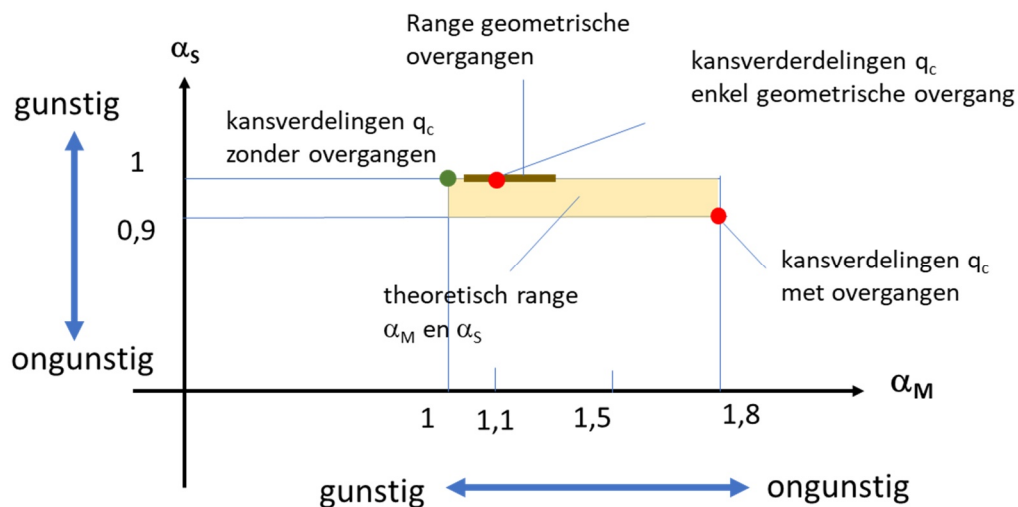


Figuur 6.1 Groene dijk met overgangen en objecten enkel op de kruin (weg en straatverlichting)



Figuur 6.2 Kansverdeling van het kritisch golfoverslagdebiet voor scenario 2 en scenario 42

De scenario's in Tabel 3.1 houden rekening met wat vanuit theorie op dit moment wordt gezien als het meest ongunstig. Benadrukt wordt dat de kennis over de werkelijke invloed van objecten en overgangen op erosie van grasbekledingen gering is. De scenario's waarin het effect van overgangen en objecten zijn opgenomen leiden naar verwachting tot een overschatting van de faalkans indien er slechts weinig overgangen en objecten in een dijkvak aanwezig zijn en tot een redelijke schatting van de faalkans als dit er veel zijn. De combinaties van alfa's waarvoor de kansverdelingen van  $q_c$  zijn afgeleid worden weergegeven in Figuur 6.3.



Figuur 6.3 Grafische weergave theoretisch bereik invloedsfactoren  $\alpha_M$  en  $\alpha_S$ , en de in deze studie gehanteerde combinaties voor enkel een geometrische overgang en een theoretisch ongunstigste combinatie

De redenering van theoretisch meest ongunstige overgangen en objecten geldt alleen als deze voldoen aan bepaalde eisen, zoals omschreven en met enkele foto's geïllustreerd in Hoofdstuk 4. Het beheer en onderhoud van de grasbekleding rondom overgangen en objecten is zeer belangrijk om het wortelnet van de grasbekleding aan te laten sluiten. Indien de overgangen en objecten niet voldoen aan deze eisen, er is bijvoorbeeld sprake van kale grond, dan is het erosiemodel waarschijnlijk ongeschikt.

Bij een dijkontwerp kan met behulp van deze kansverdelingen een afweging worden gemaakt of het mogelijk is om overgangen en objecten te verwijderen van de dijk, of er vanwege overgangen en objecten een extra kruinverhoging nodig is, er golfremming in de golfoploopzone nodig is, of er een versterkingsmaatregel rondom overgangen en objecten nodig is, om deze sterker te maken of lokaal de belasting te reduceren. Indien er rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van overgangen en objecten op de dijk, dan zal hierop ook beheer en onderhoud moeten kunnen worden uitgevoerd. In de praktijk blijkt dit laatste lastig, maar het is juist van groot belang voor de erosiebestendigheid.

### 6.3 Aanbevelingen

Voordat de kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet worden vrijgegeven voor gebruik in het BOI wordt aanbevolen:

- Een impactstudie te verrichten, waarbij met Riskeer voor een representatieve selectie van dijken wordt gekeken naar het effect van het toepassen van de nieuwe kansverdelingen met en zonder overgangen en objecten en in vergelijking met WBI. Hierbij zou gebruik kunnen worden gemaakt van de profielen die zijn gebruikt in het kader van VNK.
- Nader bekijken of en, indien dat het geval is, onder welke omstandigheden de gehanteerde deterministische waarde van de invloedsfactoren  $\alpha_M$  en  $\alpha_S$  kunnen worden geoptimaliseerd. Bij dijken met bijvoorbeeld slechts enkele overgangen of objecten binnen een dijkvak worden de factoren van 1,8 en 0,9 gezien als conservatief (zie Figuur 2.1), wat niet in lijn is met de overstromingskansbenadering.
- De kansverdelingen zijn afgeleid voor 2, 5 en 12 uur, dit zal de volledige range beslaan van wat denkbaar is bij Nederlandse watersystemen. In een eerder studie [4] is onderbouwd dat voor storm gedreven hoogwaters 3 uur representatief is, en voor afvoer

gedreven hoogwaters 5 uur. Aanbevolen wordt om ofwel terug te vallen op deze onderverdeling van 3 en 5 uur, ofwel de representatieve duur nader te onderbouwen.

- Aanbevolen wordt om de uitkomsten van deze studie voor te leggen aan bijvoorbeeld in KPR (of opvolger), ENW, het TM-Overleg van HWBP projecten en/of bij enkele dijkbeheerders voor hun beeld bij 'nette' overgangen en de werkbaarheid met de scenario's.

Verdere aanbevelingen:

- Het rekenen met kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet heeft aanzienlijke beperkingen ten opzichte van het direct toepassen van de achterliggende cumulatieve overbelasting. Aanbevolen wordt om te kijken wat er nodig is om de stap te zetten naar directe toepassing van de cumulatieve overbelastingmethode in een probabilistische berekening. Ofwel, het maken van een plan om hiertoe te komen.
- In deze studie is overeenkomstig [1] uitgegaan van enkele deterministische coëfficiënten die in werkelijkheid onzeker zijn en als stochast zouden moeten worden behandeld. Hier is kort naar gekeken en blijkt op de benodigde kruinhoogte slechts een beperkte invloed te hebben, echter het verdient de aanbeveling dit in het vervolg als stochast mee te nemen.
- Het is denkbaar dat op sommige dijken zoveel objecten en overgangen staan en dat deze niet of nauwelijks netjes zijn te onderhouden. Dit komt bijvoorbeeld voor bij lintbebouwing bij rivierdijken. In deze gevallen is een initiële schade of kale plek bijna altijd aanwezig. Het is echter niet zo dat de dijk dan direct zal bezwijken bij een gering golfoverslagdebiet, omdat er verdere erosie nodig is om uiteindelijk tot een overstroming van het achterland te komen. Aanbevolen wordt onderzoek te doen naar implementatie in het instrumentarium van erosie van kale grond bij overloop en golfoverslag om een reële inschatting van de kans op overstroming te komen.

## 7 Verwijzingen

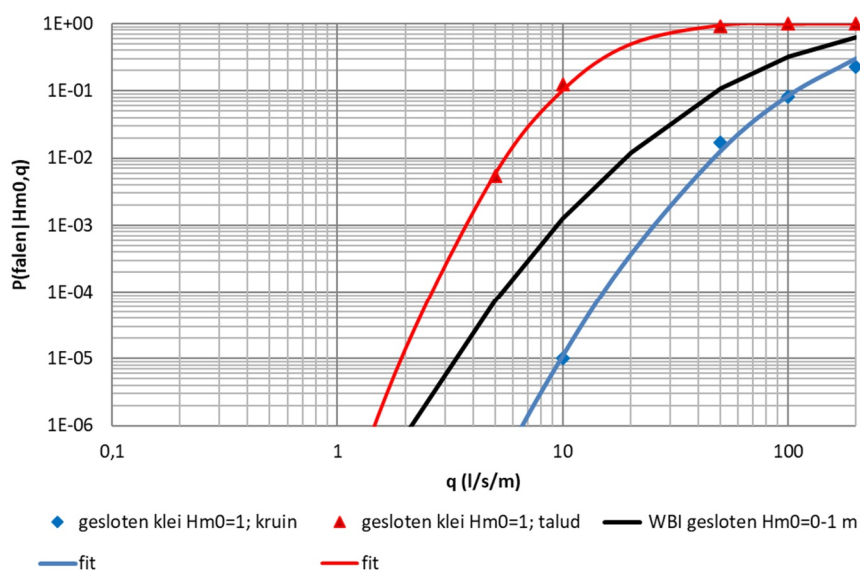
- [1] Onderbouwing kansverdelingen kritisch overslagdebiet ten behoeve van het OI2014v4, A. van Hoven, J.M. van der Meer, Deltares projectnummer 1230090-011, februari 2017
- [2] Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, mei 2002
- [3] Schematiseringshandleiding grasbekleding, WBI2017, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Versie 3.0 Definitief, April 2018
- [4] Memo Verdelingen kritisch overslagdebiet WT12017, d.d. 10 september 2015, A. van Hoven, Deltares projectnummer 1220086-005-HYE-0003
- [5] The Wave Run-up Simulator. Idea, necessity, theoretical background and design. Van der Meer Consulting Report vdm11355, 2011

## A Resultaten curve fitting

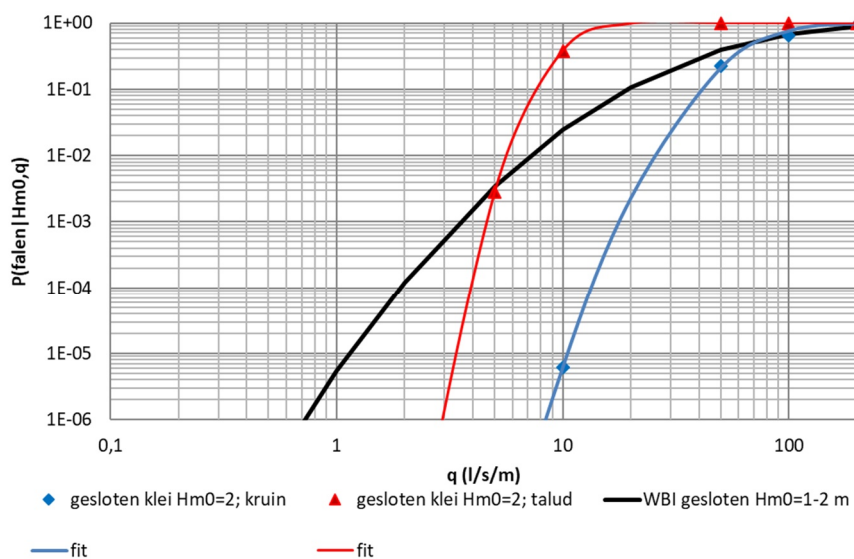
### A.1 Kansverdelingen met overgangen

#### A.1.1 Gesloten zode

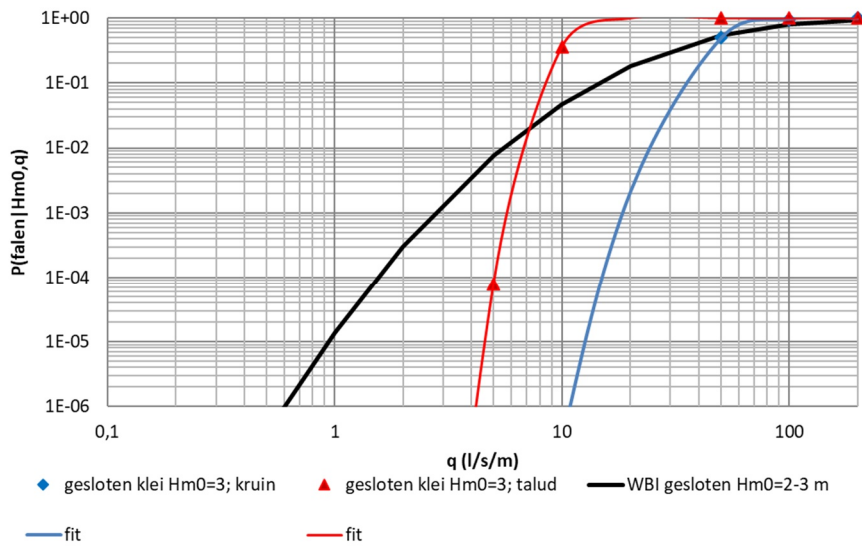
Belasting 2 uur



Scenario 1 en 9

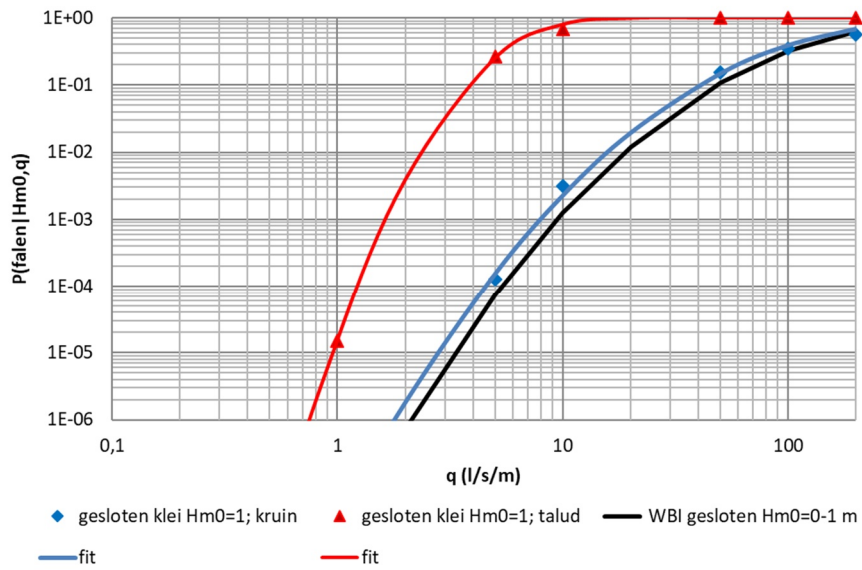


Scenario 4 en 12

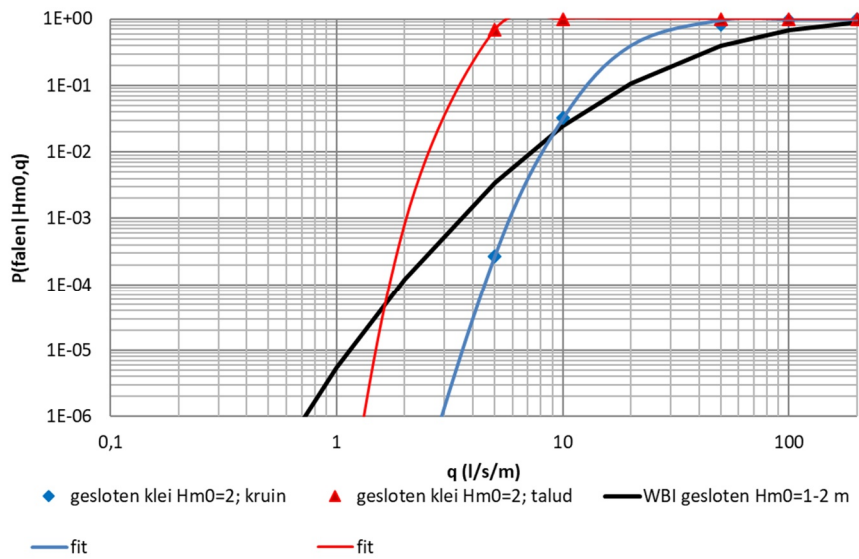


Scenario 7 en 15

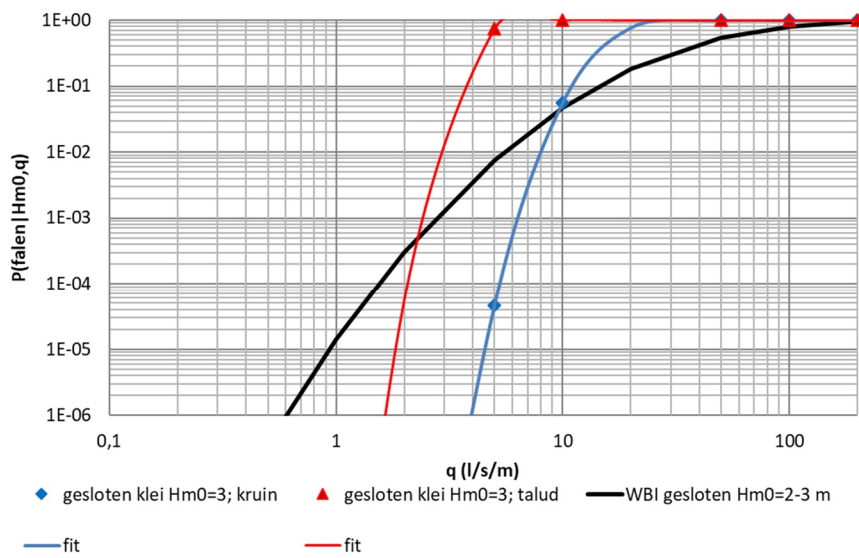
Belasting 5 uur



Scenario 2 en 10



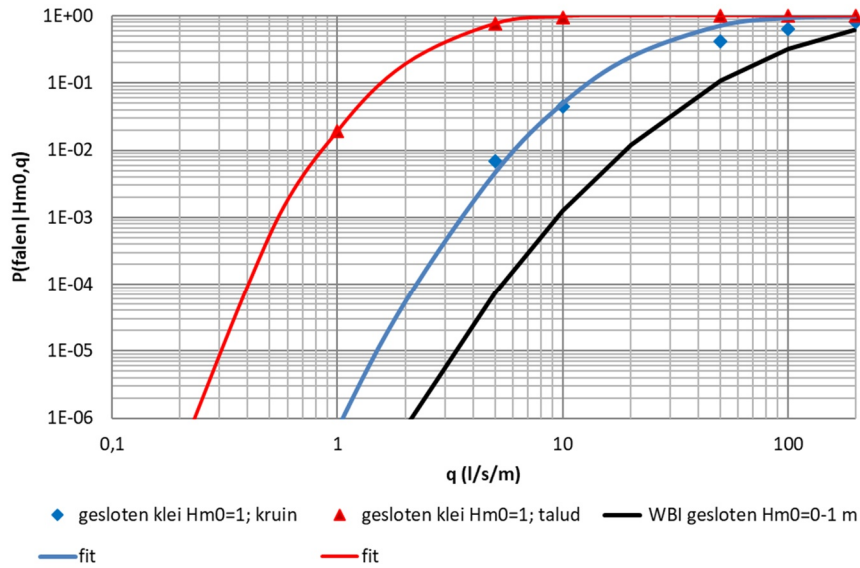
Scenario 5 en 13



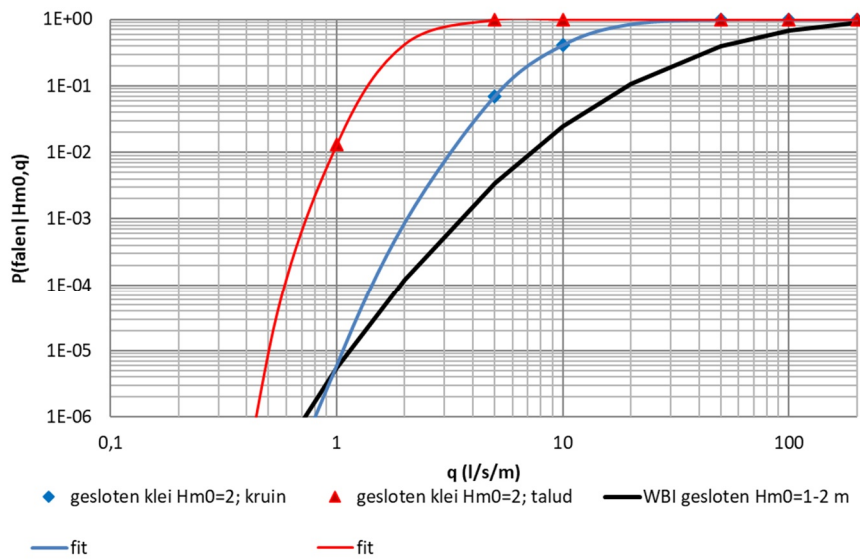
Scenario 8 en 16



Belasting 12 uur

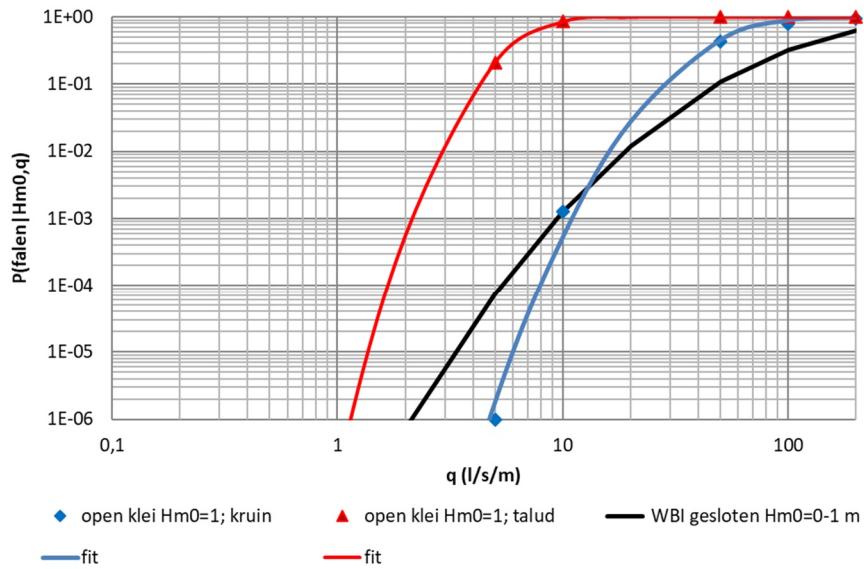


Scenario 3 en 11

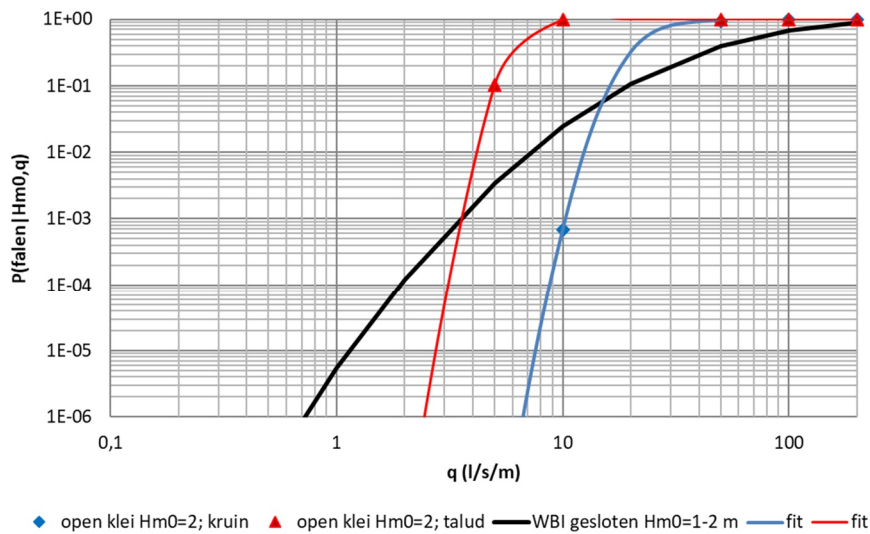


Scenario 6 en 14

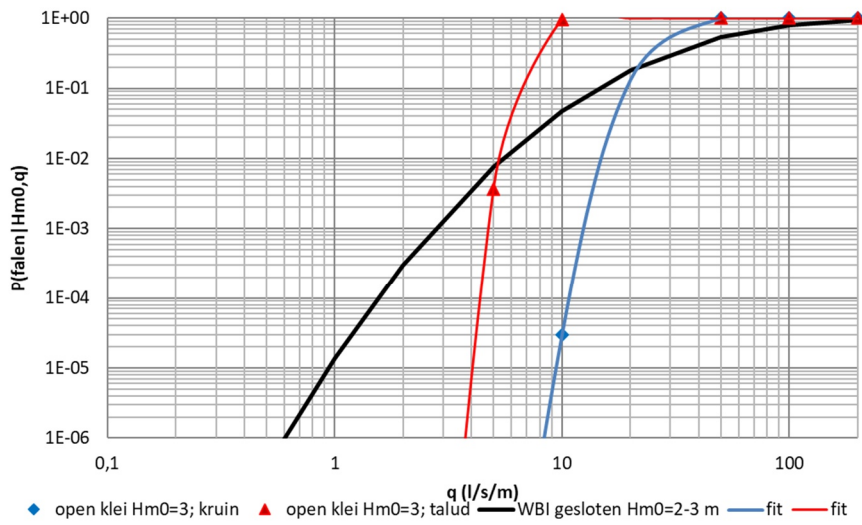
A.1.2 Open zode  
Belastingduur 2 uur



Scenario 17 en 25

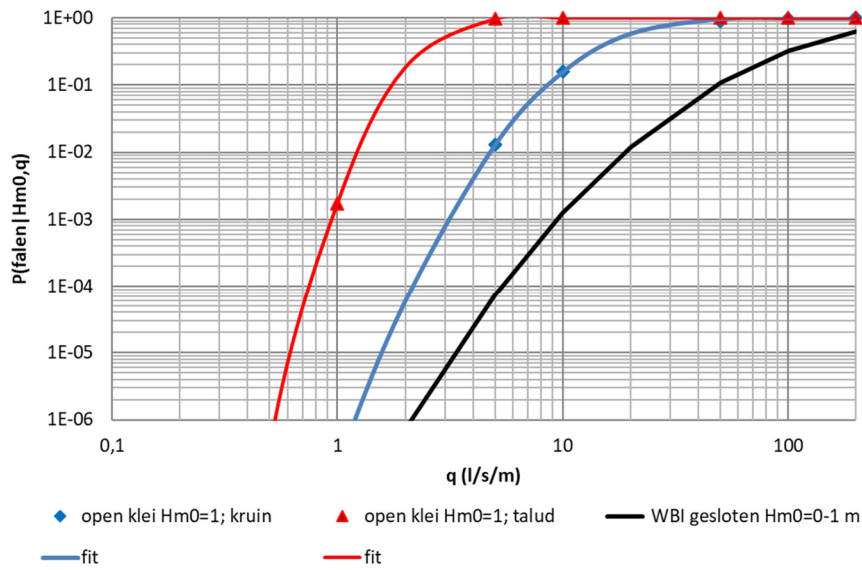


Scenario 20 en 28

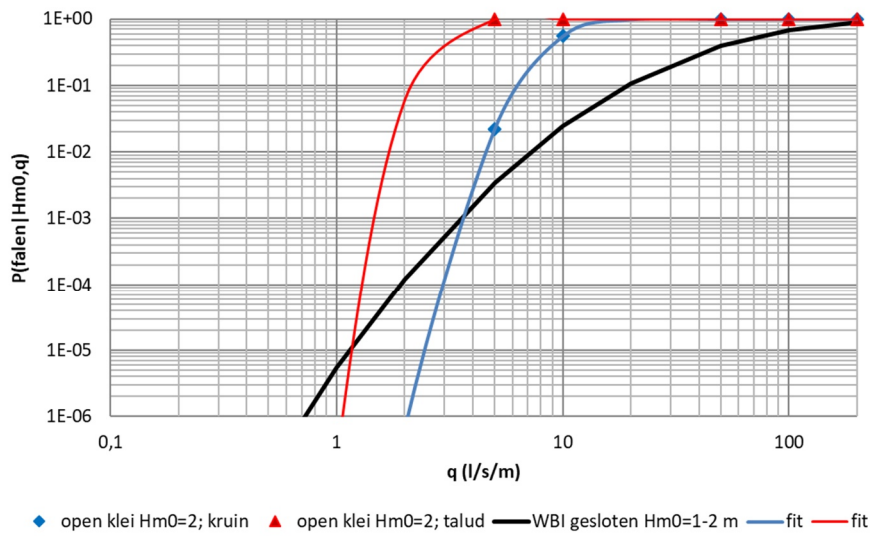


Scenario 23 en 31

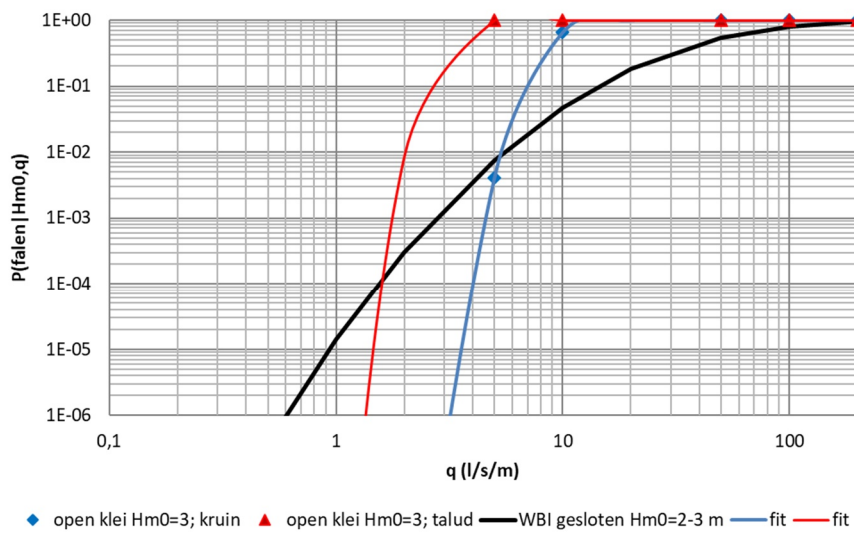
Belastingduur 5 uur



Scenario 18 en 26

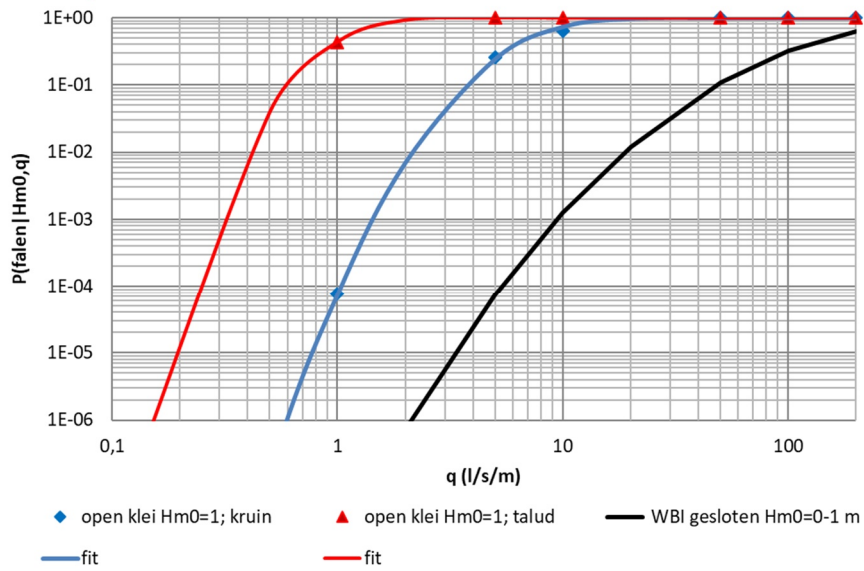


Scenario 21 en 29

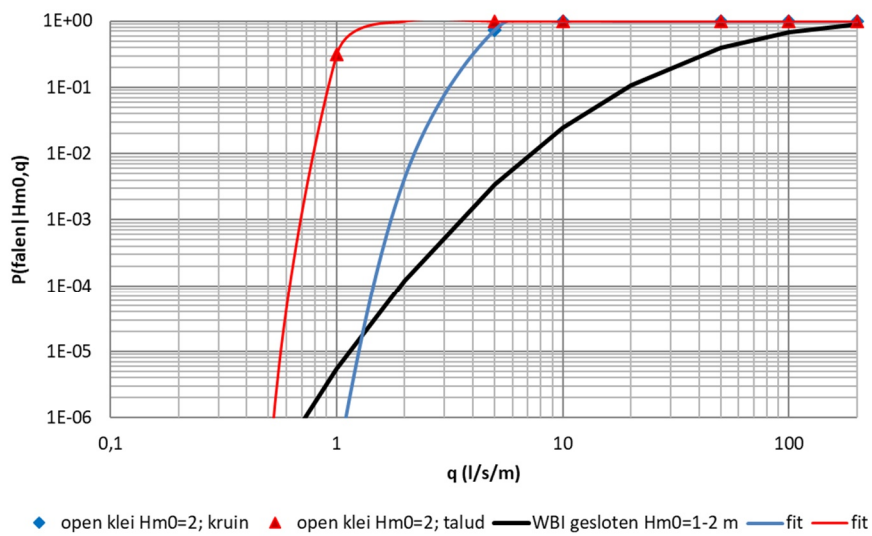


Scenario 24 en 32

Belastingduur 12 uur



Scenario 19 en 27

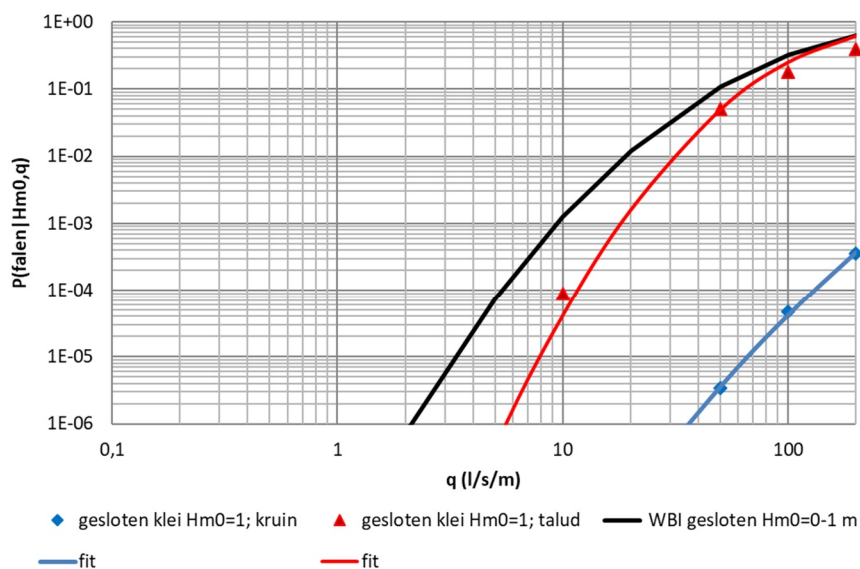


Scenario 22 en 30

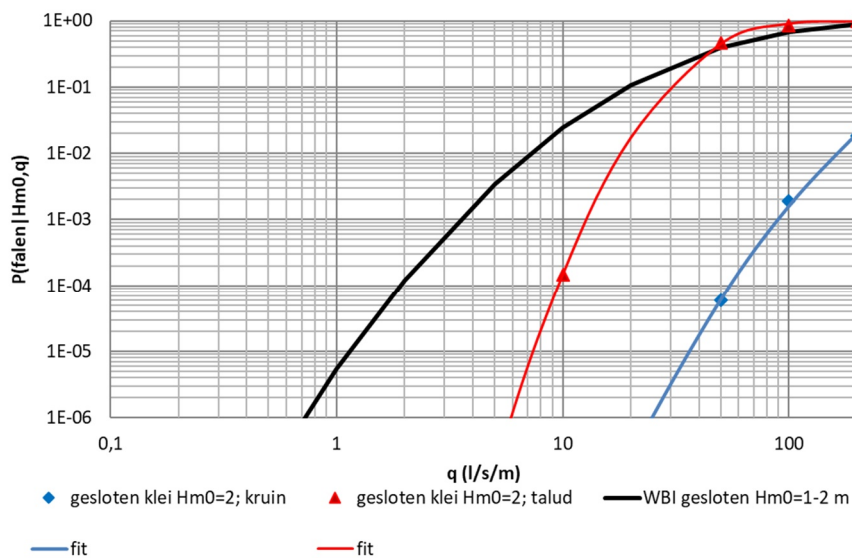
## A.2 Kansverdelingen zonder overgangen

### A.2.1 Gesloten zode

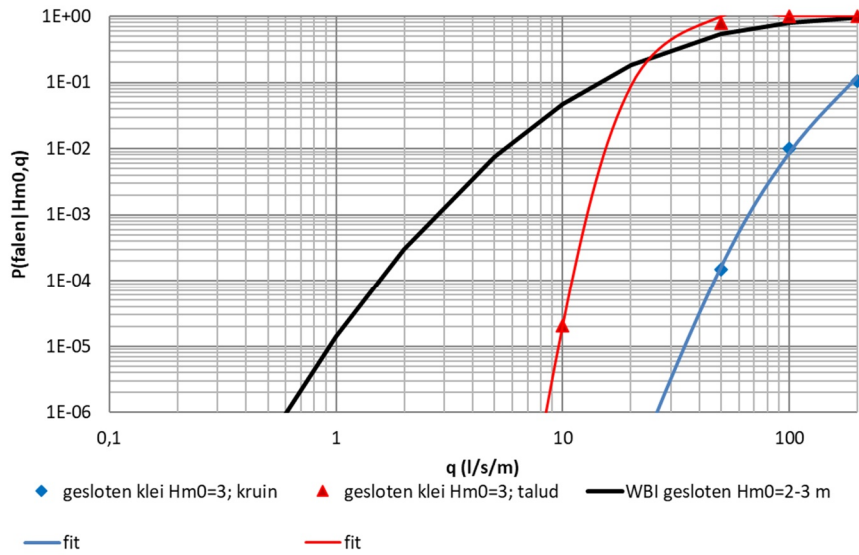
Belastingduur 2 uur



Scenario 33 en 41

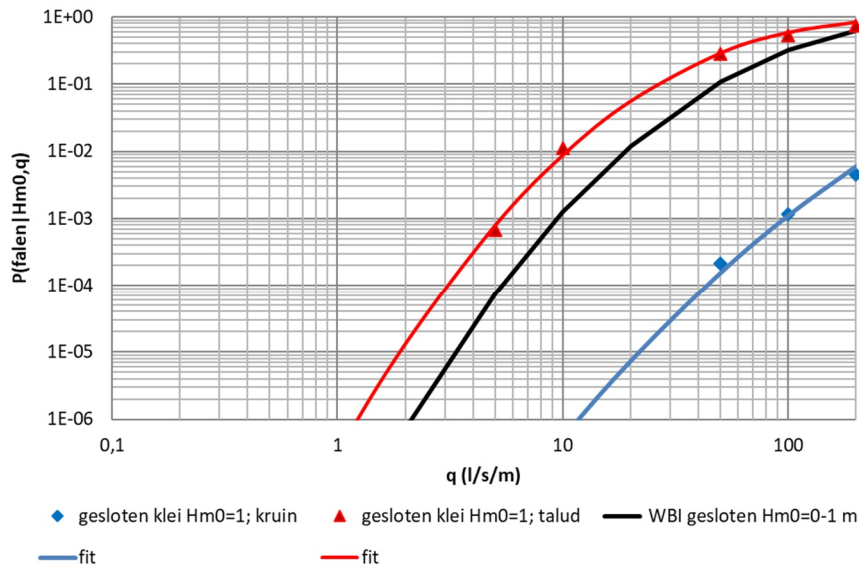


Scenario 36 en 44

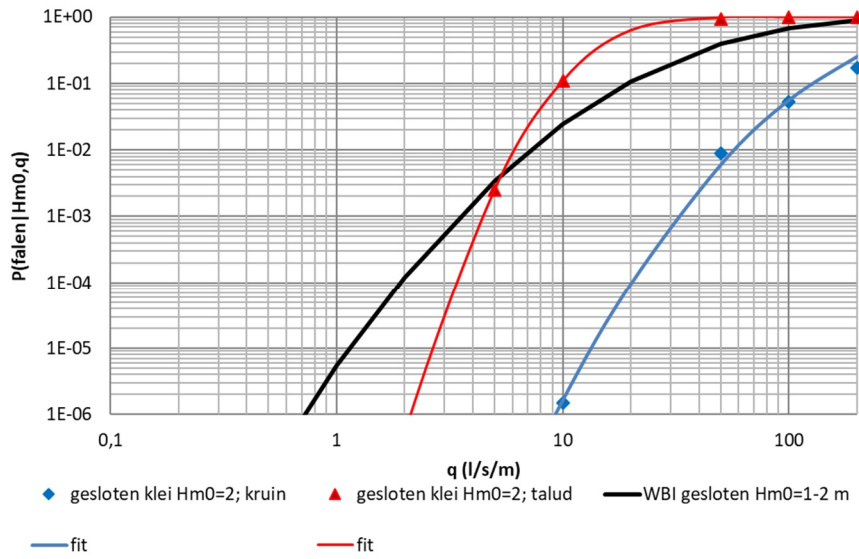


### Scenario 39 en 47

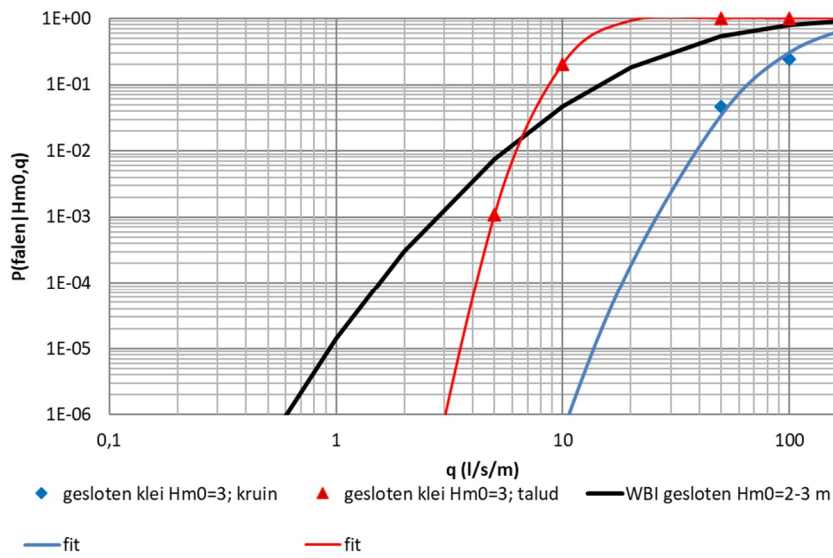
Belastingduur 5 uur



### Scenario 34 en 42



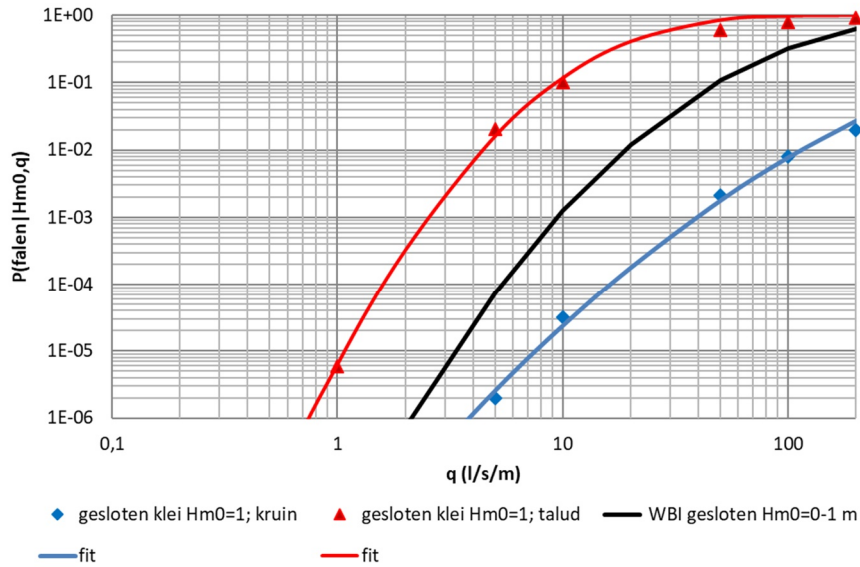
Scenario 37 en 45



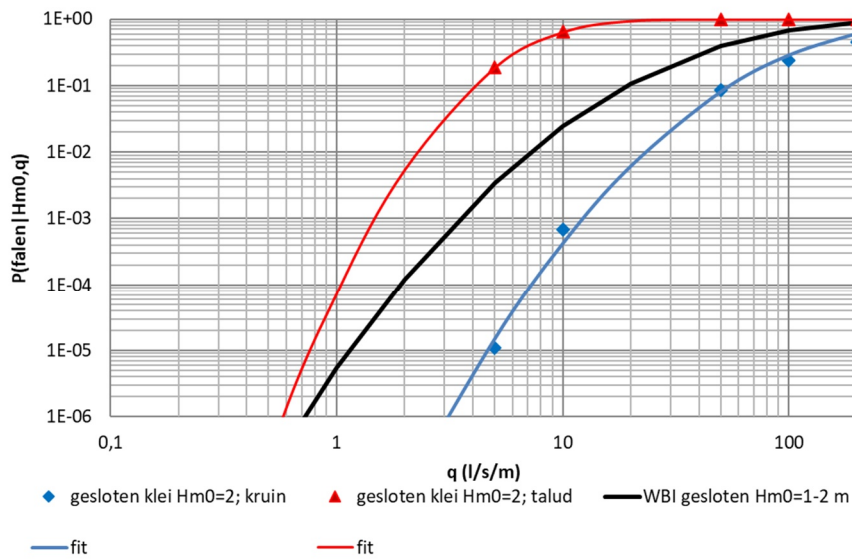
Scenario 40 en 48



Belastingduur 12 uur

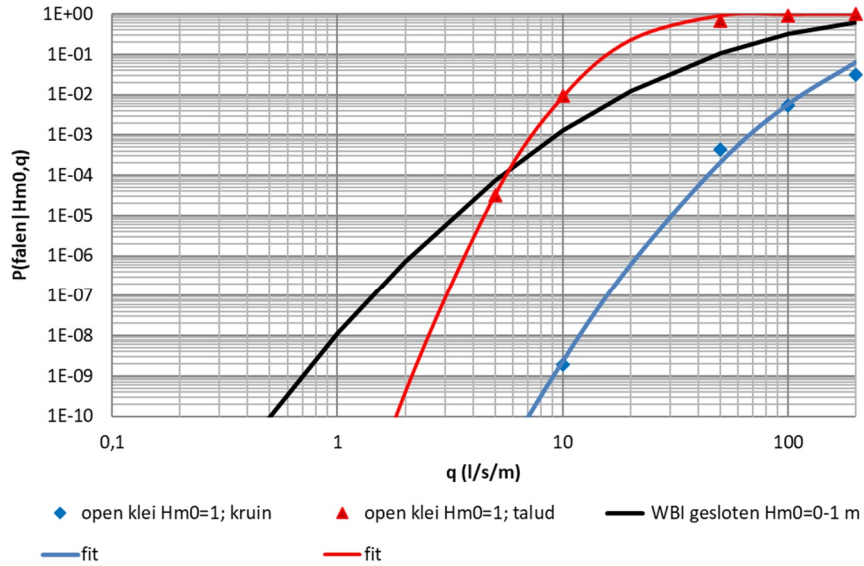


Scenario 35 en 43

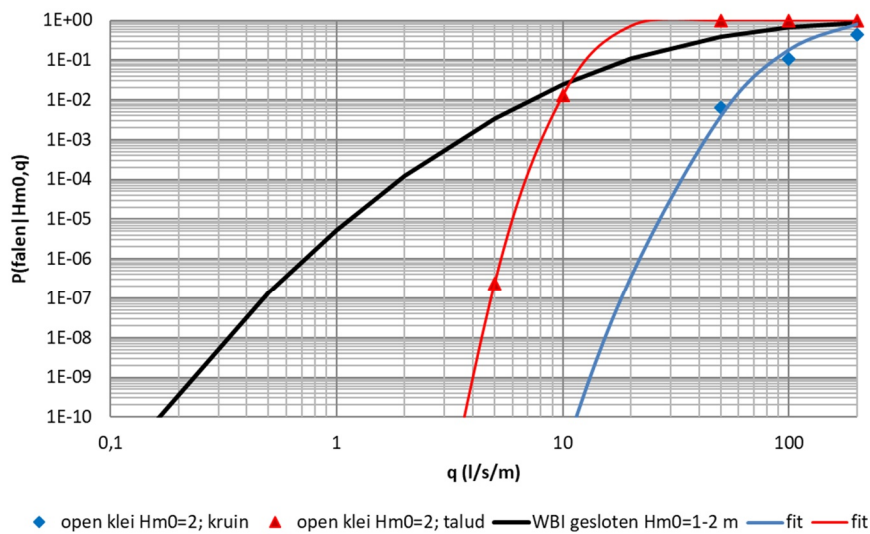


Scenario 38 en 46

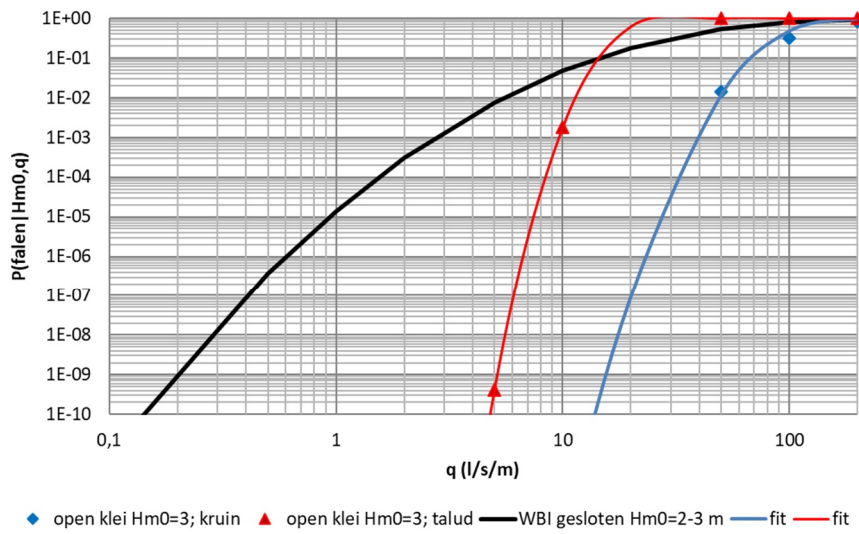
A.2.2 Open zode  
Belastingduur 2 uur



Scenario 49 en 57

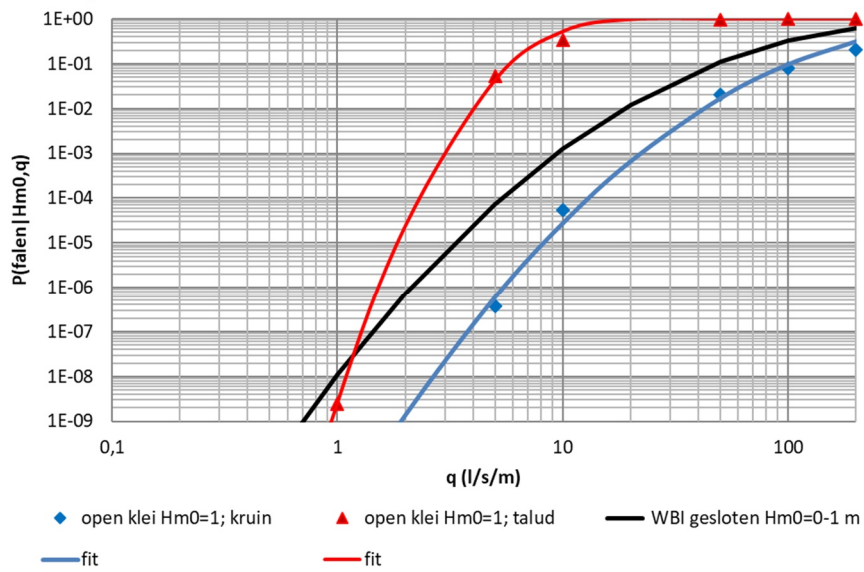


Scenario 52 en 60

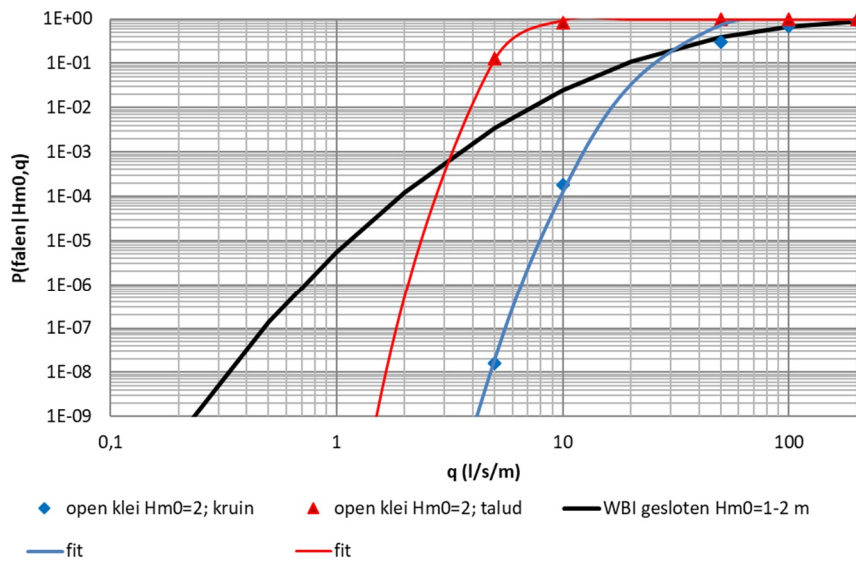


Scenario 55 en 63

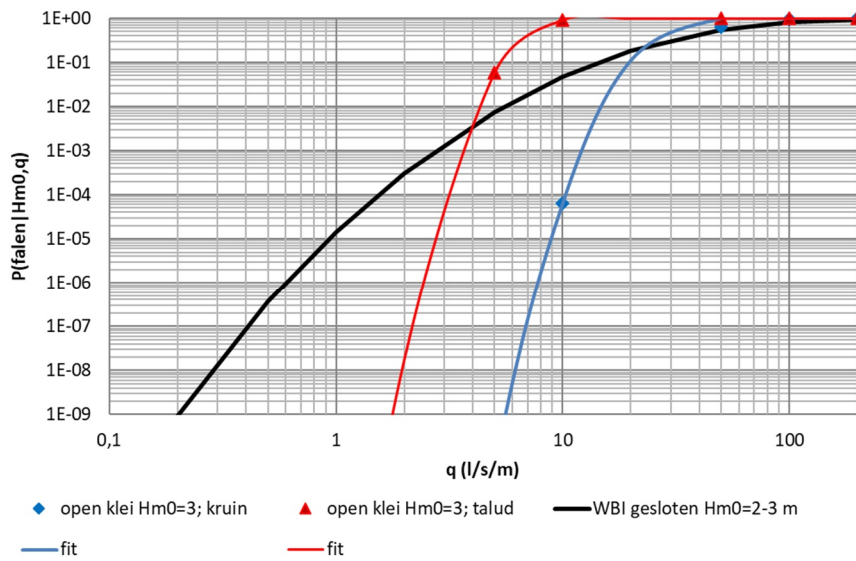
Belastingduur 5 uur



Scenario 50 en 58

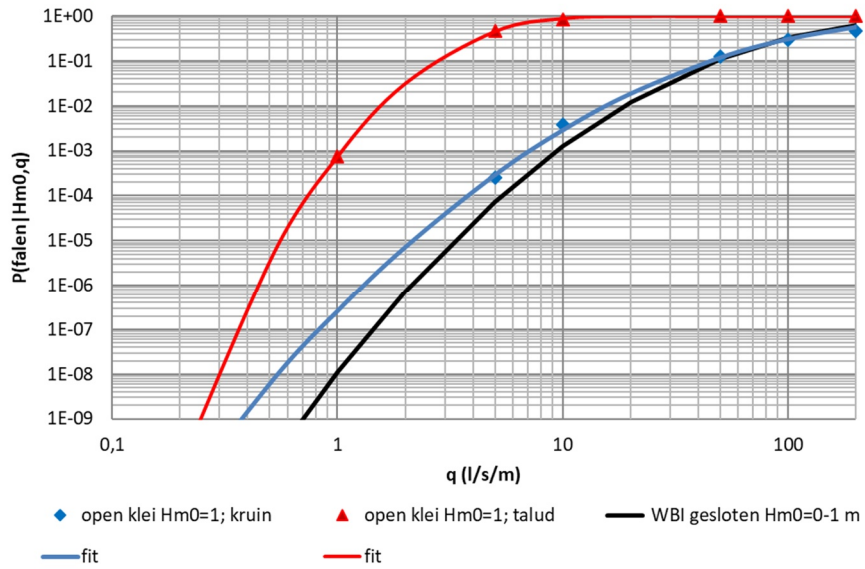


Scenario 53 en 61

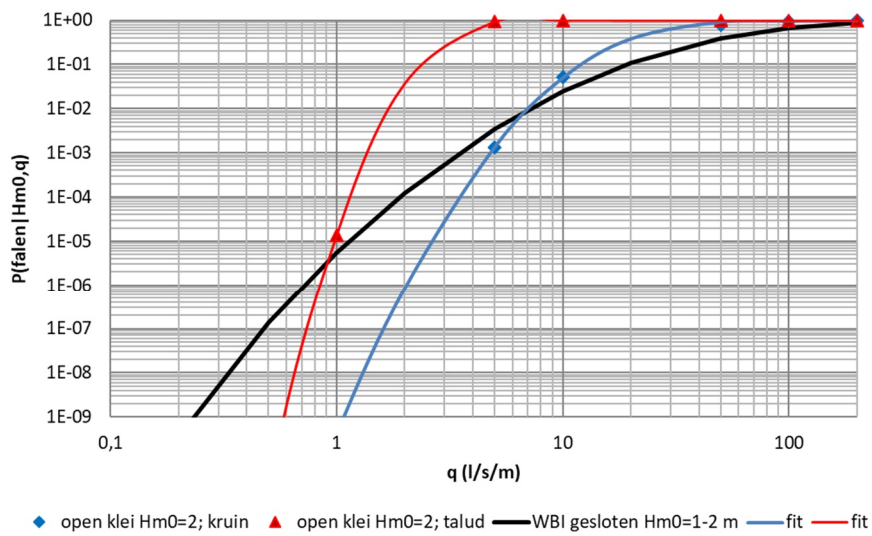


Scenario 56 en 64

Belastingduur 12 uur



Scenario 51 en 59



Scenario 54 en 62