

Veiligheid Nederland in kaart

An aerial photograph showing a dike separating a green agricultural area from a flooded area. The dike is a raised earthen wall with a road on top. To the left of the dike, there are several farm buildings, including a large red-roofed barn and a smaller house. The area to the right of the dike is completely submerged in brown water, with some trees and structures visible above the surface. The sky is clear and blue.

VNK2

Overschrijdingskansen
en
overstromingskansen

VEILIGHEID NEDERLAND
IN KAART

**OVERSCHRIJDINGSKANSEN
EN OVERSTROMINGSKANSEN**

COLOFON

Dit is een publicatie van
Projectbureau VNK2

Document
HB 1679810

Datum
Juli 2012

Ontwerp
Laagland Communicatie

Oplage
1.000 exemplaren

INHOUD

1	INLEIDING: OVERSCHRIJDINGSKANS OF OVERSTROMINGSKANS?	5
2	DE OVERSCHRIJDINGS- KANSBENADERING EN DE OVERSTROMINGS- KANSBENADERING IN HET KORT	6
2.1	DE OVERSCHRIJDINGSKANSBENADERING IN HET KORT	6
2.2	DE OVERSTROMINGSKANSBENADERING IN HET KORT	6
3	OVEREENKOMSTEN EN VERSCHILLEN TUSSEN DE OVERSCHRIJDINGSKANS- EN DE OVERSTROMINGS- KANSBENADERING	8
3.1	THEORIE: DE ONDERLIGGENDE PRINCIPES	8
3.2	PRAKTIJK: VERSCHILLEN TUSSEN DE TOETSING EN VNK2	10
4	DE ONZEKERHEDEN BIJ HET BEOORDELEN VAN DE VEILIGHEID VAN WATERKERINGEN	13
4.1	BRONNEN VAN ONZEKERHEID	13
4.2	ONZEKERHEDEN IN DE TOETSING EN VNK2	15
5	DE OVERSCHRIJDINGS- KANSBENADERING: ONZEKERHEDEN AFDEKKEN MET 'VEILIGE WAARDEN'	17
	VERDER LEZEN	21

1

INLEIDING: OVERSCHRIJDINGSKANS OF OVERSTROMINGSKANS?

Het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK2) brengt de overstromingsrisico's in Nederland in beeld. Daartoe wordt onder andere bepaald wat de kans is dat een waterkering bezwijkt en er een overstroming optreedt. Deze manier van kijken naar de sterkte van waterkeringen wordt de overstromingskansbenadering genoemd. Er is echter ook een andere manier om de sterkte van een waterkering te beoordelen.

De huidige toets- en ontwerpmethodiek berust op een methode die ook wel de overschrijdingskansbenadering wordt genoemd. Daarbij wordt gewerkt met rekenregels die moeten worden gevoed met zogenoemde rekenwaarden. Dat zijn getalswaarden die betrekking hebben op de belasting en de sterkte van waterkeringen. De rekenwaarde van de belasting is een waarde met een bepaalde overschrijdingskans. Welke overschrijdingskans dat is, verschilt per dijkkring en is in de wet vastgelegd. De manier waarop de andere rekenwaarden moeten worden gekozen, staat in de toetsvoorschriften en ontwerpleidraden beschreven.

Over de relatie tussen de overstromingskansbenadering en de overschrijdingskansbenadering worden aan het Projectbureau VNK2 vaak vragen gesteld. Daarom gaan we in deze publicatie in op hun belangrijkste overeenkomsten en verschillen. De publicatie is geschreven voor een breed publiek, van beleidsmakers tot beheerders.

In hoofdstuk 2 worden kort de achtergronden van de overschrijdingskansbenadering en de overstromingskansbenadering gegeven. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de belangrijkste overeenkomsten en verschillen tussen de beide benaderingen. Zoals wordt uitgelegd, zijn het eigenlijk twee benaderingen om met de onzekerheden over de belastingen en sterkte-eigenschappen van waterkeringen om te gaan. In hoofdstuk 4 wordt toegelicht waar die onzekerheden vandaan komen. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 uitgelegd hoe deze onzekerheden kunnen worden afgedekt met 'veilige waarden' binnen de overschrijdingskansbenadering en hoe deze aanpak zich verhoudt tot de overstromingskansbenadering.

Zoals in deze publicatie duidelijk zal worden gemaakt, heeft de overstromingskansbenadering enkele belangrijke voordelen ten opzichte van de wat eenvoudigere en vertrouwde overschrijdingskansbenadering. Ten eerste kan er bij de overstromingskansbenadering een gedifferentieerd beeld worden gegeven van de sterkte van waterkeringen, in plaats van alleen 'voldoet' of 'voldoet niet'. Ten tweede kan er met de overstromingsbenadering een directe relatie worden gelegd met een gewenst beschermingsniveau; bij de overschrijdingskansbenadering is dat alleen indirect mogelijk. Beide aspecten betekenen dat er met een overstromingskansbenadering gericht en dus doelmatiger, een politiek gewenst beschermingsniveau kan worden nagestreefd.

2

DE OVERSCHRIJDINGSKANSBENADERING EN DE OVERSTROMINGSKANSBENADERING IN HET KORT

Tot welk niveau een gebied moet worden beschermd tegen overstromingen is een politieke keuze. De waterkeringen moeten vervolgens zodanig worden ontworpen en onderhouden dat een overstroming niet waarschijnlijker is dan is toegestaan. Om dat te beoordelen kan zowel een overschrijdingskansbenadering als een overstromingskansbenadering worden gevolgd. In het eerste geval wordt de kans op een overstroming indirect beoordeeld, door te rekenen met 'voldoende veilige' waarden voor de onzekere belastingen en sterkte-eigenschappen. In het tweede geval wordt de kans op een overstroming direct beoordeeld, via een kansberekening.

2.1 De overschrijdingskansbenadering in het kort

Hoe veilig is een dijk? Dat hangt er vanaf hoe groot de belasting op de dijk zal zijn en hoe sterk de dijk is. Maar de belasting is variabel en de sterkte soms erg onzeker. We zouden nu, een beetje voorzichtig, uit kunnen gaan van vrij ongunstige ondergrondeigenschappen en bekijken of de dijk in dat geval een onwaarschijnlijk, zeer hoog belastingniveau (waterstand en golven) kan keren. En alleen als dat het geval is, noemen we de dijk sterk genoeg. Dat is eigenlijk de overschrijdingskansbenadering. Deze benadering ligt ten grondslag aan de huidige toetsvoorschriften en ontwerpleidraden.

De overschrijdingskansnormen die in de Waterwet zijn vastgelegd schrijven voor hoe hoog het belastingniveau is dat moet worden beschouwd in de toetsing. In het vervolg van deze publicatie wordt eenvoudigheidshalve uitgegaan van een faalmechanisme waarvoor de golfcondities irrelevant zijn, zodat alleen de waterstand ertoe doet. Het door de Waterwet voorgeschreven belastingniveau is dan een bepaalde

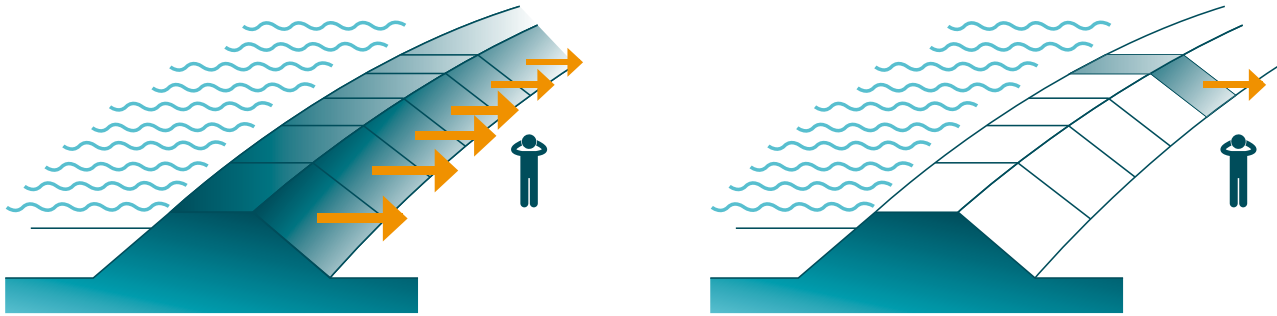
waterstand. Die waterstand wordt ook wel het toetspeil genoemd.

De sterkte van elke dijkdoorsnede moet groot genoeg zijn om het toetspeil veilig te kunnen keren. Maar als de sterkte onzeker is, bijvoorbeeld omdat er niet overal boringen en sonderingen beschikbaar zijn, wat is dan 'de' sterkte? Om dat te ondervangen, is bij de toetsvoorschriften aangegeven met welke waarden van de sterkte-eigenschappen moet worden gerekend als die onzeker zijn. Dat zijn 'veilige' (conservatieve) waarden, zoals de 5%-ondergrenzen: de waarden die met een kans van slechts 5% nog kleiner blijken te zijn. Soms moeten die waarden nog worden gedeeld door veiligheidsfactoren. Daarmee worden dan extra marges ingebouwd.

Getalswaarden met een bepaalde kans van over- of onderschreiding worden ook wel karakteristieke waarden genoemd. Het toetspeil is een voorbeeld van zo'n karakteristieke waarde. De 5%-ondergrenzen van de sterkte-eigenschappen zijn dat ook. Hoe strenger de karakteristieke waarden en de eventuele veiligheidsfactoren worden gekozen, des te ongunstiger de belastingen en sterkte-eigenschappen zijn waarmee moet worden gerekend in de toetsing. De strengheid van de karakteristieke waarden en de eventuele veiligheidsfactoren bepalen zo indirect de kans dat een waterkering bezwijkt (zie ook hoofdstuk 5).

2.2 De overstromingskansbenadering in het kort

Om te beoordelen hoe veilig een gebied is, kan ook worden gekeken naar de kans dat er een overstroming optreedt. Maar hoe bereken je zo'n kans?



Figuur 1. Illustratie van het lengte-effect: de kans dat het ergens in de dijkring misgaat, is groter dan de kans dat het op één specifieke plaats misgaat.

Een overstroming treedt op als een waterkering zodanig wordt belast dat deze zijn waterkerend vermogen verliest. De overstromingskans is dus gelijk aan de kans dat er een belasting optreedt die groter is dan de sterkte van de waterkering. Om deze kans te berekenen, moeten we eerst aan alle mogelijke belastingen en sterkte-eigenschappen kansen van voorkomen toekennen. Vervolgens moeten alle combinaties van belastingen en sterkte-eigenschappen worden geselecteerd waarbij de waterkering zou bezwijken. De overstromingskans kan vervolgens worden bepaald door de kansen van deze combinaties op te tellen. Hoewel de berekening van een overstromingskans soms erg ingewikkeld is, is het basisprincipe dus erg eenvoudig.

Als wordt gesproken over overstromingskansen, gaat het in VNK2 steeds over de dijkringen zoals die in de Waterwet zijn genoemd. Het gaat dan dus over de kans dat er ergens in zo'n dijkring iets mis gaat. Maar waarom is het zo

belangrijk om duidelijk aan te geven waarop een berekende overstromingskans betrekking heeft?

De kans dat er ergens in de Betuwe een overstroming optreedt, is groter dan de kans dat dit precies ter plaatse van het dorpje Opheusden gebeurt. Dit voorbeeld geeft al aan dat een berekende overstromingskans afhankelijk is van het aantal kilometers dijk waarop deze kans betrekking heeft (Figuur 1). Dit heeft te maken met een fenomeen dat ook wel het lengte-effect wordt genoemd. Het lengte-effect is een gevolg van het feit dat het in de praktijk zelden bekend is waar de zwakke plekken in de dijk te vinden zijn en hoe zwak de zwakste plek precies is. Dat verklaart ook waarom er tijdens hoogwater langs de dijken wordt gepatrouilleerd om te zien of er ergens problemen optreden. Hoe langer de dijk, des te groter de kans dat er bij de dijkinspectie ergens een probleem wordt geconstateerd.

3

OVEREENKOMSTEN EN VERSCHILLEN TUSSEN DE OVERSCHRIJDINGSKANS- EN DE OVERSTROMINGSKANSBENADERING

In discussies over de overschrijdingskansbenadering en de overstromingskansbenadering moet steeds het verschil voor ogen worden gehouden tussen de principes en de huidige praktijk. De toetsing en VNK2 zijn de twee huidige uitwerkingen van de overschrijdingskansbenadering en de overstromingskansbenadering in Nederland. Bij de ontwikkeling van de toetsvoorschriften en het VNK2-instrumentarium zijn soms verschillende pragmatische keuzes gemaakt. Die zorgen gemakkelijk voor verwarring over de principiële overeenkomsten en verschillen tussen de overschrijdingskansbenadering en overstromingskansbenadering. In paragraaf 3.1 worden eerst de principiële overeenkomsten en verschillen besproken. Daarna worden in paragraaf 3.2 de verschillen tussen de toetsing en VNK2 behandeld.

3.1 Theorie: de onderliggende principes

De overschrijdingskansbenadering en de overstromingskansbenadering zijn eigenlijk twee manieren om met onzekerheden om te gaan bij de beoordeling van de sterkte van waterkeringen. Hoewel de overschrijdingskansbenadering vertrouwder is en eenvoudiger is in het gebruik, maakt de overstromingskansbenadering het mogelijk om een bepaald beschermingsniveau gerichter en dus tegen lagere kosten te bereiken.

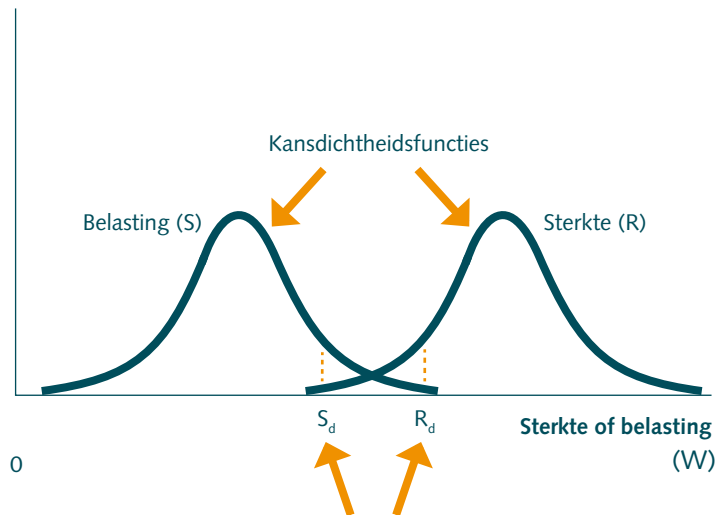
De inhoudelijke verschillen tussen de overschrijdingskansbenadering en de overstromingskansbenadering hebben vooral betrekking op de manier waarop met de onzekerheden over de belastingen en sterkte-eigenschappen wordt omgegaan: impliciet (via karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren) of expliciet (via de kansen op de verschillende waarden die de belastingen en de sterkte kunnen hebben).

In de overstromingskansbenadering worden de onzekerheden over de belastingen en sterkte-eigenschappen tot uitdrukking gebracht in de kans dat de belasting groter is dan de sterkte, zodat er een overstroming plaatsvindt. Dat wordt gedaan door alle mogelijke belastingen en sterkte-eigenschappen met hun kans van voorkomen te wegen. Bij de overschrijdingskansbenadering lijkt er daarentegen sprake te zijn van een 'deterministische aanpak' waarbij kansen en onzekerheden helemaal geen rol spelen. Maar schijn bedriegt. Zoals in hoofdstuk 2 al is besproken, spelen bij de overschrijdingskansbenadering precies dezelfde onzekerheden een rol als bij de overstromingskansbenadering. Door op een andere manier met onzekerheden om te gaan, gaan ze namelijk niet weg.

De onzekerheden ten aanzien van de belastingen en de sterkte-eigenschappen worden binnen de overschrijdingskansbenadering afgedekt door middel van karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren. Dergelijke karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren worden idealiter zodanig gekozen dat de kans op een dijkdoorbraak voldoende klein is als uit het toetsvoorschrift het oordeel 'voldoet' volgt (zie hoofdstuk 4). Hieruit blijkt wel dat de overschrijdingskansbenadering en de overstromingskansbenadering, althans in theorie, nauw met elkaar zijn verbonden.

De relatie tussen de overschrijdingskansbenadering en de overstromingskansbenadering is geïllustreerd in Figuur 2. Bij de overstromingskansbenadering wordt gekeken naar de kans dat de belasting groter is dan de sterkte. Bij de overschrijdingskansbenadering wordt gekeken of de rekenwaarde van de belasting groter is dan de rekenwaarde

Kansdichtheid



Overschrijdingskansbenadering (semi-probabilistische beoordeling):
Is de rekenwaarde van de belasting kleiner dan de rekenwaarde van de sterkte? $S_d < R_d$?

Overstromingskansbenadering (probabilistische beoordeling):
Is de kans dat de belasting groter is dan de sterkte (=faalkans) voldoende klein $P(S < R) < \text{Eis}$?

Rekenwaarden (karakteristieke waarden, eventueel na vermenigvuldiging met veiligheidsfactoren)

Figuur 2. Illustratie van de relatie tussen kansdichtheidfuncties en rekenwaarden.

Een kansdichtheidfunctie kent aan elke mogelijke waarde een kans van voorkomen toe.

van de sterkte. Een rekenwaarde is een karakteristieke waarde, eventueel na toepassing van een veiligheidsfactor.

Het gebruiksgemak van de overschrijdingskansbenadering is vaak groter omdat het invullen van rekenwaarden in een voorschrift gemakkelijker is dan het maken van een faalkansberekening. Aan het gebruiksgemak van de overschrijdingskansbenadering kleven echter ook twee belangrijke nadelen.

Ten eerste kan er bij de overschrijdingskansbenadering alleen worden aangegeven of een waterkering voldoet of niet, maar

niet in welke mate. Bij de overstromingskansbenadering kan dat wel. De overstromingskansbenadering verschaft daarmee het inzicht dat nodig is om gericht te kunnen investeren in de zwakste plekken.

Ten tweede kan er bij een overschrijdingsbenadering geen directe relatie worden gelegd met een politiek gewenst beschermingsniveau in termen van een maximaal toelaatbare kans op een overstroming. Er wordt bij deze benadering alleen indirect, via toetspeilen en andere rekenwaarden, beoordeeld of de kans op een overstroming voldoende klein is.

Om te zorgen dat het oordeel 'voldoet' overal betekent dat het gewenste beschermingsniveau wordt gehaald, zullen de rekenwaarden wat conservatiever gekozen moeten worden. Dat betekent dan dat er aan dijken vaak strengere eisen gesteld zullen worden dan strikt noodzakelijk is. Met een overstromingskansbenadering kan in principe veel scherper worden beoordeeld of een bepaald politiek gewenst beschermingsniveau wordt gehaald.

3.2 Praktijk: verschillen tussen de toetsing en VNK2

Na de Watersnoodramp van 1953 bepaalde de Deltacommissie economisch optimale overstromingskansen. De economisch optimale overstromingskans voor Hoek van Holland bedroeg 1/125.000 per jaar. Maar omdat de daadwerkelijke overstromingskans van de dijkkring nog niet berekend kon worden, werd dit vertaald naar de eis dat waterstanden met een overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar veilig gekeerd moesten worden. Deze overschrijdingskansbenadering is daarna verder uitgewerkt in toetsvoorschriften en ontwerpleidraden. Met de kennis die in de afgelopen decennia is opgedaan, kunnen inmiddels wel overstromingskansen worden berekend. Dat heeft het project VNK2 laten zien.

De toetsing en VNK2 leveren op een aantal punten verschillende beelden van de veiligheid op. Zo zijn de in VNK2 berekende overstromingskansen vaak getalsmatig groter dan de huidige overschrijdingskansnormen, terwijl deze normen al getalsmatig groter zijn dan de overstromingskansen die de Deltacommissie voorstelde. Verder zijn er vakken die volgens de toetsing niet voldoen, terwijl er in VNK2 voor het betreffende faalmechanisme een hele kleine faalkans is berekend. Hoe kunnen dit soort uitkomsten worden verklaard? De verklaring is vooral gelegen in de praktische uitwerking

van de overschrijdingskansbenadering (in het kader van de toetsing) en de overstromingskansbenadering (in het kader van VNK2). Daarbij zijn soms verschillende inzichten verwerkt en andere keuzes gemaakt. Dat is overigens per faalmechanisme in meer of mindere mate het geval. De verschillen zijn het grootst bij het faalmechanisme piping en het falen van bekledingen. Bij veel andere faalmechanismen, zoals duinafslag, overslag en macro-instabiliteit, zijn de verschillen tamelijk klein. Een aantal belangrijke redenen voor de verschillen zijn:

1. Het lengte-effect is zelden volledig verwerkt in de huidige toetsvoorschriften, terwijl het wel van invloed is op de overstromingskans van een dijkkring

In de toetsing wordt de sterkte van de waterkering per vak beoordeeld. Er wordt in de toetsing dus steeds voor een klein stukje van de dijkkring beoordeeld of het waarschijnlijk is dat de waterkering een bepaalde, hoge waterstand (het toetspeil) zal kunnen keren. De kans dat de dijk in een specifiek dijkvak bezwijkt, is echter fors kleiner dan de kans dat er ergens in de dijkkring een doorbraak plaatsvindt. De overstromingskans voor een hele dijkkring is dus groter dan de kans op een doorbraak in een specifiek vak. Hiermee kan binnen een overschrijdingskansbenadering rekening worden gehouden door bij de beoordeling van vakken extra streng te zijn. Dat is bij het opstellen van de toetsvoorschriften echter lang niet overal gedaan. Een voorbeeld daarvan is de eenvoudige toetsregel van Bligh voor piping. In VNK2 werd soms een onverwacht hoge kans berekend dat er ergens in een dijkkring een waterkering zou bezwijken door piping. Het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) concludeerde later dat dit komt doordat het lengte-effect niet is verwerkt in de toetsregel van Bligh (ENW, 2011).

Er zijn trouwens ook toetsvoorschriften waarbij wel degelijk rekening is gehouden met het lengte-effect. Een voorbeeld daarvan is het toetsvoorschrift voor macrostabiliteit binnenwaarts. Om ervoor te zorgen dat de kans op een doorbraak ergens in de dijkkring voldoende klein is, worden extra strenge eisen gesteld aan dijkdoorsneden, via de zogenaamde schadefactor. Het lengte-effect is dus 'onder de motorkap' verwerkt in het toetsvoorschrift.

2. De veiligheidsfactoren bij de huidige toetsvoorschriften zijn lang niet altijd direct afgeleid van aanvaardbaar geachte kansen op dijkdoorbraken

Eén overschrijdingskansnorm kan corresponderen met verschillende kansen op een dijkdoorbraak. Door in een toetsvoorschrift strenger te zijn ten aanzien van de sterkte-eigenschappen wordt de kans op een dijkdoorbraak bij dezelfde overschrijdingskans van de buitenwaterstand immers kleiner. Idealiter worden de veiligheidsfactoren voor de sterkte-eigenschappen afgeleid van aanvaardbaar geachte overstromingskansen, zoals ook in de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken staat beschreven (TAW, 1989: pag. 104). In de praktijk berusten de veiligheidsfactoren echter dikwijls op engineering judgment. Daardoor is het vaak onduidelijk hoe (on)waarschijnlijk een dijkdoorbraak is als een dijk volgens de toetsvoorschriften voldoet. Een toetsregel kan erg conservatief zijn of juist erg optimistisch, in de zin dat de kans op een doorbraak in een dijkvak (of ergens in de dijkkring) relatief klein of juist relatief groot mag zijn.

3. In de toetsvoorschriften wordt reststerkte vaak buiten beschouwing gelaten; in de overstromingskansberekeningen van VNK2 wordt reststerkte -binnen de huidige modelmatige beperkingen- zoveel mogelijk meegenomen

Het verschil tussen de economisch optimale overstromingskans en de daarvan afgeleide overschrijdingskans van de eerste Deltacommissie kan aan de reststerkte van de waterkeringen worden toegeschreven. Door reststerkte is de kans dat een waterkering bezwijkt als deze wordt overbelast, zodat de reststerkte wordt aangesproken, kleiner dan één. Dit verklaart ook waarom de economisch optimale overstromingskans kleiner was dan de overschrijdingskans.

In de huidige toetsvoorschriften wordt de reststerkte van waterkeringen vaak buiten beschouwing gelaten. Er wordt dan alleen beoordeeld of een dijk wordt overbelast. Als dat het geval is, hoeft er echter nog geen sprake te zijn van een dijkdoorbraak. Zo zal een afschuiving niet direct tot een overstroming leiden, als een groot deel van de kruin blijft staan en de dijk zijn kerende hoogte behoudt. Eigenlijk komt het buiten beschouwing laten van de reststerkte neer op het hanteren van een zeer conservatieve rekenwaarde voor de reststerkte.

In VNK2 wordt, binnen de huidige mogelijkheden, zoveel mogelijk expliciet rekening gehouden met de daadwerkelijk aanwezige reststerkte van waterkeringen. Zo worden in stabiliteitanalyses alleen de afschuifvlakken beschouwd die het waterkerend vermogen van de dijk zwaar zouden aantasten. Naar bekledingen die beneden het binnendijkse maaiveldniveau liggen wordt niet gekeken en in faalkansberekeningen voor bekledingen wordt gebruikgemaakt van een eenvoudig reststerktemodel. Dit zorgt ervoor

dat de in VNK2 berekende faalkansen voor binnenwaartse macrostabiliteit en het falen van bekledingen dikwijls kleiner zijn dan verwacht zou mogen worden op basis van de toetsresultaten.

Dat er momenteel verschillen zijn tussen VNK2 en de toetsing in de omgang met reststerkte (of algemener: verschillen in de gedragsmodellering van faalmechanismen) is eerder een praktische dan een principiële kwestie. In een overstromingskansbenadering kunnen namelijk precies dezelfde gedragsmodellen, ervaringen en engineering judgments worden ingezet als in een overschrijdingskansbenadering.

4 DE ONZEKERHEDEN BIJ HET BEOORDELEN VAN DE VEILIGHEID VAN WATERKERINGEN

Vaak kunnen we niet precies voorspellen wat zich op een bepaald moment zal voordoen of wat we op een bepaalde plek zullen aantreffen. Er is dan sprake van onzekerheid. Zoals toegelicht in hoofdstuk 3 spelen de onzekerheden over de sterkte van de waterkeringen en de belastingen een belangrijke rol bij het beoordelen van de veiligheid van waterkeringen. Maar waar komen die onzekerheden vandaan? En hoe wordt daar in VNK2 en de toetsing mee omgegaan? Daar wordt in dit hoofdstuk nader op ingegaan.

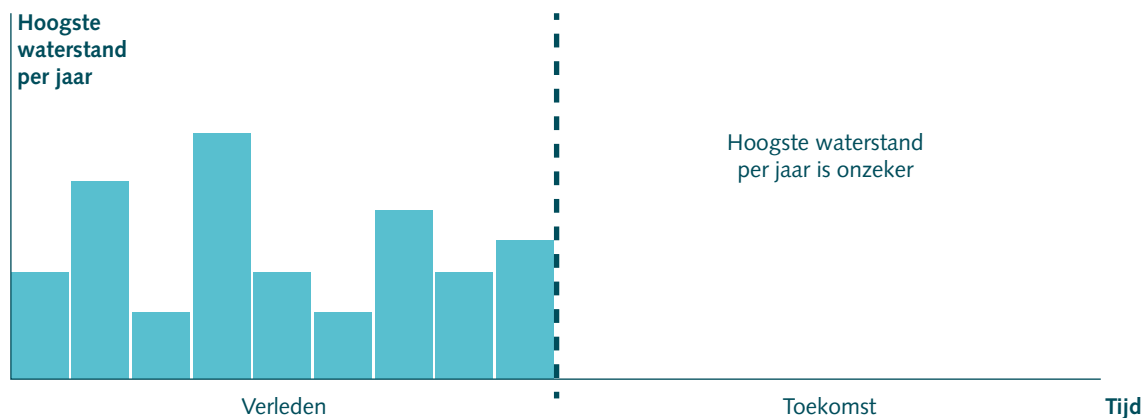
4.1 Bronnen van onzekerheid

De onzekerheden die van belang zijn bij de beoordeling van de veiligheid van waterkeringen komen deels voort uit de

variabiliteit van belastingen en sterkte-eigenschappen in de tijd en in de ruimte. Een andere belangrijke bron van onzekerheid is onze beperkte kennis van de natuur. Hieronder worden deze twee bronnen van onzekerheid nader toegelicht.

Onzekerheid door variabiliteit in tijd en ruimte

Het weer is grillig en elke dag anders. Het is dan ook onmogelijk om te voorspellen hoe zwaar de zwaarste storm in een komend jaar zal zijn, of hoeveel neerslag er zal vallen in het stroomgebied van de Rijn. Het is dus ook onzeker hoe hoog de hoogste belasting op de dijken in een willekeurig jaar is (Figuur 3). Wel kunnen we, op basis van statistiek, aan elk mogelijk jaarmaximum een bepaalde kans toekennen.

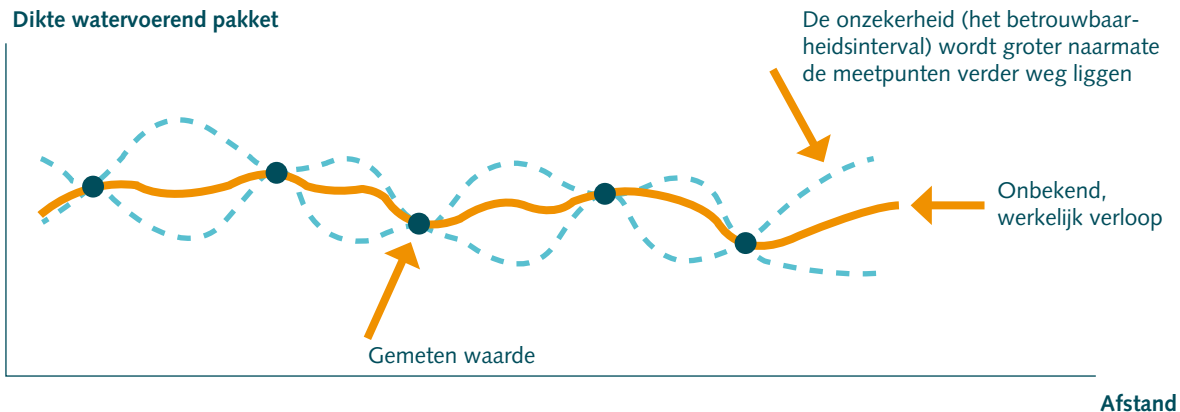


Figuur 3. Illustratie van de onzekerheid door natuurlijke variabiliteit in de tijd.

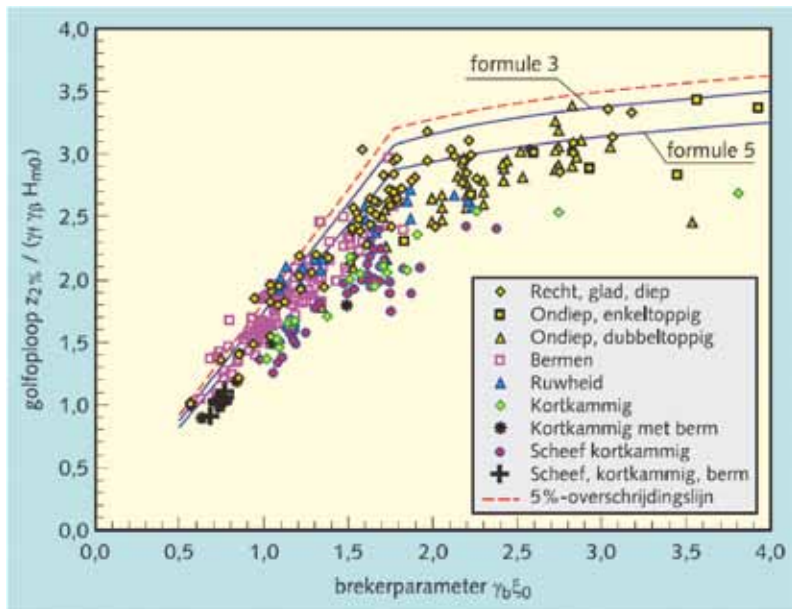
De sterkte-eigenschappen van de waterkeringen fluctueren vaak sterk in de ruimte. Zo verschilt de doorlatendheid van de ondergrond van punt tot punt en is het onzeker hoe ver bepaalde zandbanen doorlopen. De ondergrondeigenschappen zijn weliswaar deterministisch (overall precies te bepalen), maar onbekend totdat ze daadwerkelijk zijn gemeten. In de praktijk liggen de uitgevoerde boringen en sonderingen tientallen of zelfs honderden meters uit elkaar. Ter plaatse van een boring of sondering is het vrij goed bekend wat de eigenschappen van de ondergrond zijn. Maar hoe zit dat tussen de meetpunten? Als de ondergrondeigenschappen ruimtelijk sterk kunnen variëren, dan is het zeer onzeker wat de werkelijke eigenschappen tussen de meetpunten zijn (Figuur 4). Hoe verder we van een meetpunt af staan, des te groter die onzekerheid is.

Onzekerheid door onze beperkte kennis van de natuur

Zelfs als alle (ondergrond)eigenschappen van een dijk precies bekend zouden zijn, is het niet precies bekend bij welke belastingen de dijk bezwijkt. De manier waarop de dijk zich daadwerkelijk zal gedragen, is namelijk nooit volledig te voorspellen. Alle modellen die het bezwijkgedrag van waterkeringen beschrijven, zijn nu eenmaal vereenvoudigingen van de werkelijkheid. De uitkomsten van de rekenmodellen waarmee het bezwijkgedrag van waterkeringen wordt berekend, zijn dus onzeker (Figuur 5). Kortom: er is sprake van modelonzekerheid. Hetzelfde geldt overigens voor onze voorspellingen van menselijk handelen. Zo is het nooit met 100% zekerheid te zeggen of iemand op tijd een coupure zal sluiten.



Figuur 4. Illustratie van onzekerheden door natuurlijke variabiliteit in de ruimte.



Figuur 5. Illustratie van modelonzekerheid: verschillen tussen de formules voor golfoploop en de daadwerkelijk gemeten waarden (bron: Technisch rapport golfoploop en golfoverslag bij dijken, TAW, 2003: fig. 6, pag. 12).

Ook meetonzekerheid komt voort uit onze beperkte kennis van de natuur. Soms slagen we er simpelweg niet in om precies te meten waarin we geïnteresseerd zijn. Door meetonzekerheid bestaat er een kans dat de werkelijke waarde afwijkt van het meetresultaat.

4.2 Onzekerheden in de toetsing en VNK2

De onzekerheden die in de vorige paragraaf zijn genoemd spelen een rol in zowel de toetsing als VNK2. In Figuur 6 en Figuur 7 is de omgang met deze onzekerheden in de toetsing

en VNK2 schematisch weergegeven. De verschillen tussen de toetsing en VNK2 hebben niet zozeer betrekking op de vraag welke onzekerheden worden meegenomen bij het beoordelen van de veiligheid van waterkeringen, als wel op de vraag hoe dat wordt gedaan. In de toetsing worden onzekerheden afgedekt door 'veilige' waarden; in VNK2 worden ze verwerkt in de inschatting van de kans op een overstrooming.



Figuur 6. Onzekerheden en de wettelijke toetsing.



Figuur 7. Onzekerheden en VNK2.

5 DE OVERSCHRIJDINGSKANSBENADERING: ONZEKERHEDEN AFDEKKEN MET 'VEILIGE WAARDEN'

De toetsvoorschriften die bij een overschrijdingskansbenadering worden gebruikt, moeten dusdanig zijn geijkt dat het oordeel 'voldoet' betekent dat de kering ook daadwerkelijk een voldoende kleine faalkans heeft. Een goed uitgewerkte overschrijdingskansbenadering berust dus op een overstromingskansbenadering. De overschrijdingskansbenadering wordt daarom ook wel een semi-probabilistische benadering genoemd. In dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe de ontwikkeling van een semi-probabilistisch toetsvoorschrift idealiter verloopt.

Bij de overschrijdingskansbenadering worden toetsvoorschriften gevoed met karakteristieke waarden, zoals het toetspeil en de 5%-ondergrens van de rolweerstandhoek. Er worden ook vaak veiligheidsfactoren toegepast. Maar waarom zijn die veiligheidsfactoren zo gekozen?

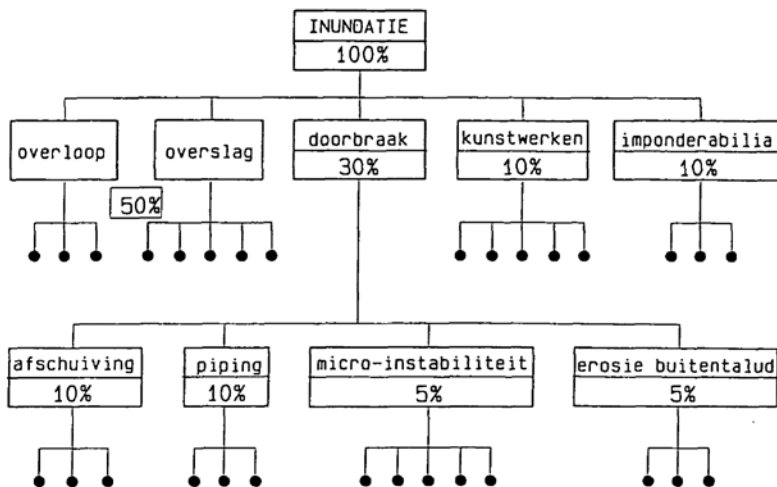
De eerste stap bij het afleiden van voldoende veilige rekenwaarden (karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren) bij een toets-/ontwerpregel is het vaststellen van een faalkanseis voor het betreffende faalmechanisme. Die eis bepaalt immers wat veilig genoeg is. Maar hoe komen we aan zo'n eis? In de Waterwet staan immers alleen overschrijdingskansnormen genoemd. Door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (nu Expertise Netwerk Waterveiligheid) is hier het volgende op bedacht.

In de Grondslagen voor Waterkeren staat beschreven dat de kans op het falen van een dijk door een andere oorzaak dan golfoploop en golfoverslag maximaal 10% van de getalswaarde van de normfrequentie mag zijn (TAW, 1998). Als de normfrequentie 1/1.250 per jaar is, dan mag de totale faalkans voor alle andere faalmechanismen dan golfoverslag

dus niet groter zijn dan 1/12.500 per jaar. Van deze faalkanseis voor een hele groep faalmechanismen bij elkaar kan weer een faalkanseis voor een afzonderlijk mechanisme worden afgeleid. Daarbij wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde faalkansbegroting. Die verdeelt de toelaatbare faalkansruimte over de verschillende faalmechanismen (Figuur 8). Een voorbeeld van een dergelijke faalkansbegroting is gegeven in de Leidraad voor het ontwerp van rivierdijken (TAW, 1989). Deze leidraad stamt al uit 1989. Het denken in termen van faalkansen is dus eigenlijk helemaal niet zo nieuw als soms wordt gedacht.

Bij een semi-probabilistische toetsing (overschrijdingskansbenadering) worden steeds dijkdoorsneden of vakken beoordeeld. Een faalkanseis voor een faalmechanisme wordt doorgaans echter op dijkkringniveau gegeven. De faalkanseis heeft dan betrekking op de kans dat ergens in de dijkkring door het betreffende faalmechanisme een overstroming optreedt. Deze overkoepelende faalkanseis moet dan nog worden vertaald naar een faalkanseis voor een losse dijkdoorsnede of een afzonderlijk dijkvak om op doorsnede- of vakniveau te kunnen toetsen. Daarbij speelt het lengte-effect een belangrijke rol.

Als we voor een faalmechanisme een faalkanseis op doorsnede- of vakniveau hebben bepaald, kunnen we geschikte karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren gaan afleiden. Om te begrijpen hoe dat in zijn werk gaat, is het volgende van belang. Bij een faalkansberekening wordt gekeken naar de kans dat de belasting groter is dan de sterkte. Er zijn heel veel combinaties van sterkte-eigenschappen en belastingen denkbaar waarbij dat het geval is. De meest waarschijnlijke van deze combinaties, wordt ook wel het



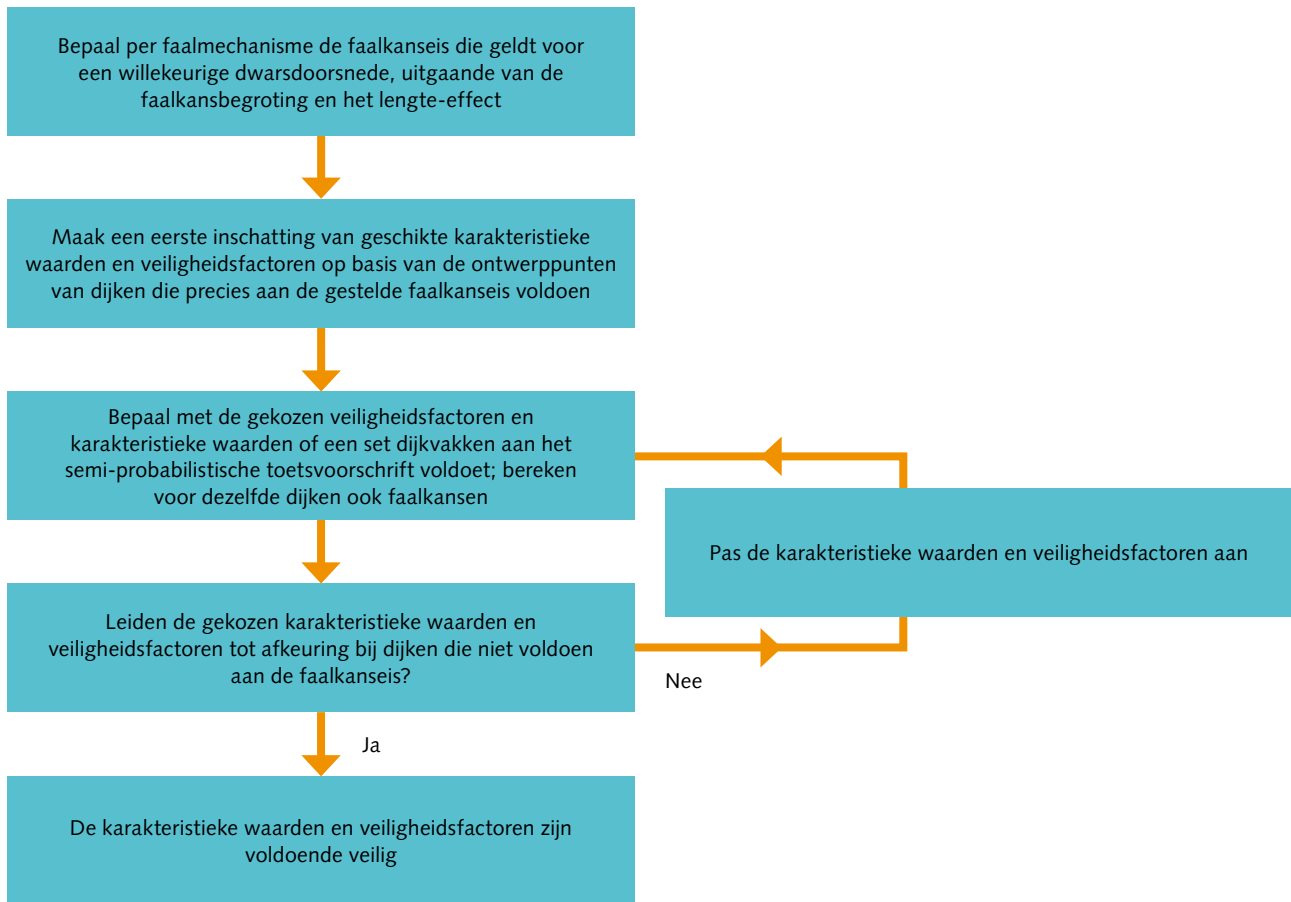
Figuur 8. Voorbeeld van een faalkansbegroting (bron: TAW, 1989: pag. 109). In het kader van de ontwikkeling van een toets- en ontwerpinstrumentarium op basis van overstromingskansen (het project WT12017) wordt de faalkansbegroting nader ingevuld.

ontwerppunt genoemd. De ontwerppunten van dijken die net voldoen aan de faalkanseis vormen nu een belangrijke referentie: de rekenwaarden (karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren) moeten zodanig worden gekozen, dat ze zo goed mogelijk overeen komen met de ontwerppuntwaarden.

Uit het bovenstaande blijkt wel dat de ontwerppunten van dijken die precies voldoen aan de faalkanseis een belangrijk startpunt vormen voor het bepalen van geschikte karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren. Om uiteindelijk te bepalen of de gekozen karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren voldoende veilig zijn, ontkomen we er echter niet aan om een groot aantal praktijkgevallen te bekijken. Voor elk van deze gevallen voeren we dan zowel een faalkansberekening uit als een semi-probabilistische toetsing (dat is een toetsing volgens de overschrijdingskansbenadering). De semi-probabilistische toetsregel moet nu steeds (of

voldoende vaak) aangeven dat een dijk 'niet voldoet' als de faalkans te hoog is. Zo niet, dan moeten de karakteristieke waarden en/of veiligheidsfactoren strenger worden gekozen.

In Figuur 9 is schematisch weergegeven hoe voor een faalmechanisme voldoende veilige karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren bepaald kunnen worden. In het kader van het project WT12017 zal dit zogenoemde kalibratieproces voor een groot aantal faalmechanismen worden doorlopen. Hoewel het project WT12017 is gericht op de ontwikkeling van een toetsinstrumentarium op basis van overstromingskansen, worden er ook semi-probabilistische voorschriften afgeleid. Dat wordt gedaan om ervoor te zorgen dat er straks naast probabilistische beoordelingen ook (conservatievere, maar vertrouwde en gemakkelijkere) semi-probabilistische beoordelingen mogelijk blijven.



Figuur 9. Het proces van het bepalen van voldoende veilige karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren op hoofdlijnen.

Het toepassen van een semi-probabilistisch toetsvoorschrift is vaak makkelijker dan het maken van een faalkansberekening. Al het moeilijke werk is immers 'onder de motorkap' al gedaan. Een semi-probabilistisch toetsvoorschrift heeft de verschijningsvorm van een deterministische berekening. Maar zoals inmiddels duidelijk zal zijn, is dat niet helemaal terecht. Vandaar ook de officiële benaming 'semi-probabilistisch' in plaats van 'deterministisch', ook al wordt in toetsvoorschriften en ontwerpleidraden vaak gesproken over een 'deterministische methode'.

Aan het gebruiksgemak van een semi-probabilistisch toetsvoorschrift hangt ook een prijskaartje:

1. Een semi-probabilistische beoordeling verschaft minder inzicht dan een probabilistische

Uit een semi-probabilistische beoordeling volgt alleen of een dijk voldoet of niet. Dat resultaat geeft alleen aan dat de faalkans kleiner of groter moet zijn dan een bepaalde waarde. Het is dan echter onbekend hoeveel kleiner of groter de faalkans is dan deze waarde. Voor het stellen van prioriteiten is het nuttig om niet alleen te weten of een dijk voldoet, maar ook in hoeverre dat het geval is. Een probabilistische beoordeling geeft daar direct een antwoord op; een semi-probabilistische beoordeling doet dat niet.

2. Een semi-probabilistische beoordeling is conservatiever dan een probabilistische

Als de rekenwaarden (karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren) voor probabilistische beoordelingen zijn afgeleid van probabilistische berekeningen (uitgaande van dezelfde modellen, gegevens en engineering judgments), dan zal een semi-probabilistische beoordeling minder

scherp zijn dan een probabilistische. Bij het bepalen van voldoende veilige rekenwaarden wordt altijd wat conservatisme geïntroduceerd. Elke waterkering is namelijk anders. Om ervoor te zorgen dat het oordeel 'voldoet' overal betekent dat de faalkans voldoende klein is, zal een semi-probabilistisch toetsvoorschrift voor sommige gevallen wat conservatief uitpakken. Het gebruiksgemak van een semi-probabilistisch toetsvoorschrift/de overschrijdingskansbenadering gaat dus wel ten koste van de scherppte.

VERDER LEZEN

Bedford, T., Cooke, R. (2001). Probabilistic risk analysis: foundations and methods. Cambridge: Cambridge University Press.

ENW (2011). Piping – realiteit of rekenfout? Expertise Netwerk Waterveiligheid.

CUR190. Kansen in de Civiele Techniek. Deel 1: De theorie van het probabilistisch ontwerpen. ISBN 90 376 0102 2. Gouda: Stichting CUR.

Projectbureau VNK2 (2011). Veiligheid Nederland in Kaart: De methode nader Verklaard. Document HB1267988. Maart 2011.

Projectbureau VNK2 (2011). Veiligheid Nederland in Kaart: Tussenresultaten. Document HB1268008. Maart 2011.

TAW (1989). Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken. Deel 2 – Benedenriviereengebied. Appendices. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.

TAW (1998). Grondslagen voor Waterkeren. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.

TAW (2003). Technisch rapport golfoploop en golfoverslag bij dijken. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.

Vrouwenvelder, A.C.W.M., Vrijling, J.K. (2001). Kansen, onzekerheden en hun interpretatie. Memorandum 2000-CON-DYN/M2107. TNO en TUDelft. 31-01-2001.

KIJK VOOR MEER INFORMATIE OP WWW.HELPDESKWATER.NL/VNK2 OF BEL 0800 - 6592837



Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Interprovinciaal Overleg



 UNIE VAN WATERSCHAPPEN