

# De overschrijdingskans van de ontwerpbelasting

Nadere toelichting op het Ontwerpinstrumentarium 2014

Ruben Jongejan

18-07-2014

## Inhoud

1	Inleiding.....	2
2	De betekenis van rekenwaarden.....	2
3	Ontwerpbelasting golfoverslag .....	3
3	De ontwerpbelasting bij alle overige faalmechanismen .....	4
4	Tot besluit: vergelijking met bestaande praktijk.....	5

## 1 Inleiding

In dit memo 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 dit memo 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 dit memo 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 getalswaarde 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 karakteristieke 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) Karakteristieke waarden en partiële veiligheidsfactoren zijn in zekere zin communicerende vaten: het effect van lagere karakteristieke waarden kan worden gecompenseerd door hogere waarden van de partiële veiligheidsfactoren. Dit betekent dat een karakteristieke waarde op zichzelf nog weinig zegt over de strengheid van een semi-probabilistische toetsvoorschrift.

### 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.

In de Handreiking OI2014 staat voor de bepaling van de benodigde kruinhoogte:

Dit hoofdstuk geeft aan op welke wijze de minimaal benodigde kruinhoogte moet worden bepaald. De kruinhoogte dient dusdanig te worden bepaald dat de overschrijdingskans van de rekenwaarde van het kritieke debiet kleiner is dan de getalswaarde van de faalkanseis op doorsnedeniveau

$$P_{eis,i} = \frac{P_{norm} \cdot \omega}{N}$$

waarin  $P_{eis,i}$  de faalkanseis op doorsnedeniveau is en  $P_{norm}$  de overstromingskansnorm van het dijktraject is,  $\omega$  de faalkansruimtefactor voor falen door golfoverslag (0,24) en  $N$  een maat is voor het lengte-effect (zie bijlage B). Meer informatie over de faalkansruimtefactoren is opgenomen in bijlage A.

NB:  $P_{norm}$  in deze formule heeft de betekenis van een maximaal toelaatbare overstromingskans (afkeurgrens), zoals in de Handreiking OI2014 ook is aangegeven. De normgetallen die op de website van het HWBP zijn gegeven zijn middenkansen en nog geen afkeurgrenzen. In het begeleidende memo bij het OI2014 (te downloaden van de website van het HWBP) staat het verschil tussen beide als volgt toegelicht:

**Beschermingsniveau's zijn hieronder uitgedrukt in zgn. middenkansen. M.b.v het ontwerpinstrumentarium 2014 en een LCC benadering kunnen aan de hand hiervan optimale ontwerpkanen worden afgeleid. De economisch optimale ontwerpkanen zal vaak een factor 2 maal groter zijn dan de middenkans. NB: er zullen gevallen zijn waarin de ontwerpkanen sterker afwijkt van de middenkansen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij kunstwerken met zeer hoge tussentijdse aanpassingskosten/ grote beoogde levensduur.**

#### Voorbeeld

*Stel de middenkansnorm is 1/10.000 per jaar. De afkeurgrens is dan 1/10.000 x 2 = 1/5.000 per jaar. In de faalkansbegroting is voor golfoverslag een ruimte van 24% aangehouden. De faalkanseis voor golfoverslag is dus 0,24 x 1/5.000 ≈ 1/21.000 per jaar. Indien voor het bewuste traject geldt N=2 (zie Bijlage OI2014), dan is de faalkanseis voor golfoverslag op doorsnedeniveau gelijk aan 1/21.000 / 2 = 1/42.000 per jaar. Stel verder dat is voldaan aan de voorwaarden om te mogen rekenen met een kritiek golfoverslagdebiet van 5 l/s/m. De dijk dient dan zodanig te worden gedimensioneerd dat de kans op overschrijding van een overslagdebiet van 5 l/s/m kleiner is dan 1/42.000 per jaar.*

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 kritiek 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 WT12017) 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 doorsnedebeoordeling 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.

### 3 De ontwerpbelasting bij alle overige faalmechanismen

Voor de overige faalmechanismen is het ontwerppeil de waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de normhoogte. De veiligheidsfactoren zijn zodanig gekozen dat ze samen met dit ontwerppeil een gering opleveren met een voldoende kleine faalkans. In de Handreiking staat hierover:

#### 2. Ontwerpbelastingen

Voor alle faalmechanismen geldt dat met een ontwerpwaterstand dient te worden gerekend die behoort bij de overstromingskansnorm. Dit betekent dat de overschrijdingskans van de ontwerpwaterstand getalsmatig gelijk dient te zijn aan de overstromingskansnorm. Met "de overstromingskansnorm" wordt hier en in het navolgende bedoeld op de maximaal toelaatbare overstromingskans (geen middenkans). De overige ontwerpbelastingen (wind, aslasten, etc.) blijven gelijk aan de ontwerpmethode met de overschrijdingskans.

In hoofdstuk 1 wordt verder ingegaan op de toe te passen hydraulische ontwerpbelastingen en de afleiding hiervan.

#### Voorbeeld

*Stel de middenkansnorm is 1/10.000 per jaar. De afkeurgrens is dan  $1/10.000 \times 2 = 1/5.000$  per jaar. Voor bijvoorbeeld piping en macrostabiliteit dient dan bij het ontwerp te worden gerekend met een lokale waterstand met een overschrijdingskans van 1/5.000 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 afkeurgrens van 1/5.000 per jaar dus gelijk aan  $0,04 \times 1/5000 = 1/125.000$  per jaar. Stel dat het traject 20 km lang is. Het invullen van de formule uit het Achtergrondrapport bij het OI2014 of Bijlage A van de Handreiking levert voor dit faalmechanisme een faalkanseis op doorsnedeniveau die gelijk is aan  $1/125.000 / (1+0,033 \times 20.000m / 50m) = 1/1.800.000$  per jaar. Dit correspondeert met een betrouwbaarheidsindex van 4,87 (in Excel:  $-norm.s.inv(1/1.800.000)=4,87$ ). Het invullen van de formule voor de schadefactor (zie Bijlage Achtergrondrapport) levert vervolgens  $1+0,13 \times (4,87 - 4,0) = 1,11$ . Deze waarde is gemakshalve in Tabel 4 van de Handreiking gegeven. De wijze waarop de schadefactor wordt berekend is overigens volledig identiek aan de wijze die staat vermeld in het Addendum op het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies uit 2007.*

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 norm. Net zoals bij bijvoorbeeld macrostabiliteit dient er nog wel een veiligheidsfactor in rekening te worden gebracht. In de Handreiking OI2014 staat:

Bij het ontwerp van steenbekledingen dient een overall-veiligheidsfactor te worden gehanteerd van 1,2 in plaats van 1,1.

#### *Voorbeeld*

*Stel de middenkansnorm is 1/10.000 per jaar. De afkeurgrens is dan  $1/10.000 \times 2 = 1/5.000$  per jaar. Bij het ontwerp van een steenbekleding dient de ontwerpbelasting dan te worden bepaald door de Q-variant toe te passen met een overschrijdingskans van 1/5.000 per jaar. Er dient vervolgens nog een overall- veiligheidsfactor van 1,2 in acht te worden genomen.*

#### 4 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 huidige veiligheidsfactoren voor beoordelingen van de binnenwaartse macrostabiliteit 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 basis-betrouwbaarheidsniveau ( $\beta = 4,0$ ) 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 overstrooming 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)

$P_{f\text{inst}}$  kans op falen gegeven een instabiliteit (-)

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

De lezer kan gemakkelijk nagaan dat bij de berekeningen bij het voorbeeld over macrostabiliteit uit hoofdstuk 3 gebruik is gemaakt van precies dezelfde formules. Het enige verschil is dat in het TRWG is uitgegaan van de faalruimtefactor  $f=0,1$  terwijl in het OI2014 een faalruimtefactor van 0,04 is gehanteerd.