

# Kennisplatform Risicobenadering

## MEMO

Aan : Kennisplatform Risicobenadering  
Opgesteld door : Ruben Jongejan  
i.s.m. : -  
Gereviewd door : Bob van Bree  
Kopie aan : -  
Datum : 22-08-2016  
Versie : KPR\_memo  
Onderwerp : Nadere toelichting op de overschrijdingskans van de ontwerpbelasting

**Kennisplatform  
Risicobenadering**  
Zuidersluis 1  
3439 LA Nieuwegein  
Postbus 2232  
3500 GE Utrecht  
[kpr@rws.nl](mailto:kpr@rws.nl)

### 1 Inleiding

In deze factsheet wordt verduidelijkt hoe de ontwerpbelastingen voor de verschillende faalmechanismen bepaald moeten worden. Ook wordt toegelicht wat de relatie is tussen ontwerpbelastingen en faalkanseisen. Daartoe wordt eerst kort ingegaan op de betekenis van rekenwaarden. De ontwerpbelasting is feitelijk de rekenwaarde van de belasting, net zoals er rekenwaarden voor de sterkte-eigenschappen zijn.

Golfoverslag wordt in deze bijlage afzonderlijk behandeld omdat in het OI2014 alleen bij dit faalmechanisme wordt gewerkt met een ontwerpbelasting met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de faalkanseis op doorsnedeniveau. Bij alle andere faalmechanismen is deze overschrijdingskans getalsmatig gelijk aan de normhoogte. De reden voor dit verschil wordt in deze factsheet nader toegelicht.

Hoewel de in het OI2014 gepresenteerde aanpak voor velen nieuw zal zijn, vormt deze aanpak al vele jaren de basis van bijvoorbeeld de toets- en ontwerpregels voor macrostabiliteit binnenwaarts. In het laatste hoofdstuk van dit memo wordt hier kort bij stilgestaan.

### 2 De betekenis van rekenwaarden

Een semi-probabilistisch voorschrift is in wezen een vereenvoudigd rekenrecept waarmee kan worden beoordeeld of aan een bepaalde faalkanseis wordt voldaan. Dat wordt gedaan door het faalmechanismemodel te voeden met rekenwaarden in plaats van kansverdelingen zoals dat wordt gedaan in probabilistische analyses. De rekenwaarden zijn zodanig gedefinieerd dat ze samen een ontwerp opleveren met een voldoende kleine faalkans. Een rekenwaarde is een combinatie van een representatieve (nominale of karakteristieke) waarde en eventueel een partiële veiligheidsfactor. Een karakteristieke waarde is een waarde met een bepaalde kans van onder- of overschrijding, zoals de 5%-ondergrens van laagdikte of de waterstand met een overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar.

Representatieve waarden en partiële veiligheidsfactoren zijn niet los van elkaar te zien zijn. Over de definitie van het ontwerppeil (=karakteristieke waarde van de buitenwaterstand) staat het volgende beschreven in het achtergrondrapport bij het OI2014:

2. *Voor het ontwerppeil is uitgegaan van een waterstand met een overschrijdingskans die gelijk is aan de getswaarde van de overstromingskansnorm (ofwel: de faalkanseis voor alle mechanismen en vakken in het traject samen). Hierbij moet het volgende worden bedacht:*
  - a) *Binnen de huidige veiligheidsfilosofie heeft de overschrijdingskans een andere lading dan binnen de overstromingskansbenadering. De overschrijdingskans is thans gerelateerd aan een belastingniveau dat veilig gekeerd moet kunnen worden. Straks legt de overschrijdingskans de representatieve waarde van de belasting vast die samen met andere rekenwaarden moet waarborgen dat aan een faalkanseis wordt*

*voldaan. Het gaat dan niet meer (alleen) om de conditionele faalkans bij het toetspeil.*

- b) Representatieve waarden en partiële veiligheidsfactoren zijn in zekere zin communicerende vaten: het effect van minder ongunstige representatieve waarden kan worden gecompenseerd door grotere partiële veiligheidsfactoren en vice versa. Dit betekent dat een representatieve waarde op zichzelf nog weinig zegt over de strengheid van een semi-probabilistische toetsvoorschrift.*

Indien dus voor een faalmechanisme een andere keuze zou worden gemaakt voor de overschrijdingskans van de ontwerpbelasting dan verandert de waarde van de bijbehorende veiligheidsfactoren. Deze moeten dan met nieuwe kalibratieberekeningen worden bepaald. Wordt bijvoorbeeld niet de belasting genomen bij een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de norm maar een extremere belasting dan neemt de waarde van de veiligheidsfactoren af. Dat is logisch, immers bij een zeer zelden voorkomende belasting wordt de verhouding tussen sterkte en belasting kleiner (de kans op falen mag dan toenemen) dan in geval van een vaker voorkomende belasting. Een andere keuze voor de overschrijdingskans van de ontwerpbelasting heeft dus effect op de te hanteren veiligheidsfactor, maar geen effect op het eindresultaat.

### **3 Ontwerpbelasting golfoverslag**

De semi-probabilistische ontwerpregel voor de bepaling van de kerende hoogte is gebaseerd op het uitgangspunt dat de overschrijdingskans van de rekenwaarde van het kritieke overslagdebiet kleiner moet zijn dan de getalswaarde van de faalkanseis op doorsnedeniveau. Er had in principe ook voor gekozen kunnen worden om uit te gaan van een overschrijdingskans die kleiner (of groter) is. Dan hadden de rekenwaarden van het kritieke overslagdebiet navenant kleiner (of groter) moeten zijn.

De redenen waarom bij golfoverslag in het OI2014 is gekozen voor een overschrijdingskans van het hydraulisch belastingniveau dat getalsmatig gelijk is aan de faalkanseis op doorsnedeniveau zijn als volgt:

1. Door de gekozen werkwijze zal een semi-probabilistische beoordeling van de benodigde kerende hoogte zo goed mogelijk aansluiten op de uitkomsten van een volledig probabilistische beoordeling. Hierdoor wordt onnodig conservatisme in het ontwerp voorkomen. Zo zou bij gevallen waarin praktisch sprake is van overloop een zeer grote rekenwaarde van het kritieke overslagdebiet gekozen moeten worden om te zorgen dat het werken met een overschrijdingskans die een factor 4-12 groter is dan de normhoogte een voldoende veilig ontwerp zou opleveren (de faalruimtefactor is 0,24, de lengte-effectfactor N is 1-3). In gevallen waarbij golfoverslag belangrijk is, zou echter bij dezelfde overschrijdingskans een veel kleinere rekenwaarde van het kritieke overslagdebiet kunnen volstaan om de gewenste faalkans te realiseren. Dit geeft wel aan dat het moeilijk is om bij dit faalmechanisme door aanpassing van de rekenwaarde van het kritieke debiet een breed toepasbare ontwerpregel te definiëren die niet bovenmatig conservatief is.
2. In de toekomst (in het WBI2017) zal probabilistische getoetst (en ontworpen) gaan worden bij het faalmechanisme golfoverslag. Voor een gebruiker zit er nauwelijks verschil tussen een probabilistische en een semi-probabilistische overslagbeoordeling, terwijl een probabilistische beoordeling wel scherper is. In het eerste geval draait de gebruiker het golfoverslagmodel met een kansverdeling van het kritieke debiet, in het tweede geval met een rekenwaarde van het kritieke debiet. Door de werkwijze die in het OI2014 is gekozen wordt een naadloze overstap op de probabilistische methode mogelijk. De gekozen werkwijze lijkt namelijk al sterk op het vergelijken van de uitkomst van een probabilistische doorsnede-berekening met een faalkanseis op doorsnedeniveau.

Bovenstaande argumenten zijn niet van toepassing op de overige faalmechanismen. Dit verklaart waarom er bij de andere faalmechanismen op een andere wijze wordt omgegaan met de ontwerpbelasting. Golfoverslag is dus een uitzondering op de regel.

#### **4 De ontwerpbelasting bij alle overige faalmechanismen**

Voor de overige faalmechanismen is het ontwerppeil de waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de maximaal toelaatbare overstromingskans. De veiligheidsfactoren zijn zodanig gekozen dat ze samen met dit ontwerppeil een gering opleveren met een voldoende kleine faalkans.

*Stel de maximaal toelaatbare overstromingskans is 1/3.000 per jaar. Voor bijvoorbeeld piping en macrostabiliteit dient dan bij het ontwerp te worden gerekend met een lokale waterstand met een overschrijdingskans van 1/3.000 per jaar. De normhoogte en het lengte-effect hebben dus geen consequenties voor het ontwerppeil. Wel hebben ze consequenties voor de veiligheidsfactoren waarmee bij het ontwerp moet worden gerekend. Voor macrostabiliteit binnenwaarts zit dit als volgt:*

*In de faalkansbegroting is voor macrostabiliteit een aandeel van 4% aangehouden. De faalkanseis op trajectniveau is voor dit faalmechanisme bij een maximaal toelaatbare overstromingskans van 1/3.000 per jaar dus gelijk aan  $0,04 \times 1/3.000 = 1/75.000$  per jaar. Stel dat het traject 20 km lang is. Het invullen van de formule uit hoofdstuk 1 van het OI2014v4 levert voor dit faalmechanisme een faalkanseis op doorsnedeniveau die gelijk is aan  $1/75.000 / (1 + 0,033 \times 20.000m / 50m) = 1/1.065.000$  per jaar. Dit correspondeert met een betrouwbaarheidsindex van 4,77 (in Excel:  $-norm.s.inv(1/1.065.000)=4,77$ ). Het invullen van de formule voor de schadefactor (zie hoofdstuk 5 van het OI2014v4) levert vervolgens  $1 + 0,13 \times (4,77 - 4,0) = 1,10$  voor het Mohr-Coulombmodel en  $0,15 \times 4,77 + 0,41 = 1,13$  voor het CSSM-model.*

Bij het ontwerp van bekledingen op het buitentalud met Steentoets of Golfklap dient te worden uitgegaan van een belasting met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de maximaal toelaatbare overstromingskans. Net zoals bij bijvoorbeeld macrostabiliteit dient er nog wel een veiligheidsfactor in rekening te worden gebracht.

*Stel de maximaal toelaatbare overstromingskans is 1/3.000 per jaar. Bij het ontwerp van een steenbekleding dient de ontwerpbelasting dan te worden bepaald door in de Hydra-modellen de Q-variant toe te passen met een overschrijdingskans van 1/3.000 per jaar.*

Voor constructief falen bij kunstwerken is het lastig op voorhand te bepalen welke situatie maatgevend is voor het bepalen van de constructieve sterkte: een hogere waterstand met lagere golven of een lagere waterstand met hogere golven. Een mogelijke werkwijze is om bij de bepaling van de rekenwaarden van hydraulische belastingparameters rekening te houden met twee situaties, waarvan de dominante wordt gehanteerd voor het ontwerp:

- (i) Marginale statistiek van de waterstand in combinatie met de marginale statistiek van de windsnelheid (voor situatie waarbij lokale golfgroei belangrijk kan zijn, bijvoorbeeld in afgeschermd gebied)
- (ii) Marginale statistiek van de waterstand in combinatie met de marginale statistiek van de golfcondities (voor situaties waarbij golfcondities vanuit een groter watersysteem belangrijk zijn)

De marginale statistiek van waterstand, wind en golven wordt beschouwd bij een herhalingstijd gelijk aan de maximaal toelaatbare overstromingskans.

Na bepaling van de hydraulische randvoorwaarden zoals hierboven beschreven dienen deze nog gecorrigeerd te worden voor klimaatverandering en de onzekerheidstoeslag zoals beschreven in de werkwijzer HOR van OI2014.

Door het combineren van de marginale statistiek van zowel (i) de waterstandstatistiek als (ii) de wind- en/of golfstatistiek is bovenstaande werkwijze conservatief, met name op locaties waar de correlatie tussen waterstand en windsnelheid en/of golfhoogte klein is. Indien dit leidt tot een

onrealistisch zwaar ontwerp, dan kunnen middels een meer gedetailleerde analyse minder conservatieve ontwerprandvoorwaarden worden afgeleid. Hierbij kan het Kennisplatform Risicobenadering ondersteuning bieden.

*Stel de maximaal toelaatbare overstromingskans is 1/3.000 per jaar en het kunstwerk is niet gelegen achter een havendam. Bij het bepalen van de benodigde constructieve sterkte dient de maatgevende ontwerpbelasting als volgt te worden gekozen:*

- *waterstand bepalen met een overschrijdingskans van 1/3.000 per jaar met behulp van de Hydra-modellen*
- *golven bepalen met een overschrijdingskans van 1/3.000 per jaar met behulp van de Hydra-modellen*

### 5 Tot besluit: vergelijking met bestaande praktijk

Dat een faalkanseis op doorsnedeniveau niet gelijk hoeft te zijn aan de overschrijdingskans van het ontwerppeil is niet nieuw. Zo is bij de afleiding van de veiligheidsfactoren voor beoordelingen van de binnenwaartse macrostabiliteit in de huidige leidraden verondersteld dat de overschrijdingsfrequentienorm opgevat mocht worden als een maximale overstromingskans. Vervolgens is hier een faalkanseis voor macrostabiliteit op doorsnedeniveau van afgeleid. De grootte van de schadefactor berust op deze faalkanseis. In het addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies uit 2007 staat over de schadefactor het volgende geschreven:

#### Schadefactor

Omdat de vereiste betrouwbaarheid per dijkvak kan verschillen ten opzichte van het basisbetrouwbaarheidsniveau ( $\beta = 4,0$ ) is een schadefactor nodig om hiervoor te corrigeren. Deze schadefactor is direct aan de betrouwbaarheidsindex gerelateerd en wordt als volgt berekend (zie ook tabel 5.3.2):

$$\gamma_n = 1,0 + 0,13 \cdot (\beta - 4,0) \quad (5.3.8)$$

Tabel 5.3.2 Schadefactoren

betrouwbaarheidsindex $\beta$ (1/jaar)	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25
schadefactor $\gamma_n$ (-)	1,00	1,03	1,07	1,10	1,13	1,16

#### Bovenrivierengebied

Voor het bovenrivierengebied kan voor de binnenwaartse stabiliteit een betrouwbaarheidsindex  $\beta = 4,6$  worden gebruikt (ofwel een schadefactor 1,08).

#### Benedenrivierengebied

Voor het benedenrivierengebied kan voor de te hanteren betrouwbaarheidsindex per dijkvak de volgende benadering worden gevolgd:

$$\beta_{\text{nodig}} = \Phi^{-1}(P_{\text{loc,toel}}) \quad \text{waarin } P_{\text{loc,toel}} = \frac{f \cdot \text{norm}}{1 + \alpha \frac{L}{\ell} \cdot P_{f|\text{inst}}} \quad (5.3.9)$$

$\beta_{\text{nodig}}$	vereiste betrouwbaarheid voor een dijkvak (1/jaar)
$\Phi^{-1}$	inverse Gauss kansfunctie
$P_{\text{loc,toel}}$	toelaatbare kans op instabiliteit op een bepaalde locatie (1/jaar)
norm	veiligheidsnorm: variërend van 1/1250 tot 1/10.000 (1/jaar)
$f$	0,1 (-); toelaatbare kans overstroming door instabiliteit = $f \cdot \text{norm}$

$\alpha$	0,033 (-); $\alpha$ verdisconteert twee fenomenen, 1) het niet substantieel bijdragen van alle dijkvakken in de ring aan de instabiliteitskans van de ring en 2) aanwezige correlatie tussen de instabiliteitskansen van de afzonderlijke dijkvakken
L	totale lengte van de waterkering (m)
$\ell$	50 m; representatieve lengte voor de analyse in een doorsnede (m)
$P_{f inst}$	kans op falen gegeven een instabiliteit (-)

Voor hoogwater als oorzaak van de instabiliteit wordt  $P_{f|inst} = 1,0$  aangehouden. Indien het optreden van instabiliteit niet samenhangt met het optreden van hoogwater wordt  $P_{f|inst} = 0,1$  aangehouden.

De lezer kan gemakkelijk nagaan dat bij de berekeningen bij het voorbeeld over macrostabiliteit uit hoofdstuk 4 eveneens gebruik is gemaakt van een normafhankelijke formule, net als in formule 5.3.9. Hierbij is in het TRWG is uitgegaan van de faalruimtefactor  $f=0,1$  terwijl in het OI2014 een faalruimtefactor van 0,04 is gehanteerd.

*Het Kennisplatform Risicobenadering is opgericht ter ondersteuning van de keringbeheerder bij toepassen van de nieuwe normering en de risicobenadering. Adviezen en ondersteuning van het kennisplatform risicobenadering hebben een informele status en staan gelijk aan collegiaal advies.*