

## MEMO

Aan : Kennisplatform Risicobenadering  
Opgesteld door : Ruben Jongejan, Bob van Bree  
i.s.m. : -  
Gereviewd door : Ilka Tánczos  
Kopie aan : -  
Datum : 09-02-2017  
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

#### 1.1 Overzicht ontwerpbelastingen OI2014v4

In het OI2014v4 is per faalmechanisme een ontwerpbelasting gespecificeerd. Een overzicht van deze ontwerpbelastingen is gegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Overzicht ontwerpbelastingen OI2014v4.

Type kering	Faalmechanisme	Overschrijdingskans ontwerpbelasting getalsmatig gelijk aan
Dijken	Golfoverslag	Faalkanseis op doorsnedeniveau
	Falen harde bekleding	Maximaal toelaatbare overstromingskans
	Falen grasbekleding*	Faalkanseis op doorsnedeniveau
	Macroinstabiliteit	Maximaal toelaatbare overstromingskans
	Opbarsten, piping en heave	Maximaal toelaatbare overstromingskans
Kunstwerken	Constructief falen	Maximaal toelaatbare overstromingskans**
	Piping	Maximaal toelaatbare overstromingskans

\* Relevant voor bepaling hoogte overgang harde naar zachte bekleding.

\*\* Deze waarde moet nog worden gecombineerd met een veiligheidsfactor.

Na bepaling van de hydraulische randvoorwaarden op basis van bovenstaande overschrijdingskansen dienen deze nog gecorrigeerd te worden voor klimaatverandering en de onzekerheidstoetsing zoals beschreven in de Werkwijzer bepaling hydraulische ontwerpvoorwaarden OI2014 versie 4.

#### 1.2 Leeswijzer

In deze factsheet wordt nader ingegaan op de ontwerpbelastingen uit het OI2014v4. De factsheet is als volgt opgebouwd:

- In hoofdstuk 2 wordt eerst ingegaan op de betekenis van rekenwaarden. De ontwerpbelasting is feitelijk de rekenwaarde van de belasting, net zoals er rekenwaarden voor de sterkte-eigenschappen zijn.
- Bij de meeste faalmechanismen is de overschrijdingskans van de ontwerpbelasting getalsmatig gelijk aan de maximaal toelaatbare overstromingskans. Dat is niet het geval voor golfoverslag en het falen van grasbekledingen. De redenen voor dit verschil worden in hoofdstuk 3 nader toegelicht.
- In hoofdstuk 4 worden de ontwerpwaarden voor de overige faalmechanismen behandeld.
- De in het OI2014v4 gevolgde aanpak vormt 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

Het OI2014v4 specificeert voor verschillende faalmechanismen de rekenwaarden (representatieve waarden en veiligheidsfactoren) voor semi-probabilistische beoordelingen/ontwerpverificaties. 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 veiligheidsfactoren zijn niet los van elkaar te zien zijn. Over de definitie van het ontwerppeil is het volgende opgenomen in het achtergrondrapport bij het OI2014v4:

*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 oude overschrijdingskansbenadering had de overschrijdingskans een andere lading dan binnen de overstromingskansbenadering. De overschrijdingskans was gerelateerd aan een belastingniveau dat veilig gekeerd moet kunnen worden. In de overstromingskansbenadering legt de overschrijdingskans slechts 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.*
- c) Door het voorstel voor de definitie van de ontwerpbelasting te volgen beweegt de representatieve waarde van de buitenwaterstand mee met de normhoogte. Als er bijvoorbeeld voor zou worden gekozen om bij elk traject de representatieve belasting een overschrijdingskans van 1/300 per jaar te laten bezitten, dan zouden de veiligheidsfactoren voor trajecten met normen van 1/300 en 1/30.000 per jaar sterk uiteen komen te liggen. De aansluiting tussen probabilistische en de semi-probabilistische beoordelingen zou hierbij ook onnauwkeuriger worden, met conservatisme als gevolg.*

Indien voor een faalmechanisme een andere keuze was gemaakt voor de overschrijdingskans van de ontwerpbelasting dan zouden de overige rekenwaarden anders zijn geweest (ofwel: andere veiligheidsfactoren). Er zijn verschillende combinaties mogelijk van rekenwaarden die hetzelfde ontwerp opleveren. Als de ene waarde wat gunstiger wordt gekozen, dan mag een andere wat ongunstiger zijn. Een andere keuze voor de overschrijdingskans van de ontwerpbelasting heeft dus effect op de te hanteren veiligheidsfactoren, maar geen/nauwelijks effect op het eindresultaat.

## 3 Ontwerpbelasting golfoverslag

Volgens het OI2014v4 moet de overschrijdingskans van de rekenwaarde van het kritieke overslagdebiet kleiner zijn dan 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 sluit de semi-probabilistische beoordeling van de benodigde kerende hoogte goed aan op de uitkomsten van een volledig probabilistische beoordeling. Hierdoor wordt onnodig conservatisme in het ontwerp voorkomen.
2. In het WBI2017 wordt de kerende hoogte probabilistische beoordeeld. Door de keuze in het OI2014v4 zit er qua inspanning en berekeningswijze nauwelijks verschil tussen een probabilistische en een semi-probabilistische overslagbeoordeling. De gekozen werkwijze lijkt namelijk al sterk op het vergelijken van de uitkomst van een probabilistische doorsnedeberkening met een faalkanseis op doorsnedeniveau. Om van de semi-probabilistische som naar de probabilistische som over te gaan, hoeft een gebruiker alleen het kritieke overslagdebiet anders te beschrijven (rekenwaarde vs. kansverdeling). In de semi-probabilistische som voedt de gebruiker het golfoverslagmodel met een rekenwaarde van het kritieke overslagdebiet (bijv. 10 l/s/m), in de probabilistische som met een kansverdeling van het kritieke debiet. De faalkanseis op doorsnedeniveau is in beide gevallen hetzelfde.

Voor beoordelingen van grasbekledingen geldt een soortgelijke redenering. Voor meer informatie hierover wordt verwezen naar het WBI. De bovenstaande argumenten zijn echter niet van toepassing op de overige faalmechanismen. Dit verklaart waarom de ontwerpbelasting bij de andere faalmechanismen aan de hand van een andere overschrijdingskans is gedefinieerd.

## 4 De ontwerpbelasting bij overige faalmechanismen

### 4.1 Geotechnische faalmechanismen

Voor geotechnische faalmechanismen<sup>1</sup> is het ontwerppeil de waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de maximaal toelaatbare overstromingskans. Hierop zijn de veiligheidsfactoren in de rekenregels voor deze faalmechanismen afgestemd.

*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 faalkansbegroting 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 standaard-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.*

<sup>1</sup> Het betreft de faalmechanismen (i) macroinstabiliteit, (ii) opbarsten, piping en heave en (iii) piping bij kunstwerken.

## 4.2 Bekledingen

Bij het ontwerp van harde bekledingen op het buitentalud met Steentoets of Golfklap dient te worden uitgegaan van een belasting (combinatie waterstand en golven) met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de maximaal toelaatbare overstromingskans. Noot: Grasbekledingen<sup>2</sup> worden wel ontworpen op basis van een belasting met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de faalkanseis op doorsnedeniveau.

*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.*

## 4.3 Constructief falen kunstwerken

De belasting op een kunstwerk wordt gevormd door de waterstand en de golven. Dit kan een hele andere combinatie van waterstand en golven zijn dan die van belang is voor golfoverslag. Voor het constructief falen van kunstwerken kan het lastig zijn om de combinatie van waterstand en golfhoogte te bepalen die een belasting oplevert met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de maximaal toelaatbare overstromingskans. Als de correlatie tussen waterstand en golfhoogte beperkt is, dan is de overschrijdingskans van de belasting die correspondeert met de combinatie van de 1/3.000 per jaar-waterstand en de 1/3.000 per jaar-golfhoogte namelijk fors kleiner dan 1/3.000 per jaar. De belasting wordt dan dus overschat. 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. In voorkomende gevallen kan hierover contact worden opgenomen met het KPR.

Als er wel sprake is van een sterke correlatie tussen waterstand en golfhoogte, dan kan de ontwerpbelasting (de bij het ontwerp aan te houden combinatie van waterstand en golven) als volgt worden bepaald:

1. Ga uit van een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de maximaal toelaatbare overstromingskans in combinatie met: de 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).
2. de marginale statistiek van de waterstand in combinatie met de marginale statistiek van de golfcondities (voor situaties waarbij golfcondities vanuit een groter watersysteem belangrijk zijn).

## 5 Tot besluit: vergelijking met oude ontwerppraktijk

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:

---

<sup>2</sup> Deze komen aan bod in het OI2014v4 bij het bepalen van het niveau van de overgang van harde naar zachte bekledingen.

**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)

$P_{f|\text{inst}}$  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 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.*