



Rijkswaterstaat  
*Ministerie van Infrastructuur en Milieu*

## **Handreiking ontwerpen met overstromingskansen**

Datum	23 december 2013
Status	Definitief





Rijkswaterstaat  
*Ministerie van Infrastructuur en Milieu*

## Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Informatie	<a href="http://www.helpdeskwater.nl">www.helpdeskwater.nl</a>
Telefoon	0800 - 65 92 837
Uitgevoerd door	RWS WVL, Deltares en projectbureau VNK2
Datum	23 december 2013
Status	Definitief
Versienummer	1.0





## Inhoud

	Ten geleide—6
<b>1</b>	<b>Ontwerpbelastingen—8</b>
<b>2</b>	<b>Bepaling benodigde kruinhoogte—9</b>
<b>3</b>	<b>Opbarsten en Piping—10</b>
<b>4</b>	<b>Macrostabieliteit Binnenwaarts—12</b>
<b>5</b>	<b>Bekledingen—14</b>
<b>6</b>	<b>Kunstwerken—15</b>
<b>7</b>	<b>Tot besluit—16</b>
<b>BIJLAGEN—17</b>	
	Literatuur—17
	Bijlage A: Bepalen faalkanseis op basis van overstromingskansnorm—19
	Bijlage B: N-waarden per deelgebied—21
	Bijlage C: Tabel met sterktefactor t.b.v. faalmechanisme opbarsten en piping—25
	Bijlage D: Tabel met schadefactor t.b.v. faalmechanisme Macrostabieliteit Binnenwaarts—27

## Ten geleide

In haar brief van april 2013 heeft de Minister van IenM de wens te kennen gegeven om over te gaan naar een overstromingskansnorm. Deze norm zal naar verwachting in 2017 in werking treden. Vanaf dat moment moet conform de norm worden getoetst. Voorkomen moet worden dat projecten in het (nieuwe) hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) die nu al worden aangelegd in 2023 worden afgekeurd. Daarom wordt, vooruitlopend op de definitieve besluitvorming van de Minister al ontworpen conform de nieuwe norm, naast een alternatief conform de huidige norm en werkwijze.

Deze handreiking geeft aan hoe met vigerende ontwerprapporten kan worden ontworpen volgens de overstromingskansbenadering. Benadrukt wordt dat wanneer in deze handleiding over vigerend wordt gesproken er bedoeld wordt op de leidraden en technische rapporten die primair zijn ontwikkeld in het kader van het toetsen en ontwerpen van waterkeringen op basis van de overschrijdingskansbenadering. Waar in deze Handreiking wordt gesproken over overstromingskansnormen wordt bedoeld op de bij het *ontwerp* aan te houden betrouwbaarheidseisen.

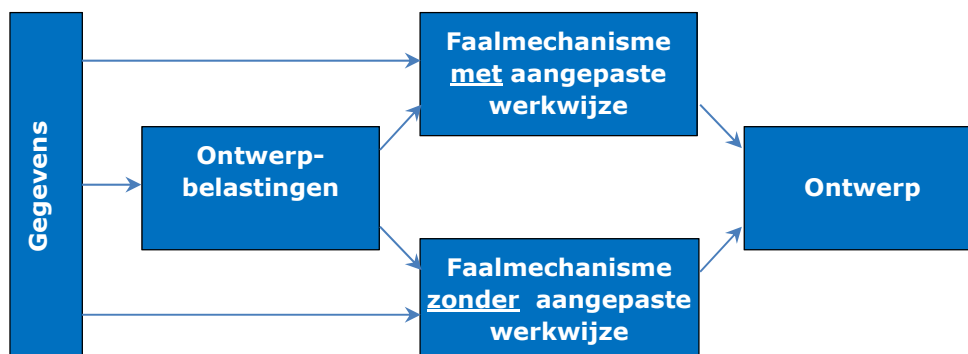
Deze handreiking is bedoeld voor de ontwerper die op de hoogte is van de vigerende leidraden en technische rapporten en snel aan de slag wil. De lezer die geïnteresseerd is in onderbouwingen wordt verwezen naar het *Achtergrondrapport Ontwerpinstrumentarium 2014* [RWS, 2013]. Geïnteresseerden in de uitgangspunten van het ontwerpproces in het HWBP worden verwezen naar de *Handreiking Verkenningen* [HWBP, 2013].

### Positie handreiking ten opzichte van bestaande leidraden en technische rapporten

In deze handreiking worden richtlijnen gepresenteerd om vanaf 1 januari 2014 waterkeringen te ontwerpen op basis van een overstromingskansbenadering. Deze handreiking is vormgegeven als een aanvulling op bestaande leidraden en technische rapporten. Deze leidraden en technische rapporten zijn te vinden op [www.enwin.nl](http://www.enwin.nl).

### Algemene aanpak

In figuur 1 is schematisch de werkwijze weergegeven om tot een ontwerp te komen. In de tekst onder het schema worden de stappen toegelicht.



**Figuur 1: Schema werkwijze Ontwerpinstrumentarium 2014 (OI2014)**



Hieronder worden de stappen uit figuur 1 beschreven.

1. Gegevens

Naast de gebruikelijke benodigde gegevens bij het ontwerpen van waterkeringen zijn de overstromingsnorm en de lengte van het dijktraject belangrijke invoerwaarden. De overstromingskansnormen en de lengtes van dijktrajecten zijn verkrijgbaar via de helpdesk ([www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)).

2. Ontwerpbelastingen

Voor alle faalmechanismen geldt dat met een ontwerpwaterstand dient te worden gerekend die behoren bij de overstromingskansnorm. Dit betekent dat de overschrijdingskans van de ontwerpwaterstand getalsmatig gelijk dient te zijn aan de overstromingskansnorm. De overige ontwerpbelastingen (wind, assen-last, etc.) blijven gelijk aan de ontwerpmethode bij de overschrijdingskans.

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

3. Faalmechanismen

In het OI2014 zijn voor de faalmechanismen Overloop en golfoverslag, Opbarsten & piping, Macrostabieliteit Binnenwaarts, Bekledingen en Kunstwerken aanpassingen gedaan in de ontwerpmethode. In hoofdstukken 2 t/m 6 worden deze faalmechanismen behandeld. Voor overige faalmechanismen geldt dat de werkwijze exact overeenkomt met de vigerende ontwerpmethodes.

4. Ontwerp

De faalmechanismen moeten zodanig ontworpen worden dat de kering sterk genoeg is om de waterstanden in voldoende mate te weerstaan. Het proces om tot een ontwerp te komen staat beschreven in de *handreiking Verkenningen* [HWBP, 2013], waarin ook andere nieuwe ontwikkelingen beschreven staan.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de aspecten die in deze Handreiking worden behandeld.

Aspect	Locatie
Bepalen benodigde kruinhoogte	Hoofdstuk 1
Opbarsten & piping	Hoofdstuk 2
Macrostabieliteit Binnenwaarts	Hoofdstuk 3
Bekledingen	Hoofdstuk 4
Kunstwerken	Hoofdstuk 5
Slotbepalingen	Hoofdstuk 6

# 1 Ontwerpbelastingen

In dit hoofdstuk wordt uiteengezet hoe de hydraulische ontwerprandvoorwaarden dienen te worden bepaald. De afleiding van de ontwerprandvoorwaarden verschilt voor verschillende belastingtypen (HBN, Ontwerppeil, etc.) en verschillende watersystemen. Over het algemeen dienen de volgende stappen te worden gezet:

- 1 Indien relevant en mogelijk, aanpassen statistiek en gebiedsinformatie welke als input dienen voor het Hydra-model voor het beschouwde watersysteem.
- 2 Afleiden hydraulische randvoorwaarden met behulp van het Hydra-model voor het beschouwde watersysteem en de aangepaste input.
- 3 Correctie van de hydraulische randvoorwaarden voor klimaatverandering (indien niet reeds in het Hydra-model meegenomen) en gebiedsinformatie welke niet aangepast kunnen worden in het Hydra-model.
- 4 Correctie van de hydraulische randvoorwaarden met een robuustheidstoeslag

Voor de afleiding van de hydraulische ontwerprandvoorwaarden zijn de volgende Hydra-modellen beschikbaar:

- Kust en estuaria: Hydra-K versie 3.6.5
- Zoete wateren (rivieren en meren): Hydra-Zoet versie 1.6.0
- Hollandse IJssel: Hydra-BS versie 1.2.0

Voor elk van deze Hydra modellen zijn zogenaamde databases fysica beschikbaar waarin de gebiedsinformatie is opgenomen. Standaard worden de Hydra-modellen beschikbaar gesteld met databases: HR2006 of WTI2011. Naast deze databases zijn er ook databases beschikbaar waarin gebiedsingrepen zijn verwerkt, bijvoorbeeld alle Ruimte voor de Rivier ingrepen. Afhankelijk van het watersysteem en de planperiode dient de bijbehorende database te worden opgevraagd en gebruikt in combinatie met het vigerende Hydra-model.

Onderdeel van het bepalen van de ontwerprandvoorwaarden is het bepalen van een robuustheidstoeslag en het in rekening brengen van het verwachte effect van klimaatverandering (zeespiegelstijging en/of toename rivierafvoer) in de geplande levensduur.

In het document *Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden ten behoeve van HWBP projecten* [Deltares, 2014] is per watersysteem aangegeven hoe de hydraulische ontwerprandvoorwaarden dienen te worden bepaald. Hierbij wordt ook ingegaan op het meenemen van klimaatverandering en een robuustheidstoeslag. Voor verdere informatie (omtrent de Hydra-modellen, beschikbare databases met fysische gegevens, robuustheidstoelagen en klimaatverandering) dient contact op te worden genomen met Helpdesk Water ([www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)).





## 2 Bepaling 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.

In Tabel 1 zijn de te hanteren rekenwaarden van het kritieke overslagdebiet opgenomen. Benadrukt wordt dat deze rekenwaarden alleen gehanteerd mogen worden als wordt voldaan aan de eisen die in de eerste kolom staan vermeld.

**Tabel 1: Overzicht rekenwaarden voor het kritieke overslagdebiet**

Aanvullende eisen aan het binnentalud	Rekenwaarde kritiek overslagdebiet
Geen	<b>0,1 l/s per m</b> Argumentatie: geen overslag toegestaan. Rekenwaarde als praktisch criterium bij fragmentarische zode.
<ul style="list-style-type: none"><li>Gesloten zode of open zode op kleilaagdikte van minimaal 0,4m</li><li>Controle op afschuiving verplicht</li></ul>	<b>5 l/s per m (bij Hs=2-3m)<sup>a</sup></b> <b>10 l/s per m (bij Hs&lt;2m)</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>Gesloten zode</li><li>Significante golfhoogte kleiner dan 3m</li><li>Kleilaagdikte groter dan 0,4m of taludhelling flauwer dan 1:4</li><li>Grootte van objecten (of beschadigingen) kleiner dan 0,15m</li><li>Controle op afschuiven bekleding en binnentalud verplicht</li></ul> <p><b>Ga uit van een open zode bij twijfel over de realisatie van een blijvend gesloten zode (let bijv. op ervaringen uit verleden)</b></p>	<b>10 l/s per m (bij Hs&lt;3m)<sup>a</sup></b>

*a Bij  $H_s > 3m$  dient advies over de lokaal te hanteren kritieke overslagdebieten ingewonnen te worden bij de Helpdesk water ([www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)).*

De kans op overschrijding van een bepaald kritiek overslagdebiet kan worden berekend met behulp van de Hydra-modellen.

### 3 Opbarsten en Piping

De weerstand tegen het deelfaalmecanisme piping dient te worden bepaald met het aangepaste rekenmodel van Sellmeijer [Förster et al, 2012]. Dit rekenmodel kan worden toegepast met een analytische formule of in een eindige elementen model, waarin ook tijdsafhankelijkheid en lokale heterogeniteiten meegenomen kunnen worden. Bij het bepalen van de benodigde kwelweglengte dienen de volgende veiligheidsfactoren te worden toegepast op het kritieke verval:

$\gamma_{mp}$  Partiële factor voor de model- en parameter onzekerheid van het deelmechanisme piping (sterktefactor), deze is beta-afhankelijk voor het OI2014.

$\gamma_b$  Partiële factor voor de onzekerheid over de ondergrondopbouw en de water(over)spanningen (schematiseringfactor) bij het deelmechanisme piping.

Bij het bepalen van de benodigde deklaagdikte dient de volgende veiligheidsfactor te worden toegepast op het kritieke verval:

$\gamma_{mo}$  Partiële factor voor de schematiserings-, model- en parameteronzekerheid (sterktefactor) bij opbarsten.

#### Omgang met piping

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de aan te houden waarde van de sterktefactor  $\gamma_{mp}$  voor verschillende normhoogtes, trajectlengtes en watersystemen. In bijlage A zijn de formules opgenomen waarmee de sterktefactor  $\gamma_{mp}$  is berekend. In bijlage C is een uitgebreidere versie van Tabel 2 opgenomen. Verdere achtergronden over de afleiding van de sterktefactor zijn te vinden in het *Achtergrondrapport Ontwerpinstrumentarium 2014 (WVL, 2013)*.

**Tabel 2: Sterktefactor afhankelijk van normhoogte, trajectlengte en watersysteem (sterktefactor in vigerende leidraden voor piping bedraagt 1,2)**

$P_{norm}$ [1/jaar]	Watersysteem	Trajectlengte [km]		
		5	20	50
1/100	bovenrivieren	1,20	1,20	1,20
	overig	1,20	1,20	1,20
1/300	bovenrivieren	1,20	1,20	1,31
	overig	1,20	1,20	1,20
1/1.000	bovenrivieren	1,20	1,34	1,45
	overig	1,20	1,24	1,35
1/3.000	bovenrivieren	1,31	1,47	1,58
	overig	1,22	1,38	1,49
1/10.000	bovenrivieren	1,46	1,61	1,71
	overig	1,37	1,52	1,62
1/30.000	bovenrivieren	1,58	1,73	1,83
	overig	1,50	1,64	1,74
1/100.000	bovenrivieren	1,72	1,86	1,95
	overig	1,64	1,77	1,87



Voor de omgang met schematiseringonzekerheid dient het *Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren* (TRGS) [Calle, 2011] gevolgd te worden. Op basis van dit rapport kan de schematiseringsfactor worden bepaald waarvan de waarde uiteen kan lopen van 1,0 tot ruim 1,3.

#### Omgang met Opbarsten

Bij opbarsten dient te worden uitgegaan van de overall veiligheidsfactor uit de Eurocode ( $\gamma_{mo}=1,5$ ). Hierin zijn zowel schematiseringonzekerheid als model- en parameteronzekerheid verdisconteerd. Dit betekent dat voor opbarsten de schematiseringsfactor gelijk mag worden gesteld aan 1,0.

Er wordt onderkend dat de in dit hoofdstuk genoemde veiligheidsfactoren tot zeer grote benodigde kwelweglengtes en/of deklaagdiktes kunnen leiden. In dit verband wordt gewezen op de *Werkwijzer Piping*. Bij eventuele verschillen tussen de hier genoemde ontwerpeisen en de *Werkwijzer Piping* prevaleert de *Werkwijzer*.

## 4 Macrostabiliiteit Binnenwaarts

Het ontwerpinstrumentarium 2014 bevat alleen aanpassingen voor beoordelingen van de binnenwaartse macrostabiliiteit, al dan niet met opdrijven of opbarsten. De macrostabiliiteit kan worden beoordeeld met verschillende analytische en eindige elementen modellen. Bij een semi-probabilistische toepassing dienen de volgende veiligheidsfactoren te worden toegepast:

- $\gamma_b$  Partiële factor voor de onzekerheid over de ondergrondopbouw en de water(over)spanningen (schematiseringfactor).
- $\gamma_d$  Partiële factor voor de modelonzekerheid (modelfactor).
- $\gamma_m$  Partiële factor voor de onzekerheid over de materiaaleigenschappen (materiaalfactor).
- $\gamma_n$  Partiële factor die verband houdt met de normhoogte, het al dan niet falen door hoogwater en het lengte-effect (schadefactor).

Alleen voor de partiële factor  $\gamma_n$  (schadefactor) en  $\gamma_d$  (modelfactor) worden hier andere getalswaarden genoemd. Voor de waarden van de materiaalfactoren wordt verwezen naar de vigerende technische rapporten. Voor de bepaling van de schematiseringfactor wordt verwezen naar het *Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren* (TRGS) [Calle, 2011].

Via de schadefactor worden de effecten van de overstromingskansnorm en het lengte-effect in rekening gebracht. In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de partiële factor  $\gamma_n$  voor verschillende normhoogtes en trajectlengtes. In bijlage A zijn de formules opgenomen waarmee de partiële factor  $\gamma_n$  kan worden berekend. In bijlage D is een uitgebreidere versie van Tabel 3 opgenomen. Meer achtergrondinformatie is te vinden in het *Achtergrondrapport Ontwerpinstrumentarium 2014 (WVL, 2013)*.

**Tabel 3: Schadefactoren afhankelijk van normhoogte en trajectlengte**

$P_{\text{norm}}$ [1/jaar]	Trajectlengte [km]			
	5	20	50	66
1/100	1,00	1,00	1,03	1,04
1/300	1,00	1,04	1,06	1,07
1/1.000	1,04	1,07	1,09	1,10
1/3.000	1,07	1,10	1,12	1,13
1/10.000	1,10	1,13	1,15	1,16
1/30.000	1,13	1,16	1,18	1,18
1/100.000	1,16	1,19	1,21	1,21

Voor de modelfactoren moeten *niet* de huidige waarden uit het Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren (TRGS) [Calle, 2012] worden gehanteerd, maar de waarden uit het concept-Technisch Rapport Macrostabiliiteit [Zwanenburg et al., 2013], die ook aansluiten bij het Technisch Rapport Analyse Macrostabiliiteit met de Eindige Elementen Methode (TREEM) [Bakker et al., 2010]. Deze modelfactoren zijn in Tabel 4 weergegeven. De **dikgedrukte** waarden wijken af van het TRGS.



**Tabel 4: Modelfactoren voor macrostabiliteit**

Opdrijven?	Rekenmodel	Modelfactor $\gamma_d$
Nee	Bishop	1,00
	LiftVan, <b>Spencer-Van der Meij</b>	0,95
	EEM met Mohr-Coulomb	<b>1,00</b>
Ja	Bishop <sup>1</sup>	1,10
	LiftVan, <b>Spencer-Van der Meij</b>	1,05
	EEM met Mohr-Coulomb	<b>1,05</b>
	<b>Horizontaal evenwicht</b>	1,20

<sup>1</sup>Tevens zogenaamde Bishop  $c=0$ ,  $\phi=0$  analyses

#### Omgang met zonerinq

Bij beoordelingen van de binnenwaartse macrostabiliteit dient te worden uitgegaan van de zoneringsmethode die staat beschreven in het concept van het Technisch Rapport Macrostabiliteit [Zwanenburg et al., 2013]. Dit rapport kan via de website van Deltares worden verkregen. De enige wijziging betreft de definitie van de kruinhoogte van het restprofiel.

De kruinhoogte van het restprofiel dient te worden bepaald bij een overslagdebiet van 0,1 l/s/m en een overschrijdingskans die gelijk is aan de getalswaarde van de ontwerpeis (dus zonder  $N$ -waarde of faalkansruimtefactor voor golfoverslag). Wanneer de aldus bepaalde kruinhoogte van het restprofiel hoger is dan de beoogde kruinhoogte dient het ontwerpprofiel als restprofiel te worden behandeld. Als de maatgevende (representatieve) glijcirkel in dat geval in het binnentalud insnijdt wordt aanbevolen contact op te nemen met de helpdesk ([www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)).

## 5 Bekledingen

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

Bij het ontwerp van asfaltbekledingen wordt aanbevolen om aandacht te geven aan de kwaliteitsborging bij mengselontwerp en uitvoering. Hiervoor wordt verwezen naar het *Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren* [TAW, 2002] en het rapport *State of the art Asfaltbekledingen* [STOWA, 2010].



## 6 Kunstwerken

De huidige ontwerp- en toetsregels in de Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003] zijn reeds gekoppeld aan faalkanseisen. Deze faalkanseisen zijn gerelateerd aan de getalswaarden van de huidige normfrequenties, die zijn opgevat als maximaal toelaatbare overstromingskansen.

Voor golfoverslag bij kunstwerken dient te worden uitgegaan van overschrijdingskansen van het Open Keer Peil (OKP). Voor de definitie van het Open Keer Peil wordt verwezen naar de Leidraad Kunstwerken. Voor de bepaling van de overschrijdingskansen wordt verwezen naar hoofdstuk 6 van het *Achtergrondrapport Ontwerpinstrumentarium 2014* [RWS, 2013].

Voor betrouwbaarheid sluiting kan de faalkanseis worden bepaald met onderstaande formule.

$$P_{eis,BS,i} = \frac{P_{norm} \cdot \omega_{BS}}{N_{BS}}$$

waarin  $P_{eis,i}$  de faalkanseis op doorsnedeniveau is en  $P_{norm}$  de overstromingskansnorm van het dijktraject is,  $\omega_{BS}$  de faalkansruimtefactor voor betrouwbaarheid sluiten (0,04) en  $N_{BS}$  het aantal te sluiten kunstwerken in het traject is. Meer informatie over de faalkansruimtefactoren is opgenomen in bijlage A.

Ter illustratie: voor een traject waarin zich 5 kunstwerken bevinden waarbij dit faalmechanisme relevant is en die precies dezelfde faalkans hebben ( $N_{BS}=5$ ). In combinatie met de gegeven faalkanseis van 4% van de norm leidt dit tot een faalkanseis van 0,8% van de norm.

Voor piping (onder- en achterloopsheid) kan gebruik worden gemaakt van de formule van Lane zoals die staat beschreven in de Leidraad Kunstwerken. Wanneer uitsluitend sprake is van horizontale kwelwegen, dient gebruik te worden gemaakt van de regels die ook bij dijken worden toegepast (zie hoofdstuk 3).

Voor constructief falen worden in het OI2014 géén specifieke gewijzigde ontwerpregels voorgesteld.

## 7 Tot besluit

Voor alle aspecten die niet in deze Handreiking zijn behandeld, wordt verwezen naar de vigerende Leidraden en Technische Rapporten. Deze zijn dan ongewijzigd van kracht.





## BIJLAGEN

### Literatuur

[Bakker et al., 2010]

Henk Bakker, Joost Bredeveld & Hans Teunissen, *Technisch Rapport Analyse Macrostabieliteit Dijken met de Eindige Elementen Methode*, rapportage 1202121-012-GEO-0005, Deltares, Delft, december 2010.

[Calle, 2011]

Ed Calle, *Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken*, rapportage 1001411-010-GEO-0007, Deltares, Delft, april 2011.

[Deltares, 2014]

Deltares, *Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden. Ten behoeve van HWBP 2014 projecten*. Deltares rapport 1208992-000-HYE-0008-v1-r-  
Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden. J. den Bieman, A.J. Smale.

[ENW, 2007]

Expertise Netwerk Waterkeren, *Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies*, Ministerie van Verkeer & Waterstaat, Den Haag, juli 2007.

[HWBP, 2013]

HWBP, *Handreiking Verkenningen*, Hoogwaterbeschermingsprogramma, Den Haag, 2013.

[Jongejan, 2013]

Jongejan, R.B., *Vaststellen uitgangspunten definitieve kalibratie*, WTI 2017, cluster Raamwerk, rapportage 1207803-001, Deltares, Delft, juli 2013.

[Lopez de la Cruz et al, 2010]

J. Lopez de la Cruz, T.Schweckendiek., C. Mai Van & W. Kanning, *SBW Hervalidatie piping - HP8b Kalibratie van de veiligheidsfactoren*, rapportage 1202123-002-GEO-0005, Deltares, Delft, 2010.

[RWS, 2013]

Rijkswaterstaat, *Achtergrondrapport Ontwerpinstrumentarium 2014*, Deltares, Rijkswaterstaat WVL, Projectbureau VNK2, STOWA, Lelystad, 2013.

[STOWA, 2010]

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, *State of the art asfaltdijkbekledingen*, rapportage 2010-W06, STOWA, Amersfoort, 2010.

[TAW, 2002]

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, *Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren*, Rijkswaterstaat, Delft, november 2002.

[TAW, 2003]

Technisch Adviescommissie voor de Waterkeringen, *Leidraad Kunstwerken*, Rijkswaterstaat, Delft, mei 2003.

[Zwanenburg et al., 2013]

Cor Zwanenburg, Alexander van Duinen & Arno Rozing, *Technisch Rapport Macrostabieliteit*, rapportage 1204203-007-GEO-0003, Deltares, Delft, februari 2013.



## Bijlage A: Bepalen faalkanseis op basis van overstromingskansnorm

De faalkanseis die per doorsnede aan een deelmechanisme wordt gesteld kan als volgt worden bepaald

$$P_{eis,i} = \frac{P_{norm} \cdot \omega}{\left(1 + \frac{a \cdot L_{traject}}{b}\right)}$$

waarin  $P_{norm}$  de dijktrajectnorm is,  $\omega$  de faalkansruimtefactor is voor het betreffende faalmechanisme,  $a$  de fractie van de lengte van het traject is dat gevoelig is voor het betreffende faalmechanisme,  $b$  is de lengte van onafhankelijke, equivalente vakken voor het betreffende faalmechanisme en  $L_{traject}$  is de lengte in meters van het dijktraject waarop de norm van toepassing is. In Tabel 5 is een overzicht gegeven van de parameters  $a$  en  $b$  voor de faalmechanismen Opbarsten & piping en macrostabiliteit Binnenwaarts. Op basis van lokale gebiedsgegevens kan onderbouwd, mits geaccepteerd, worden afgeweken van deze default waarden.

**Tabel 5: Parameters ter bepaling faalkanseis voor de faalmechanismen Opbarsten & Piping en Macrostabiliteit Binnenwaarts.**

Faalmechanisme	Watersysteem	Parameter a [-] <i>fractie van de lengte gevoelig voor faalmechanisme</i>	Parameter b [m] <i>lengte van onafhankelijke, equivalente vakken</i>
Opbarsten & piping	Bovenrivieren	0,90	300
	Overig	0,40	300
Macrostabiliteit Binnenwaarts	Alle	0,033	50

De faalkansruimtefactor  $\omega$  is per faalmechanisme weergegeven in Tabel 6. Bij specifieke gevallen kan onderbouwd afgeweken worden van de defaultwaarden.

**Tabel 6: Faalkansruimtefactor  $\omega$  per faalmechanisme [Jongejan, 2013].**

Type waterkering	Faalmechanisme	Type traject	
		Zandige kust	Overig (dijken)
Dijk	Overloop en golfoverslag <sup>a,b</sup>	0,0	0,24
	Opbarsten en piping	0,0	0,24
	Macrostabiliteit binnenwaarts	0,0	0,04
	Beschadiging bekleding en erosie	0,0	0,10
Kunstwerk	Niet sluiten	0,0	0,04
	Piping	0,0	0,02
	Constructief falen	0,0	0,02
Duin	Duinafslag	0,70	0,0 / 0,10 <sup>c</sup>
Overig		0,30	0,30 / 0,20
<b>Totaal</b>		<b>1,0</b>	<b>1,0</b>

- a *Het faalmechanisme verweking is niet meegewogen bij de bepaling van de toelaatbare faalkansbijdrage van overloop en golfoverslag.*
- b *Overloop/overslag bij kunstwerken is samengevoegd met overloop/overslag bij dijken vanwege de zeer sterke ruimtelijke correlaties tussen deze faalmechanismen bij kunstwerken en dijkvakken met dezelfde oriëntatie.*
- c *Voor ringdelen die voor een gedeelte uit duinen bestaan, zal duinafslag vaak een relatief kleine faalkansbijdrage leveren. Voorgesteld wordt om in dergelijke gevallen 10% van de post 'overig' toe te wijzen aan duinafslag. Dit voorkomt dat er voor dergelijke situaties een geheel nieuwe faalkansbegroting moet worden gehanteerd. Voor de eventuele kalibratie van semi-probabilistische toetsvoorschriften van duinafslag zijn dus alleen de faalkansruimtefactoren 0,70 en 0,10 relevant.*

### **Bepaling sterktefactor voor piping**

De sterktefactor piping dekt zowel modelonzekerheid als parameteronzekerheid af en is afhankelijk van de faalkanseis op doorsnedeniveau. De geëiste betrouwbaarheidsindex ( $\beta_{eis,i}$ ) voor een doorsnede  $i$  volgt uit de faalkanseis per doorsnede volgens:

$$\beta_{eis,i} = \Phi^{-1}(P_{eis,i})$$

Hierin is  $\Phi^{-1}$  de inverse van de standaardnormale verdeling. In het Ontwerpinstrumentarium 2014 is relatie tussen  $\beta_{eis,i}$  en de sterktefactor opgenomen zoals die is opgenomen in het WTI2011 [Lopez de la Cruz et al, 2010]:

$$\gamma_{mp} = 0,57\beta_{eis,i} - 1,2 \quad \text{waarbij} \quad \gamma_{mp} \geq 1,2$$

### **Bepaling schadefactor Macrostabieliteit Binnenwaarts**

In het Ontwerpinstrumentarium is de relatie tussen de faalkanseis op doorsnedeniveau en de schadefactor uit het Addendum op het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [TAW, 2007] overgenomen:

$$\gamma_n = 1 + 0,13(\beta_{eis,i} - 4,0) \quad \text{met} \quad \beta_{eis,i} = -\Phi^{-1}(P_{eis,i})$$

## Bijlage B: N-waarden per deelgebied

De N-waarde is een maat voor het lengte-effect bij overslag (zie hoofdstuk 2).



Figuur 2: N-waarden per dijktraject.

Tabel 7: N-waarden per dijktraject

Dijktraject	Onderdeel van dijkkring	N-waarde
1_1	Schiermonnikoog (1)	3
1_2	Schiermonnikoog (1)	2
2_1	Ameland (2)	Duin
2_2	Ameland (2)	2
3_1	Terschelling (3)	Duin
3_2	Terschelling (3)	2
4_1	Vlieland (4)	Duin
4_2	Vlieland (4)	2
5_1	Texel (5)	Duin
5_2	Texel (5)	2
6_1	Friesland en Groningen (6)	3
6_2	Friesland en Groningen (6)	3
6_3	Friesland en Groningen (6)	3

Dijktraject	Onderdeel van dijkkring	N-waarde
6_4	Friesland en Groningen (6)	3
6_5	Friesland en Groningen (6)	3
6_6	Friesland en Groningen (6)	3
6_7	Friesland en Groningen (6)	3
6_8	Friesland en Groningen (6)	3
7_1	Noordoostpolder (7)	3
7_2	Noordoostpolder (7)	3
8_1	Flevoland (8)	3
8_2	Flevoland (8)	3
8_3	Flevoland (8)	3
9_1	Vollenhove (9)	2
9_2	Vollenhove (9)	2
10_1	Mastenbroek (10)	2
10_2	Mastenbroek (10)	2
10_3	Mastenbroek (10)	2
11_1	IJsseldelta (11)	2
11_2	IJsseldelta (11)	2
12_1	Wieringen (12)	3
12_2	Wieringen (12)	2
13_0	Noord-Holland (13)	3
13_1	Noord-Holland (13)	Duin
13_2	Noord-Holland (13)	3
13_3	Noord-Holland (13)	Duin
13_4	Noord-Holland (13)	3
13_5	Noord-Holland (13)	2
13_6	Noord-Holland (13)	2
13_7	Noord-Holland (13)	2
13_8	Noord-Holland (13)	2
13-a_1	IJburg (13-a)	2
13-b_1	Marken (13-b)	2
14_1	Zuid-Holland (14)	2
14_2	Zuid-Holland (14)	2
14_3	Zuid-Holland (14)	2
14_4	Zuid-Holland (14)	Duin
14_5	Zuid-Holland (14)	3
14_6	Zuid-Holland (14)	Duin
14_7	Zuid-Holland (14)	3
14_8	Zuid-Holland (14)	Duin
14_9	Zuid-Holland (14)	3
15_1	Lopiker- en Krimpenerwaard (15)	1
15_2	Lopiker- en Krimpenerwaard (15)	2
16_1	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
16_2	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	2
16_3	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
16_4	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (16)	1
17_1	IJsselmonde (17)	2
17_2	IJsselmonde (17)	2
17_3	IJsselmonde (17)	2
18_1	Pernis (18)	2
19_1	Rozenburg (19)	2
20_1	Voorne-Putten (20)	Duin
20_2	Voorne-Putten (20)	2
20_3	Voorne-Putten (20)	2
20_4	Voorne-Putten (20)	2
21_1	Hoekse Waard (21)	2
21_2	Hoekse Waard (21)	2
22_1	Eiland van Dordrecht (22)	2
22_2	Eiland van Dordrecht (22)	2
23_1	Biesbosch (23)	-
24_1	Land van Altena (24)	1
24_2	Land van Altena (24)	1



Dijktraject	Onderdeel van dijkkring	N-waarde
24_3	Land van Altena (24)	1
25_1	Goeree-Overflakkee (25)	Duin
25_2	Goeree-Overflakkee (25)	2
25_3	Goeree-Overflakkee (25)	Duin
25_4	Goeree-Overflakkee (25)	2
26_1	Schouwen Duiveland (26)	Duin
26_2	Schouwen Duiveland (26)	2
26_3	Schouwen Duiveland (26)	2
27_1	Tholen en St. Philipsland (27)	2
27_2	Tholen en St. Philipsland (27)	2
28_1	Noord-Beveland (28)	2
29_1	Walcheren (29)	Duin
29_2	Walcheren (29)	3
29_3	Walcheren (29)	Duin
29_4	Walcheren (29)	2
29_5	Walcheren (29)	Duin
29_6	Walcheren (29)	2
30_1	Zuid-Beveland west (30)	2
30_2	Zuid-Beveland west (30)	2
30_3	Zuid-Beveland west (30)	2
31_1	Zuid-Beveland oost (31)	2
31_2	Zuid-Beveland oost (31)	2
32_1	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
32_2	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
32_3	Zeeuwsch Vlaanderen (32)	2
34_1	West-Brabant (34)	2
34_2	West-Brabant (34)	2
34-a_1	Geertruidenberg (34-a)	2
35_1	Donge (35)	2
35_2	Donge (35)	2
36_1	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36_2	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36_3	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36_4	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36_5	Land van Heusden/de Maaskant (36)	1
36-a_1	Keent (36-a)	1
37_1	Nederhemert (37)	1
38_1	Bommelerwaard (38)	1
38_2	Bommelerwaard (38)	1
39_1	Alem (39)	1
40_1	Heerewaarden (40)	1
40_2	Heerewaarden (40)	1
41_1	Land van Maas en Waal (41)	1
41_2	Land van Maas en Waal (41)	1
41_3	Land van Maas en Waal (41)	1
41_4	Land van Maas en Waal (41)	1
42_1	Ooij en Millingen (42)	1
43_1	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43_2	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43_3	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43_4	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
43_5	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (43)	1
44_1	Kromme Rijn (44)	1
44_2	Kromme Rijn (44)	2
45_1	Gelderse Vallei (45)	1
45_2	Gelderse Vallei (45)	2
46_1	Eempolder (46)	2
47_1	Arnhemse- en Velpsebroek (47)	1
48_1	Rijn en IJssel (48)	1
48_2	Rijn en IJssel (48)	1
48_3	Rijn en IJssel (48)	1

Dijktraject	Onderdeel van dijkkring	N-waarde
49_1	IJsselland (49)	1
49_2	IJsselland (49)	1
50_1	Zutphen (50)	1
50_2	Zutphen (50)	1
51_1	Gorssel (51)	1
52_1	Oost Veluwe (52)	1
52_2	Oost Veluwe (52)	1
52_3	Oost Veluwe (52)	1
52_3	Oost Veluwe (52)	1
52_3	Oost Veluwe (52)	1
52_4	Oost Veluwe (52)	1
53_1	Salland (53)	1
53_2	Salland (53)	1
53_3	Salland (53)	1
54_1	Ottersum-Mook (54)	1
55_1	Gennep (55)	1
56_1	Afferden (56)	1
57_1	Nieuw Bergen (57)	1
58_1	Groeningen (58)	1
59_1	Bergen (59)	1
60_1	Well (60)	1
61_1	Wanssum (61+62)	1
63_1	Blitterswijck (63)	1
64_1	Broekhuizen (64)	1
65_1	Arcen (65)	1
66_1	Lottum (66)	1
67_1	Grubbenvorst (67)	1
68a_1	Venlo-Velden Noord (68dgr)	1
68b_1	Venlo-Velden Zuid (68rvg)	1
69a_1	Blerick Noord (69dgr)	1
69b_1	Blerick Zuid (69rvg)	1
70_1	Baarlo (70)	1
71_1	Belfeld (71)	1
72_1	Kessel (72)	1
73_1	Beesel (73)	1
74_1	Neer (74)	1
75_1	Buggenum (75)	1
76a_1	Roermond 2 (76a)	1
76b_1	Roermond 5 (76b)	1
76c_1	Roermond 4 (76c)	1
77_1	Roermond 3 (77)	1
78_1	Heel (78)	1
78a_1	Panheel (78a)	1
79_1	Thorn-Wessem (79)	1
80_1	Maasbracht (80)	1
81_1	Stevensweert (81)	1
82_1	Aasterberg (82)	1
83_1	Grevenbicht_Visserweert (83+84)	1
86_1	Meers_Maasband (86+87)	1
85_1	Urmond (85)	1
88_1	Aan de Maas (88)	1
89_1	Voulwames (89)	1
90_1	Maastricht (90)	1
91_1	Itteren (91)	1
92_1	Borgharen (92)	1
93_1	Boscherveld (93)	1
94_1	Maastricht west (94)	1
95_1	Eijsden (95)	1





**Bijlage C: Tabel met sterktefactor t.b.v. faalmechanisme opbarsten en piping**

**Sterktefactor voor piping afhankelijk van normhoogte, belastingsysteem en lengte dijktraject**

Normhoogte	Watersysteem	Lengte dijktraject [km]																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	45	50
<b>1/100</b>	bovenrivieren	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>
	overig	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>
<b>1/300</b>	bovenrivieren	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	1,22	1,24	1,26	1,28	1,29	1,31
	overig	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>
<b>1/1.000</b>	bovenrivieren	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	1,21	1,23	1,25	1,26	1,31	1,34	1,37	1,39	1,41	1,42	1,44	1,45
	overig	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	1,21	1,24	1,27	1,29	1,31	1,33	1,34	1,35
<b>1/3.000</b>	bovenrivieren	<b>1,20</b>	1,21	1,25	1,29	1,31	1,33	1,35	1,37	1,38	1,39	1,44	1,47	1,50	1,52	1,54	1,55	1,57	1,58
	overig	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	1,22	1,24	1,26	1,27	1,29	1,30	1,35	1,38	1,41	1,43	1,44	1,46	1,47	1,49
<b>1/10.000</b>	bovenrivieren	1,29	1,36	1,40	1,43	1,46	1,48	1,49	1,51	1,52	1,53	1,58	1,61	1,63	1,65	1,67	1,69	1,70	1,71
	overig	1,22	1,28	1,32	1,35	1,37	1,39	1,41	1,42	1,43	1,44	1,49	1,52	1,55	1,57	1,58	1,60	1,61	1,62
<b>1/30.000</b>	bovenrivieren	1,42	1,49	1,53	1,56	1,58	1,60	1,62	1,63	1,65	1,66	1,70	1,73	1,75	1,77	1,79	1,80	1,82	1,83
	overig	1,36	1,41	1,45	1,48	1,50	1,52	1,53	1,55	1,56	1,57	1,61	1,64	1,67	1,69	1,70	1,72	1,73	1,74
<b>1/100.000</b>	bovenrivieren	1,56	1,63	1,66	1,69	1,72	1,73	1,75	1,76	1,78	1,79	1,83	1,86	1,88	1,90	1,91	1,93	1,94	1,95
	overig	1,50	1,55	1,59	1,61	1,64	1,65	1,67	1,68	1,69	1,70	1,75	1,77	1,80	1,82	1,83	1,84	1,86	1,87



**Bijlage D: Tabel met schadefactor t.b.v. faalmechanisme Macrostabieliteit  
Binnenwaarts**

**Schadefactor voor Macrostabieleit Binnenwaarts afhankelijk van normhoogte en lengte dijktraject**

Normhoogte	Lengte dijktraject [km]																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	45	50
<b>1/100</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03
<b>1/300</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06
<b>1/1.000</b>	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09
<b>1/3.000</b>	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,08	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11	1,11	1,11	1,12	1,12	1,12
<b>1/10.000</b>	1,07	1,08	1,09	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11	1,12	1,13	1,14	1,14	1,14	1,15	1,15	1,15
<b>1/30.000</b>	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,14	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,17	1,17	1,18	1,18
<b>1/100.000</b>	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,16	1,16	1,17	1,17	1,17	1,18	1,19	1,19	1,19	1,20	1,20	1,20	1,21