



Veiligheid Nederland in Kaart

Hoofdrapport onderzoek overstromingsrisico's

November 2005

DWW-2005-081
ISBN 90-369-5604-8

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Voorwoord	5
Samenvatting	7
1. Inleiding	11
1.1 Risico's vragen aandacht	11
1.2 Aanleiding van de studie	15
1.3 Doelstelling VNK.....	16
1.4 Aanpak in VNK	17
1.5 Betrokkenen.....	18
1.6 Vijfjaarlijkse Toetsing van Waterkeringen	19
1.7 Projecten gericht op overstromingsrisico's	19
1.8 Leeswijzer	19
2. Beschrijving van de methode	21
2.1 De methode in hoofdlijnen	21
2.2 Bepaling van gevolgen van een overstroming	22
2.2.1. Hoofdlijnen.....	22
2.2.2. Overstromingsscenario's	23
2.2.3. Bepaling van de economische overstromingsschade	25
2.2.4. Bepaling van aantal slachtoffers	26
2.2.5. Schade aan LNC	29
2.2.6. Milieuschade	30
2.3 Bepaling van overstromingskansen	30
2.3.1. Proces	30
2.3.2. Gegevensverzameling	31
2.3.3. Categorieën waterkeringen	32
2.3.4. Dijken.....	33
2.3.5. Duinen	40
2.3.6. Kunstwerken	42
2.3.7. Zwakke plekken analyse	44
2.3.8. Invloed van menselijk handelen.....	45
2.4 Risicobeleving	48
2.5 Kosten-baten analyse.....	48
2.6 Onzekerheden	49
2.7 Stapsgewijze analyse van de resultaten.....	51
3. Resultaten voor 16 dijkringen	55
3.1 Beschouwde dijkringen.....	55
3.2 Risico's op basis van gedetailleerde gevolgbepaling	58
3.3 Risico's op basis van globale gevolgbepaling	60
3.4 Aanvullende informatie uit de risicoberekeningen	62
3.4.1. Bijdrage van de afzonderlijke faalmechanismen	63
3.4.2. Bijdrage van de afzonderlijke vakken.....	66
3.4.3. Overstromingsscenario's	68
3.4.4. Economische schade per overstromingsscenario.....	72
3.4.5. Aantal slachtoffers per overstromingsscenario	73

3.4.6.	Verkenning van kosten-baten analyse dijkkring 14.....	76
3.4.7.	Schade aan LNC en milieu	78
4.	Analyse en bruikbaarheid van de methode	79
4.1	Zijn de berekende kansen niet veel te groot?	79
4.2	Analyse van de gevolgen van overstromingen	81
4.3	Analyse van risico's essentieel	81
4.4	Vergelijking met andere studies.....	82
4.5	Beoordeling van risico's.....	83
5.	Conclusies en aanbevelingen	87
5.1	Conclusies.....	87
5.2	Aanbevelingen	89
	Literatuurlijst	91
	Bijlage A. Begrippenlijst.....	B-1
	Bijlage B. Gebiedsbeschrijving en resultaten van de 16 dijkringen...B-9	
	Bijlage C. Toelichting projecten gericht op overstromingsrisico's...B-41	
	Bijlage D. Lijst van betrokken instanties.....	B-45

Voorwoord

Voor u ligt het Hoofdrapport van het onderzoeksproject Veiligheid Nederland in Kaart. Dit rapport bevat de uitkomsten van het onderzoek naar de overstromingsrisico's in 16 dijkkringgebieden in Nederland. In dit rapport worden zowel de methode als ook de uitkomsten weergegeven.

Recent is ook "Veiligheid Nederland in Kaart. Tussenstand van het onderzoek naar overstromingsrisico's in Nederland" verschenen. In deze Tussenstand zijn de belangrijkste uitkomsten van het VNK onderzoek beschreven.

Dit Hoofdrapport beschrijft de resultaten in meer detail dan in de Tussenstand. Tevens wordt in het Hoofdrapport de methode beschreven voor het berekenen van de gevolgen van overstromingen, de overstromingskansen en de overstromingsrisico's. De conclusies en aanbevelingen zijn in beide rapporten identiek.

Naast de Tussenstand en het Hoofdrapport zijn in VNK ook andere technisch-inhoudelijke rapporten tot stand gekomen, waaronder drie rapporten over de beschrijving van de zogenaamde 'risico-cases' en 16 dijkkringrapporten. De risico-case rapporten bevatten een beschrijving van de gedetailleerde methode voor het bepalen van de gevolgen en risico's van overstromingen. De 16 dijkkringrapporten bevatten een beschrijving van de uitkomsten voor de globale gevolgen, overstromingskansen en risico's voor alle 16 onderzochte dijkringen.

Aan het onderzoeksproject VNK hebben vele organisaties en bedrijven bijgedragen. Graag wil ik een ieder bedanken voor de constructieve bijdrage en de prettige wijze van samenwerken.

Ir. C.J. van Westen
Projectmanager VNK

Samenvatting

Doel van Veiligheid Nederland in Kaart

De regering vindt het belangrijk dat burgers meer inzicht krijgen in de kans dat hun omgeving getroffen wordt door een overstroming. Ook wil de regering meer zicht krijgen op de relatief zwakke plekken in de hoogwaterbescherming. Bovendien hebben meerdere deskundigen aangegeven dat de bescherming tegen overstromingen misschien niet meer in goede verhouding staat tot de gevolgen van een overstroming.

In 2001 is daarom in opdracht van de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat het project Veiligheid Nederland in Kaart van start gegaan. Het doel van Veiligheid Nederland in Kaart is inzicht te krijgen in de gevolgen van overstromingen en kansen op overstromingen in Nederland. Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde heeft het project in nauwe samenwerking met de waterschappen en provincies uitgevoerd. De resultaten zijn in de zomer van 2005 beschikbaar gekomen.

Essentie van de methode

Veiligheid Nederland in Kaart heeft een nieuwe methode verder ontwikkeld en toegepast om de gevolgen van overstromingen te berekenen. Voor drie dijkringen zijn de slachtoffers en de economische schade op gedetailleerde wijze berekend door rekening te houden met verschillende overstromingsscenario's. Voor de overige dijkringen zijn de gevolgen op meer globale wijze bepaald.

Ook voor het bepalen van de overstromingskansen is een nieuwe methode toegepast. Essentie van de methode is dat verschillende zogenaamde faalmechanismen een overstroming in gang kunnen zetten: niet alleen extreem hoge waterstanden, maar ook instabiliteit van een dijk of het niet tijdig sluiten van een kunstwerk. Ieder faalmechanisme levert een kans op een overstroming op. De kansen op alle faalmechanismen samen bepalen de overstromingskans van een dijkkring. Met deze methode zijn de overstromingskansen van 16 van de 53 dijkringen in kaart gebracht. De 16 dijkringen zijn zo gekozen dat zij samen een representatief beeld geven van de veiligheid in Nederland op het gebied van overstromingen. Uit de berekeningen blijkt ook waar de relatief zwakke plekken in de waterkeringen zitten.

Voor het toepassen van de nieuwe methoden zijn veel gegevens nodig, onder meer over de ondergrond van dijken en kunstwerken. Deze gegevens zijn in een aantal gevallen met veel onzekerheden omgeven. Essentieel onderdeel van kansberekeningen is dat de grootte van de onzekerheid expliciet verwerkt wordt in de berekening. Hoe groter de onzekerheid, des te groter de kans. Nader onderzoek kan in een aantal gevallen de onzekerheid verkleinen. In dat geval zullen ook de overstromingskansen lager uitvallen. In de volgende fase van Veiligheid Nederland in Kaart zal dit onderzoek plaatsvinden. Dan pas kunnen de overstromingskansen op robuuste wijze vastgesteld worden.

Gevolgen van overstromingen

Uit de studie blijkt dat bij overstromingen tientallen tot enkele duizenden slachtoffers kunnen vallen. De meeste slachtoffers zijn te verwachten als een overstroming onverwacht optreedt, zodat geen evacuatie meer mogelijk is. In de meest waarschijnlijke overstromingsscenario's blijken overstromingen onverwacht op te treden.

De maximale economische schade bij overstroming van een dijkkring varieert van € 160 miljoen in Terschelling tot bijna € 300 miljard in Zuid-Holland. Deze bedragen zijn globaal berekend en geven de schade weer die ontstaat als de gehele dijkkring vol water komt te staan. Voor drie dijkkringen is de gemiddelde schade ook op gedetailleerde wijze berekend. Daarbij is voor verschillende overstromingsscenario's geanalyseerd welk deel van de dijkkring onder water komt te staan en hoeveel schade daarbij ontstaat. Uit deze berekeningen blijkt dat in de meest waarschijnlijke overstromingsscenario's 'slechts' een deel van de dijkkring overstroomt. Alleen in het rivierengebied stroomt de dijkkring vrijwel altijd geheel vol bij een overstroming. De gemiddelde schade in Zuid-Holland bedraagt circa € 6 miljard. De globale methode kan dus tot grote overschatting van de schade leiden, vooral voor grote dijkkringen die door obstakels in compartimenten zijn verdeeld.

Overstromingskansen

Uit de studie blijkt dat de kans op een overstroming in de 16 dijkkringen varieert van 1/2500 per jaar in Zuid-Holland tot groter dan 1/100 per jaar in een aantal dijkkringen in het rivierengebied. Deze getallen geven slechts een indicatie van de werkelijke overstromingskans en zijn nog niet als absolute waarden te beschouwen. Daarvoor is de methode nog niet robuust genoeg. De berekeningen bieden wel de mogelijkheid om te analyseren welke faalmechanismen het sterkst doorwerken in de overstromingskans en wat de zwakste locaties van een dijkkring zijn.

De Deltacommissie heeft in de vijftiger jaren vastgesteld dat extreem hoge waterstanden de grootste kans op een overstroming opleveren. Dat inzicht vormt de basis voor de huidige veiligheidsnormen voor waterkeringen. Uit de resultaten van Veiligheid Nederland in Kaart blijkt dat deze aanname nu niet overal meer van toepassing is. De kans op een overstroming door hoge waterstanden is soms klein in vergelijking met de overstromingskansen door andere faalmechanismen.

In de meeste dijkkringen levert het faalmechanisme "opbarsten en piping" de grootste kans op een overstroming op. Hierbij vormt het water gangen onder de dijk door, waardoor de dijk in elkaar zakt. De grote kansen zijn waarschijnlijk deels het gevolg van onzekerheden over de ondergrond van de waterkeringen. Nader onderzoek op de betreffende locaties kan aantonen of daadwerkelijk sprake is van een relatief zwakke plek. Maar duidelijk is wel dat opbarsten en piping een reëel gevaar vormt in de zandige en kleiige ondergrond in Nederland. Bij ieder hoogwater controleren de waterschappen de waterkeringen intensief op aanwijzingen voor dit fenomeen. Ook zijn zij erop voorbereid om bij aanwijzingen voor piping noodmaatregelen te

treffen, zoals het afdekken met textiel en zandzakken. De effecten van dit menselijk handelen zijn overigens niet meegenomen in de berekening van de overstromingskans.

Ook het faalmechanisme 'niet-sluiten van kunstwerken' leidt in een aantal dijkringen tot een grote overstromingskans. Dit komt in vrijwel alle gevallen doordat sluitingsprocedures niet goed zijn vastgelegd. Deze kans is snel en eenvoudig te verkleinen door procedures alsnog te documenteren en door regelmatig oefeningen te houden. Naar aanleiding van Veiligheid Nederland in Kaart heeft een aantal waterschappen deze maatregelen inmiddels al getroffen.

Overstromingsrisico's

Het overstromingsrisico van een dijkkring is de overstromingsschade vermenigvuldigd met de overstromingskans. Uitgaande van de globale berekening van de maximale overstromingsschade, varieert het risico in de 16 dijkringen van € 0,1 tot 180 miljoen per jaar. In de drie dijkringen waarvoor de schade op gedetailleerde wijze is berekend, variëren de overstromingsrisico's van € 2 tot 37 miljoen per jaar. Het overstromingsrisico is te zien als het bedrag dat jaarlijks gereserveerd zou moeten worden om, op lange termijn bezien, de schade van een overstroming te kunnen compenseren. In dijkringen langs de rivieren zijn de overstromingsrisico's relatief groot. Dat komt ten dele omdat de overstromingskansen langs de rivieren groter zijn. Daarnaast zijn de gevolgen groot, omdat bij overstromingen vrijwel altijd de gehele dijkkring onder water komt te staan. Andere dijkringen overstroomden in de meeste gevallen 'slechts' gedeeltelijk.

Waarde van de getallen en toepassingsmogelijkheden

Veiligheid Nederland in Kaart is een tussenstap in een langer ontwikkeltraject. Voor alle 16 dijkringen zijn de overstromingsrisico's nu op ontwikkelniveau 1 in kaart gebracht. De berekende waarde van de overstromingskans geeft op dit niveau een indicatie van de werkelijke overstromingskans, maar is nog niet als absolute waarde te beschouwen. Wel is het mogelijk om per dijkkring de relatief zwakke plekken en de oorzaken daarvan te traceren. Voor een aantal van deze plekken is het nodig om eerst te onderzoeken of de faalkans daadwerkelijk groot is of het gevolg is van onzekerheden in de gegevens.

Voor drie dijkringen heeft Veiligheid Nederland in Kaart ontwikkelniveau 2 bereikt. Dit zijn de dijkringen waarvoor de gevolgen op gedetailleerde wijze berekend zijn. De resultaten zijn op dit ontwikkelniveau robuust genoeg om overstromingskansen en overstromingsrisico's van gelijksoortige dijkringen onderling te vergelijken. Zodra de overstromingsrisico's van alle dijkringen in het rivierengebied op dit niveau beschikbaar zijn, ontstaat inzicht in de gevolgen van een overstroming en de zwakste schakels binnen het gehele rivierengebied. Ook tussen gelijksoortige dijkringen langs de kust of in het benedenrivierengebied zijn op die manier prioriteiten te stellen.

Ontwikkelniveau 3 is bereikt als in de toekomst de overstromingsrisico's voor alle dijkringen op robuuste wijze in beeld zijn gebracht, met een

aanvaardbaar kleine foutmarge. De overstromingsrisico's van dijkringen in heel Nederland zijn dan onderling vergelijkbaar. Dit niveau is noodzakelijk om een kosten-batenafweging te kunnen maken van investeringen in de bescherming tegen overstromingen en om te evalueren of de huidige norm voldoende bescherming biedt. Ook is het totale overstromingsrisico van Nederland dan in absolute zin te vergelijken met andere groepsrisico's in Nederland.

Conclusies en aanbevelingen

Alle betrokken partijen zijn van mening dat de toegepaste methode meerwaarde heeft. De berekeningen vormen de meest reële weergave van de overstromingskansen met de nu beschikbare kennis. De berekende overstromingskansen zijn echter nog niet robuust genoeg om als absolute waarden te beschouwen. Nader onderzoek en verdere ontwikkeling van de methode kunnen de berekeningen in de toekomst robuuster maken.

Voor de meeste toepassingen is het noodzakelijk om het landelijke beeld van de overstromingsrisico's te completeren. Daarom wordt aanbevolen om de methode ook op de overige 37 dijkringen toe te passen. Voor een goede inschatting van de gevolgen is het noodzakelijk om voor alle dijkringen de gedetailleerde methode te gebruiken. Meer aandacht is daarbij gewenst voor het uitvoeren van kosten-batenanalyses voor de aanpak van relatief zwakke plekken. Voortzetting van de studie vindt met het oog op de vergelijkbaarheid van de uitkomsten bij voorkeur plaats op een gecoördineerde wijze vanuit één centraal punt.

Het mechanisme opbarsten en piping speelt een dominante rol in de huidige overstromingskansen en verdient nader onderzoek. Het onderzoek moet gericht zijn op de methode om de kans op opbarsten en piping te berekenen, het verkleinen van de onzekerheid in de gegevens en de mogelijkheden om de kans op opbarsten en piping te verkleinen. Het is daarbij van belang om de overige faalmechanismen niet uit het oog te verliezen.

1. Inleiding

Het onderzoeksproject "Veiligheid Nederland in Kaart" (VNK) onderzoekt de risico's van grootschalige overstromingen. Daarvoor is het nodig om de kans op een overstroming en de bijbehorende gevolgen te kennen. De definitie van risico is immers de overstromingskans vermenigvuldigd met het bijbehorende gevolg van die overstroming. Na de watersnoodramp in 1953 is de risico aanpak door de Deltacommissie gevolgd, maar in de uitvoering van het plan is de risico aanpak naar de achtergrond verdrongen. Het kabinet heeft in de nota "Anders omgaan met water, waterbeleid voor de 21e eeuw" (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000) gepleit voor meer inzicht in risico's.

1.1 Risico's vragen aandacht

Moderne westerse samenlevingen kunnen gekarakteriseerd worden als samenlevingen waarin risico's enerzijds geminimaliseerd worden, maar waarin anderzijds volop nieuwe risico's aan de horizon verschijnen. Terroristische dreigingen, invloed van gentechologie, de invloed van stofdeeltjes op onze gezondheid en het overvloedig reizen van A naar B zijn voorbeelden van deze risico's. Bij veel van deze activiteiten wordt impliciet een risico-afweging gemaakt: weegt het voordeel van de activiteit op tegen de nadelen? Met een vliegtuig naar Barcelona is goedkoop en snel, maar levert ook een risico op.

Eén van de risico's van het wonen en werken in Nederland is dat het grotendeels kwetsbaar is voor overstromingen en wateroverlast. In de afgelopen eeuwen zijn hiervoor verschillende oplossingen bedacht, met als constante factor de vele dijken, kaden en gemalen. Zonder deze voorzieningen zouden grote delen van Nederland onbewoonbaar zijn. Maar net als de technologische aandacht voor het onderhoud van vliegtuigen om veilig van A naar B te vliegen is ook voortdurend aandacht nodig voor de waterkeringen en de daaraan gekoppelde risico's. Dankzij de grote technologische vooruitgang lijkt het overstromingsrisico van karakter te zijn veranderd: van "natuurramp" (of "act of God") naar een "man-made" ramp (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2004). Het zijn immers door de mens ontworpen en beheerde waterkeringen die voor voldoende bescherming moeten zorgen. Het is dan ook van groot belang om regelmatig te evalueren of we ons wel in voldoende mate bewust zijn van deze risico's en of de bescherming passend is.

In Nederland is de bescherming tegen grootschalige overstromingen bij wet geregeld. In de Wet op de waterkering staan beschermingsniveaus genoemd waaraan de waterkeringen moeten voldoen. Deze beschermingsniveaus zijn gebaseerd op een risicoafweging van de Deltacommissie in de jaren vijftig van de vorige eeuw. Het beschermingsniveau wordt uitgedrukt als de overschrijdingskans van een bepaalde waterstand. De huidige veiligheidsbenadering is vastgelegd in de Wet op de waterkering (1996). De veiligheidsnorm is in deze wet als volgt gedefinieerd: "Op een bij deze wet behorende bijlage is voor elk dijkkringgebied de veiligheidsnorm aangegeven als gemiddelde overschrijdingskans - per jaar - van de hoogste

hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren”.

De dijkringen zijn weergegeven in Figuur 1-1. Voor elke dijkkring is de veiligheidsnorm aangegeven. De normen variëren voor dun bevolkte dijkkringgebieden en dijkkringgebieden met een kleinere te beschermen economische waarde. Voor de dijkringen langs het bovenstroomse deel van de Maas gelden maatgevende waterstanden met overschrijdingskansen van 1/250, in het bovenrivierengebied 1/1250, in het overgangsgebied 1/2000, voor de dijkringen langs de kust (exclusief Noord- en Zuid-Holland) 1/4000 en voor Noord- en Zuid-Holland, de dichtbevolkte Randstad en het economisch hart van Nederland, 1/10.000.



Figuur 1-1 De 99 dijkringgebieden in de ontwerp Wet op de waterkering (2005). De dijkringgebieden langs de Maas ten zuiden van Nijmegen zijn in 2005 toegevoegd in de ontwerp Wet op de waterkering, en vallen buiten de selectie van VNK.

De minister van Verkeer en Waterstaat geeft leidraden uit waarin is beschreven aan welke eisen het ontwerp moet voldoen. Volgens de leidraden moet de kruin van de dijk minimaal een halve meter hoger zijn dan de maatgevende waterstand. De leidraad geeft niet alleen regels voor hoogte maar ook voor de sterkte van waterkeringen. Ieder faalmechanisme wordt daarbij afzonderlijk bekeken. De leidraad is van toepassing bij ontwerp en versterking van dijken.

De Wet op de waterkering vereist dat het ministerie van Verkeer en Waterstaat iedere vijf jaar toetst of de maatgevende waterstanden, door bijvoorbeeld klimaatveranderingen, zijn veranderd. Op basis daarvan stelt Rijkswaterstaat vast aan welke hydraulische randvoorwaarden de waterkeringen in de volgende vijf jaar moeten voldoen. De waterbeheerders toetsen vervolgens per dijkvak of de waterkeringen voldoen aan de hydraulische randvoorwaarden en rapporteren over de resultaten aan de minister van Verkeer en Waterstaat. In de recente wijziging van de Wet op de waterkering is opgenomen dat de minister van Verkeer en Waterstaat iedere tien jaar rapporteert over de doeltreffendheid van de veiligheidsnormen.

In de huidige wettelijke normen is alleen het overschrijden van de maatgevende waterstand in een kans uitgedrukt (faalmechanisme overloop en golfoverslag). Het optreden van andere faalmechanismen wordt niet in kansen uitgedrukt. De wettelijk norm is niet de totale overschrijdingskans voor de hele dijkkring, maar voor een dijkvak van enkele honderden tot duizenden meters. Om deze redenen komt de huidige overschrijdingsnorm niet overeen met de overstromingskans van een dijkkring. De andere faalmechanismen worden overigens wel in beschouwing genomen bij het ontwerpen en het toetsen van de waterkering.

Het begrip kans blijkt in de praktijk voor veel mensen een lastig hanteerbaar begrip. Zeker wanneer het gaat om kleine kansen in de orde van 1/1000 of 1/10.000 per jaar; deze gaan het voorstellingsvermogen te boven. Uitgedrukt als 1 of 5% kans in een mensenleven wordt het begrip kans al beter te bevatten. Wanneer kansen groter worden (bijv. 1/5 of 1/10 per jaar) kunnen mensen vrij goed met het begrip kans omgaan. Wanneer in de vorige eeuw zo'n 10 Elfstedentochten zijn gereden dan is eenvoudig uit te leggen dat de gemiddelde kans op een Elfstedentocht zo'n 1/10 per jaar bedraagt. En dat een gemiddelde kans van 1/10 per jaar niet hetzelfde is als eens per 10 jaar, is met enig historisch besef ook wel te begrijpen. Het is tenslotte voorgekomen dat een tocht in twee opeenvolgende jaren werd verreden, terwijl het na de barre tocht van 1963 bijna 25 jaar heeft geduurd voor de eerstvolgende tocht werd verreden. Deze grilligheden van het verschijnsel kansrekening blijven ook gelden als de kansen een factor 100 of 1000 kleiner zijn. Die kleine kansen kunnen in dit geval - anders dan bij de kans op een Elfstedentocht - niet direct uit waarnemingen worden bepaald. De kans op zeldzame gebeurtenissen kan alleen door extrapolatie worden afgeleid. Het begrip 'kans' blijft dan ook een lastig begrip; het is evenwel een wezenlijk onderdeel van het begrip risico.

1.2 Aanleiding van de studie

Hogere waterstanden en krachtigere golven op de dijken en duinen en de steeds grotere gevolgen van een dijkdoorbraak vragen om een proactief beleid om de veiligheid tegen overstromingen op peil te houden. Het kabinetsstandpunt "Anders omgaan met water" over het waterbeleid in de 21^e eeuw gaat uit van het anticiperen op de toename van de kansen (klimaatverandering) en gevolgen (meer inwoners) van een overstroming. Daarom is het van belang de kansen op een overstroming en de gevolgen van een overstroming zo goed mogelijk in beeld te hebben. Het risico is het product van de overstromingskans en de gevolgen van de bijbehorende overstroming. Ook wordt in het kabinetsstandpunt "Anders omgaan met water" aangegeven dat de bevolking geïnformeerd wordt over de risico's van het leven in een delta. Tenslotte wil het kabinet de kosten en baten van investeringen in veiligheid tegen overstromingen inzichtelijker hebben.

Samengevat is kennis op het gebied van de huidige en toekomstige overstromingskansen en de gevolgen van groot belang om de veiligheidsbenadering actueel te houden. De kennis is nodig om een zo goed mogelijke benadering van de huidige overstromingsrisico's te verkrijgen. Dit is noodzakelijk om heldere en onderbouwde keuzes te kunnen maken in het maatschappelijk en politiek gewenste veiligheidsniveau tegen overstromen (het afwegen van kosten en baten van verdergaande investeringen in veiligheid).

Op technisch gebied is in 1992 de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) gestart met het uitwerken van een nieuwe veiligheidsbenadering in het onderzoeksprogramma "Overstromingsrisico's: een studie naar kansen en gevolgen". Het doel van het onderzoeksprogramma is te komen tot een veiligheidsbenadering waarbij kansen op en gevolgen van overstromingen in samenhang worden beschouwd.

In juni 2000 rondde de TAW het rapport 'Van overschrijdingskans naar overstromingskans' (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2000) af. Hierin is met succes een nieuwe methode getest voor het berekenen van de overstromingskansen en het verkrijgen van inzicht in de relatief zwakke plekken van een dijkring. Een belangrijke conclusie was dat kunstwerken een relatief zwakke plek kunnen zijn in een dijkring, maar dit was echter niet met zekerheid vast te stellen. Vervolgens besloot de toenmalige staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat berekeningen te laten maken voor de overstromingskansen en risico's van alle dijkringgebieden.

Voordelen van de risico-benadering

Het berekenen van de overstromingsrisico's heeft de volgende voordelen:

1. Voorbereiding op de vraag of Nederland veilig genoeg is. De politiek (het kabinet en de Tweede Kamer) dient deze vraag in principe te beantwoorden. Voor een goede beleidsdiscussie kan het van belang zijn om inzicht te hebben in de huidige risico's

- en in de kosten en overige effecten van maatregelen om de kansen te verkleinen en de gevolgen te beperken;
2. Prioritering van maatregelen om de veiligheid te verbeteren. Inzicht in de kosten en baten van maatregelen biedt de mogelijkheid om op basis hiervan te prioriteren in de te nemen maatregelen;
 3. Inzicht in de relatief zwakke plekken in dijkringen. Een risico-analyse van dijkringen geeft inzicht in de bijdrage van afzonderlijke factoren die het risico bepalen;
 4. Bijdrage aan rampenbeheersing. Grootschalige overstromingen zijn rampen. Om voorbereid te zijn op dergelijke rampen is inzicht nodig in het verloop van een overstroming en in de risico's.

1.3 Doelstelling VNK

Het project VNK heeft in 2001 als doel geformuleerd: "inzicht krijgen in de overstromingskansen in Nederland, in de gevolgen van overstromingen en in de onzekerheden die bij het bepalen van de kansen en gevolgen een rol spelen. Op basis van dit inzicht ontstaat zicht op de zwakke plekken in de dijkringen en worden de overstromingsrisico's in kaart gebracht" (Projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2001).

De opdracht voor Veiligheid Nederland in Kaart bleek ambitieus te zijn. Ondanks het feit dat Nederland voorop loopt in kennis over overstromingen, blijft het moeilijk om faalmechanismen van overstromingen in hanteerbare rekenmodellen te vertalen. Het toepassen van nieuwe methoden voor het bepalen van de overstromingskansen en gevolgen op de grote lengte aan waterkeringen heeft meer tijd en inspanning gekost dan voorzien, onder meer omdat de benodigde gegevens over de dijken niet altijd voorhanden waren. Ook is veel energie gestoken in het ontwikkelen en toepassen van een beoordelingsmethode voor de problematiek van kunstwerken.

Het project is begonnen met zes dijkringen in het rivierengebied, de zogenaamde koplopers. Oorspronkelijk was het doel van VNK om vervolgens voor alle dijkringen in Nederland risico's te bepalen. In de loop van het project is het doel aangepast en is besloten om voor zestien dijkringen de risico's te bepalen. Vervolgens zijn tien dijkringen zo gekozen dat zij, samen met de zes koplopers, een representatief beeld van de Nederlandse dijkringen geven en zo veel mogelijk verschillende kenmerken weerspiegelen. De gekozen dijkringen liggen langs de Hollandse en Zeeuwse kust, in het benedenrivierengebied, het bovenrivierengebied, langs het IJsselmeer en Markermeer en in de Waddenzee. Tot de gekozen dijkringen behoren grote en dichtbevolkte dijkringen en kleinere dijkringen met minder inwoners.

1.4 Aanpak in VNK

Voor de realisatie van de doelstellingen zijn binnen het project Veiligheid Nederland in Kaart vier sporen onderkend, te weten:

1. de overstromingskansen bepalen voor 16 dijkkringgebieden;
2. inzicht geven in de daadwerkelijke problematiek van kunstwerken;
3. inzicht geven in de mogelijke gevolgen van overstromingen;
4. een beeld geven van de grootte van diverse typen onzekerheden en hoe hiermee om te gaan.

Om de overstromingskansen, gevolgen en risico's in beeld te kunnen brengen is een geschikte rekenmethode nodig. Binnen VNK is verder gewerkt aan de in 2000 beschikbaar gekomen nieuwe methode van de TAW voor het berekenen van kansen, gevolgen en risico's van overstromingen. Nevendoel van het project is om de eerder opgedane kennis inzake de methode voor het bepalen van overstromingskansen en de risicogedachte uit te dragen en te verspreiden onder betrokken overheden en marktpartijen.

De uitkomsten van VNK maken deel uit van een lange termijn proces dat in 2001 is aangevangen. Hierbij wordt stap voor stap een nieuwe manier van denken over veiligheid tegen overstromingen ontwikkeld. De bruikbaarheid van de uitkomsten van deze fase van VNK moeten bezien worden binnen de context van de binnen het project gedefinieerde en met de Tweede Kamer gecommuniceerde drie ontwikkelniveaus. De onderscheiden ontwikkelniveaus zijn:

Ontwikkelniveau 1:

De berekende waarde van de overstromingskans geeft in deze fase een indicatie van de werkelijke overstromingskans, maar is nog niet als absolute waarde te beschouwen. Wel is het mogelijk om aan te geven wat de zwakste plekken binnen de dijkkring zijn en welke faalmechanismen daar verantwoordelijk voor zijn. De beheerder kan met die informatie op een onderbouwde manier prioriteiten stellen in het onderhoud van een dijkkring.

Ontwikkelniveau 2:

Op dit niveau zijn de overstromingskansen en de gevolgen van overstromingen met gelijksoortige dijkkringen te vergelijken. Zodra de overstromingskansen van meerdere dijkkringen in bijvoorbeeld het rivierengebied op dit niveau beschikbaar zijn, ontstaat inzicht in de zwakste plekken binnen het gehele rivierengebied. Ook tussen gelijksoortige dijkkringen langs de kust of in het benedenrivierengebied zijn op die manier vergelijkingen te maken en prioriteiten te stellen in de uitvoering van maatregelen.

Ontwikkelniveau 3:

Het laatste niveau levert robuuste waarden van overstromingskansen en gevolgen, met een aanvaardbaar kleine foutmarge. Dit niveau is noodzakelijk om een kosten-batenafweging te kunnen maken van

investerings in de bescherming tegen overstromingen en om te evalueren of de huidige norm voldoende bescherming biedt.

Veiligheid Nederland in Kaart heeft voor 13 dijkringen de overstromingsrisico's op het eerste niveau in beeld gebracht. Voor drie dijkringen zijn de overstromingsrisico's op het tweede niveau in beeld gebracht. De uitkomsten van Veiligheid Nederland in Kaart zijn dus nog niet als robuuste getallen te beschouwen, maar geven wel een eerste indruk van de overstromingsrisico's in Nederland.

1.5 Betrokkenen

Opdrachtgever

De opdrachtgever voor het studieproject VNK is het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, directoraat-generaal Water. De coördinatie van het omvangrijke project is in handen van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, die daarvoor een speciaal projectbureau heeft opgericht.

Waterschappen en provincies

Binnen het project VNK is intensief samengewerkt met de waterschappen en de provincies. De waterschappen zijn als waterkeringbeheerders verantwoordelijk voor de veiligheid van de dijkringen in hun beheersgebied. Zij leveren gegevens over de eigenschappen van dijken, duinen en andere waterkerende objecten. De provincies zijn als toezichthouders op de waterschappen betrokken en leveren hun bijdragen aan het inventariseren van de mogelijke gevolgen.

Kennisontwikkeling en kennispreiding

Aan de ontwikkeling van de methoden is bijgedragen door medewerkers van Rijkswaterstaat, kennisinstituten en specialistische adviesbureaus. De berekeningen zijn grotendeels uitgevoerd door medewerkers van een aantal, via een Europese aanbesteding geselecteerde, ingenieursbureaus.

Kwaliteitsborging

De vakinhoudelijke kwaliteitsborging van het project VNK is uitgevoerd door de TAW (vanaf 1 juli 2005 het ENW: Expertise Netwerk Waterkeren).

De voor het project VNK samengestelde TAW-kwaliteitsgroep heeft toegezien op de procesmatige kant. De TAW-kwaliteitsgroep had als doel het toetsen van de kwaliteit van de instrumenten en aangeven van potentiële maatschappelijke en beleidsmatige implicaties van de integrale rapporten betreffende overstromingskansen en de gevolgen van overstroming. Onder instrumenten worden alle methoden, procedures en handleidingen verstaan die voor VNK zijn gebruikt.

De werkgroep Veiligheid van de TAW heeft vanaf september 2004 de vakinhoudelijke methoden en de behaalde resultaten gereviewd.

1.6 Vijfjaarlijkse Toetsing van Waterkeringen

Conform de Wet op de waterkering worden alle primaire waterkeringen om de vijf jaar door de waterschappen getoetst en wordt bezien of ze nog aan de huidige wettelijke norm voldoen. Uitvoeren van de toetsing geeft informatie over de vraag of een bepaalde waterkering aan de huidige wettelijke norm voldoet. De vijfjaarlijkse toetsing kan worden beschouwd als een beleidsevaluerend instrument.

Het berekenen van de overstromingskansen binnen VNK heeft een nauwe relatie met deze veiligheidstoets. Veel van de gegevens benodigd voor de toetsing zijn ook nodig voor het maken van de kansberekeningen. Echter, voor het uitvoeren van kansberekeningen binnen VNK zijn vaak meer gegevens nodig dan in de toetsing, en in de kansberekeningen wordt de onzekerheid groter naarmate er minder gegevens zijn. Daarmee worden dan vervolgens relatief grote kansen bepaald. In de Toetsing zouden vakken waarvoor te weinig gegevens beschikbaar zijn niet worden “goedgekeurd” of “afgekeurd”, maar het resultaat “geen oordeel” krijgen. De resultaten uit de vijfjaarlijkse Toetsing hoeven dan ook niet volledig te sporen met de VNK uitkomsten. Wel mag worden verwacht dat ‘afgekeurde’, nog niet verbeterde, waterkeringen uit de Toetsing een relatief hoge bijdrage leveren aan de overstromingskans. Aan de hand van de resultaten van de Toetsing worden voor de ‘afgekeurde’ waterkeringen maatregelen genomen zodat weer aan de huidige wettelijke norm wordt voldaan. In 2006 komen de resultaten van de twee toetsingsronde beschikbaar.

1.7 Projecten gericht op overstromingsrisico's

In het onderzoeksproject “Veiligheid Nederland in Kaart” is een nieuwe methode toegepast om overstromingsrisico's te berekenen. Omdat de aanpak nieuw is komen de resultaten van deze studie niet volledig overeen met uitkomsten van andere studies. Deze andere studies zijn veelal gebaseerd op andere uitgangspunten en verkeren in een ander stadium in de beleidscyclus. In bijlage C wordt ingegaan op het verschil in aanpak tussen een aantal andere studies en projecten en de relatie met VNK.

1.8 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de methode die in VNK gebruikt is voor het bepalen van overstromingskansen, de gevolgen van overstromingen en de risico's. Hoofdstuk 3 belicht de uitkomsten van de toepassing van de methode. Hoofdstuk 4 geeft een nadere analyse van de resultaten, en geeft de bruikbaarheid van de methode aan. Tenslotte worden in hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen gegeven.

2. Beschrijving van de methode

Voor het berekenen van de overstromingsrisico's is het nodig om de gevolgen van overstromingen en de overstromingskansen te bepalen. Het is niet mogelijk om voor de overstromingskansen de veiligheidsnormen uit de Wet op de waterkering te gebruiken, omdat in deze normen slechts enkele factoren zijn opgenomen die de kans op een overstroming bepalen. Alle andere factoren zijn impliciet meegenomen. In een risicoanalyse dienen echter alle relevante factoren opgenomen te worden. Het is nieuw om deze factoren in de analyse te betrekken, en ook om expliciet de gevolgen van een overstroming mee te nemen.

2.1 De methode in hoofdlijnen

In het onderzoeksproject Veiligheid Nederland in Kaart staan overstromingsrisico's centraal. Daarbij wordt als definitie van risico gehanteerd:

*Overstromingsrisico = Gevolgen van overstroming * Overstromingskansen*

Het overstromingsrisico is over heel lange termijn bezien het gemiddelde gevolg per jaar van overstromingen. De gevolgen van een overstroming hebben vele dimensies. In VNK is ervoor gekozen om twee dimensies centraal te stellen: 'economische schade' en 'aantallen slachtoffers'. Het risico wordt over het algemeen uitgedrukt in een geldbedrag en het aantal slachtoffers per jaar.

De risico's worden voor elke individuele dijkkring apart berekend. Dit betekent dat eventuele afhankelijkheid tussen dijkkringen niet in de bepaling van het risico is betrokken. Deze afhankelijkheid speelt vooral in het rivierengebied, omdat hier een doorbraak van een waterkering invloed kan hebben op de overstromingskansen van andere nabijgelegen dijkkringgebieden. Een overstroming in het rivierengebied kan bijvoorbeeld als gevolg hebben dat stroomafwaarts de waterstand daalt. De overstromingskans van de stroomafwaarts gelegen dijkkring zal daardoor afnemen. Maar een overstroming kan ook tot kortsluiting tussen twee rivieren leiden waardoor één van de rivieren veel meer water te verwerken krijgt. Daardoor neemt de overstromingskans toe. Het effect van deze samenhang ("systeemwerking") is moeilijk te voorspellen. Ook in de huidige (ontwerp- en toets-) praktijk wordt geen rekening gehouden met systeemwerking.

Overstromingskansen en gevolgen

Voor het bepalen van de **gevolgen** van een overstroming is er binnen VNK aandacht besteed aan het bepalen van het aantal slachtoffers, de economische schade, schade aan landschap, natuur en cultuur (LNC) en aan milieuschade. Kennis met betrekking tot de bepaling van deze effecten is lastig te valideren, vooral ook omdat er weinig praktijkgegevens voor handen zijn. De methoden voor het bepalen van de effecten van een overstroming zijn dan ook vooral gebaseerd op de ervaringen van de watersnoodramp uit 1953 en op ervaringen uit het buitenland. In het project VNK zijn grote vorderingen geboekt met het definiëren van mogelijkheden van evacuatie (nieuwe evacuatiemodule:

hoe snel kan een bevolking worden geëvacueerd) en mogelijke overstromingsscenario's (hoe en hoe snel stroomt het water het dijkkringgebied in en welke inundatiedieptes treden daarbij op). Op basis van deze scenario's kan het aantal slachtoffers en de economische schade worden bepaald. Ook is het mogelijk om op basis van de overstromingsscenario's een betere onderbouwing te maken voor calamiteiten plannen, omdat deze inzicht geven in de kritieke locaties en kritieke vluchtroutes.

Voor de bepaling van de **overstromingskans** wordt de dijkkring opgevat als een keten bestaande uit schakels. De dijkkring wordt daartoe opgedeeld in drie typen waterkeringen: dijken, duinen en kunstwerken. Vervolgens worden de dijken en duinen onderverdeeld in vakken. Een vak is een deel van een waterkering met min of meer gelijke sterkte-eigenschappen en belasting. Naast de opdeling in typen waterkeringen worden ook verschillende manieren waarop een dijk kan falen onderscheiden. Hier wordt in 2.3.4 verder op ingegaan.



Figuur 2-1 Dijkkring als een keten met verschillende schakels

Conservatieve aannames

Bij gebrek aan kennis of wanneer er onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om berekeningen uit te voeren heeft VNK de onzekerheid expliciet meegenomen in de berekening via onzekerheidsverdelingen, óf, als dit niet mogelijk was, door conservatieve aannames te doen. De consequentie van beide werkwijzen is dat de overstromingsrisico's mogelijk iets worden overschat en dat de overstromingskans groter wordt ten opzichte van de situatie dat de kennisonzekerheid niet meegenomen wordt.

In dit hoofdstuk zal nader worden ingegaan op de gegevens en de methode voor het bepalen van de gevolgen van overstromingen (slachtoffers, economische schade, LNC en milieu) en de overstromingskansen.

2.2 Bepaling van gevolgen van een overstroming

2.2.1. Hoofdlijnen

In VNK is onderzoek gedaan naar de gevolgen van een overstroming. Een overstroming vanuit zee, meer of rivier zal veelal het karakter van een grootschalige ramp hebben. Deze gevolgen hebben vele dimensies. Er is gekozen om de meeste aandacht te besteden aan de economische schade en aantallen slachtoffers. Daarnaast is beperkt aandacht besteed

aan schade aan Landschap-, Natuur- en Cultuur- (LNC-) aspecten en milieuschade.

Voor het berekenen van de gevolgen van een overstroming is inzicht nodig in de hydrodynamische aspecten van een overstroming. Deze aspecten worden met behulp van 'overstromingsscenario's' in beeld gebracht. Met een overstromingsscenario wordt het overstromingspatroon bedoeld nadat ergens in de dijkkring een bres (of mogelijk meerdere bressen) is opgetreden. Er zijn voor een dijkkring vele verschillende overstromingsscenario's mogelijk. Binnen VNK is onderzoek gedaan naar een methode om deze scenario's zo goed mogelijk in beeld te brengen. Naast de grootte van de bres en het aantal bressen is de hoeveelheid beschikbaar water een belangrijke grootte bij het bepalen van de gevolgen van een overstroming. Immers, hoe meer water hoe groter de overstromingsdiepte en hoe groter de schade en de kans op verlies van mensenlevens.

In deze paragraaf wordt allereerst aandacht besteed aan de overstromingsscenario's. Vervolgens wordt aandacht besteed aan de bepaling van de economische schade en slachtoffers, de LNC-aspecten en de milieuschade.

2.2.2. Overstromingsscenario's

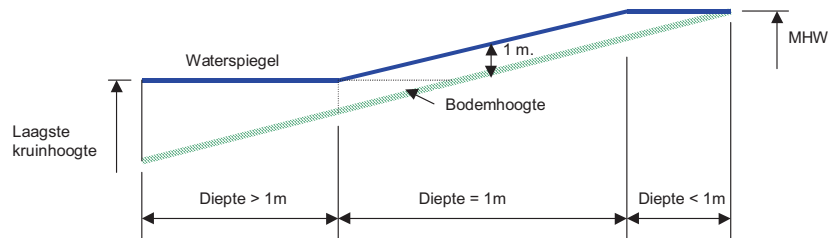
In VNK zijn twee methoden toegepast om overstromingsscenario's te definiëren. Deze methoden worden aangeduid met 'globaal' en 'gedetailleerd'. In de globale aanpak wordt een 'worst case' overstromingssscenario gedefinieerd, waarmee op een eenvoudige manier de schade bepaald kan worden. Vanwege het ontbreken van essentiële hydrodynamische parameters (bijvoorbeeld de stijgsnelheid van het water) kan in deze aanpak het aantal slachtoffers niet betrouwbaar worden bepaald. In de globale aanpak hoeft niet de locatie van de bres te worden aangegeven, maar wordt aangenomen dat er genoeg water is om het hele dijkkringgebied onder water te zetten. In de gedetailleerde methode daarentegen wordt met behulp van een hydrodynamisch model het overstromingspatroon berekend. Hiervoor is gebruik gemaakt van SOBEK 1D-2D (WL, 2003), ontwikkeld door WLIDelft Hydraulics.

Globale overstromingsscenario's

De werkwijze van de globale aanpak is beschreven in het VNK rapport "Globale schadeberekening" (projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2005). In de globale methode wordt de waterdiepte (die van belang is voor het bepalen van de schade) bepaald aan de hand van een overstromingsscenario dat ontstaat bij de volgende uitgangspunten:

- de dijkkringgebieden zijn als één geheel beschouwd (dus geen aparte compartimenten);
- per dijkkringgebied wordt een waterspiegel opgelegd die gelijk is aan de laagste kruin van de dijkkring (of in speciale gevallen het hoogste toetspeil binnen het dijkkringgebied);
- er is voldoende water om de dijkkring geheel onder water te zetten.

Voor hellende gebieden is nog een aanvullende aanname gebruikt: hier wordt in het hellende deel een waterdiepte gehanteerd van 1 meter. In dijkringen met hellende gebieden (bijvoorbeeld het rivierengebied) wordt als het ware ervan uitgegaan dat de dijkkring vanuit het meest bovenstroomse punt van de dijkkring overstroomt (Figuur 2-2).



Figuur 2-2 Schematische weergave van bepaling overstroomingsdiepte bij globale gevolgbeoordeling

Opgemerkt wordt dat de overstroomingsdiepte met de globale methode een (soms ruime) bovengrens van deze diepte geeft. Uit VNK onderzoek (projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2005) is gebleken dat voor de dijkkringgebieden langs de kust en de meren het zeer onwaarschijnlijk is dat zoveel water het gebied binnenstroomt als is aangenomen in de globale scenario's. Wel geeft deze aanpak een indruk van de kwetsbare locaties, en dat zijn veelal de dieper gelegen gebieden.

Gedetailleerde overstroomingsscenario's

Voor de bepaling van waterdieptes (en andere kenmerken die de schade bepalen) wordt in de gedetailleerde aanpak gebruik gemaakt van het hydrodynamisch model SOBEK 1D-2D. Hiermee kan het gedrag van een watersysteem gesimuleerd worden, waarbij zich overstromingen over land voordoen. Het rekenmodel bestaat uit een tweedimensionaal stromingsmodel, en kan gekoppeld worden aan een ééndimensionaal stromingsmodel om de waterlopen in het overstroomde gebied te schematiseren. Op deze manier kunnen de gevolgen van een bres in de waterkering goed worden berekend. Er is echter in het algemeen geen manier om de uitkomsten van de berekening te valideren met meetgegevens, omdat deze gegevens niet voorhanden zijn: er vinden weinig overstromingen plaats in Nederland. Wel is onderzocht of gegevens van overstromingen uit het verre verleden met het model kunnen worden gereproduceerd. Dit bleek het geval te zijn zodat geconcludeerd mag worden dat het model geschikt is om overstromingen te simuleren. Ook zijn de uitkomsten voorgelegd aan medewerkers van de provincies en waterschappen die correcties op basis van hun gebiedskennis hebben gegeven.

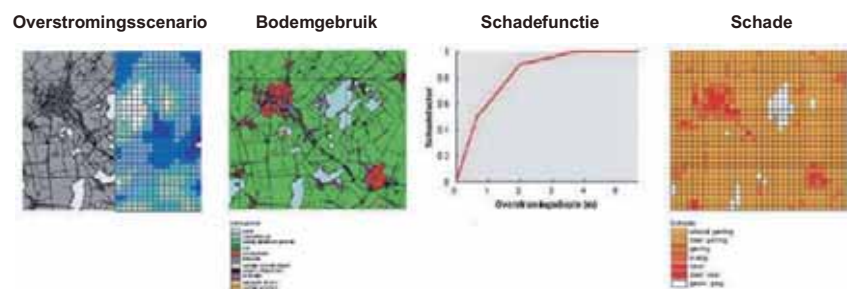
Voor het uitvoeren van een overstroomingsberekening zijn veel gegevens nodig. Het gaat dan om een schematisatie van het gebied (hoogteligging, grondgebruik, ligging van waterlopen en mogelijke obstakels, zoals boezemkaden en compartimenteringsdijken), locatie van de bres(sen) en de hydraulische belastingen (hoogte en duur van het hoogwater).

Voor het bepalen van de locaties van de bressen en de hydraulische belastingen is gebruik gemaakt van de uitkomsten van de faalkansberekeningen (zie paragraaf 2.3). Uit deze berekeningen met PC-Ring kan per dijkvak, duinvak en kunstwerk de faalkans bepaald worden. Met behulp van dit inzicht in de meest kwetsbare plekken worden meerdere locaties gekozen met behulp van een speciaal daarvoor ontwikkeld programma ("ScenarioKans", zie Thonus, Vrouwenvelder en Steenberg, 2004). Hierbij kunnen ook meervoudige doorbraken optreden. Deze meervoudige doorbraken zorgen voor meer schade dan een enkele doorbraak omdat bij een meervoudige doorbraak meer water in het dijkkringgebied stroomt. Per watersysteem is bekeken óf er mogelijk meervoudige doorbraken kunnen plaatsvinden. Ook is berekend wat de kans van het optreden van meervoudige doorbraken is. De hydraulische belasting tijdens een berekening van een overstromingsscenario wordt ook uit PC-Ring bepaald op basis van de meest waarschijnlijke combinatie van belasting- en sterkteparameters.

2.2.3. Bepaling van de economische overstromingsschade

De uitkomsten van de overstromingsberekeningen worden gebruikt om de economische schade als gevolg van een overstroming te berekenen. De overstromingsdiepte is de belangrijkste parameter die de schade bepaalt. Binnen VNK is gebruik gemaakt van de zogenaamde HIS Schade en Slachtoffermodule (versie 2.1), waarbij HIS staat voor Hoogwater Informatie Systeem (Huizinga et al, 2004). Voor elke locatie is de schade bepaald aan de hand van het grondgebruik en een schadefunctie. Deze functie schrijft voor welke schade optreedt als functie van de overstromingsdiepte.

De methode is schematisch weergegeven in Figuur 2-3. Zoals uit deze figuur blijkt is de methode gebaseerd op geografische informatie. Voor de bepaling van de schade per dijkkringgebied wordt dan ook gebruik gemaakt van een Geografisch Informatie Systeem (GIS).



Figuur 2-3 Stroomschema Schadeberekening

De vier stappen uit Figuur 2-3 zijn:

1. Bepaling van het overstromingsscenario: als invoer is de overstromingsdiepte nodig, en deze kan worden bepaald uit een overstromingsscenario uit de hierboven beschreven globale aanpak of uit de gedetailleerde aanpak;
2. Bepaling van het grondgebruik: voor geheel Nederland zijn de verschillende bodemgebruiksvormen in kaartvorm beschikbaar;

3. Voor alle soorten grondgebruik zijn schadefuncties gedefinieerd. Elke schadefunctie bestaat uit een maximaal schadebedrag en een schadefactor. Het maximale schadebedrag is de maximale schade die bij een overstromingsscenario kan optreden en is gebaseerd op de vervangingswaarde. De schadefactor is een getal tussen 0 en 1 en is een functie van de overstromingsdiepte en stroomsnelheid;
4. De schade wordt berekend door per bodemgebruiksvorm in een rekencel de overstromingsdiepte, stroomsnelheid en de schadefunctie te combineren.

Bij het bepalen van de schade wordt onderscheid gemaakt in drie verschillende categorieën schade:

1. Directe schade – materieel;
Onder directe materiële schade verstaan we de schade die optreedt aan objecten, kapitaalgoederen en roerende goederen vanwege het directe contact met water. Hiertoe behoren:
 - Herstelschade aan onroerende goederen in eigendom of huur: erven en opstallen;
 - Herstelschade aan productiemiddelen, zoals machinerie, apparatuur, procesinstallaties en transportmiddelen;
 - Schade aan inboedels;
 - Schade door het verloren gaan van roerende goederen, zoals grondstoffen, hulpstoffen en producten (inclusief schade aan oogst).
2. Directe schade - door bedrijfsuitval;
De tweede categorie directe schade is gedefinieerd als de schade vanwege bedrijfsuitval, d.w.z. de zakelijke verliezen door productiestilstand.
3. Indirecte schade.
De indirecte schade bestaat uit de schade bij toeleverende en afnemende bedrijven buiten het overstroomde gebied, en reistijdverlies door uitval van (spoor)wegen in het overstroomde gebied.

Uitvoer van de HIS Schade en Slachtoffermodule zijn kaarten die per overstromingsscenario de schade aangeven.

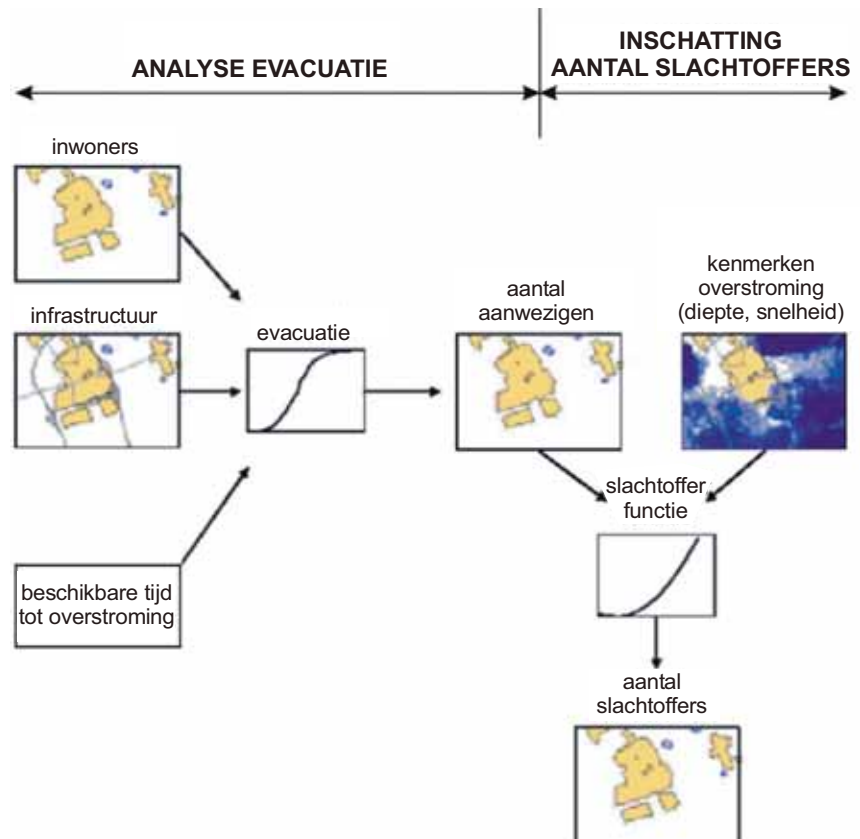
2.2.4. Bepaling van aantal slachtoffers

Ook het aantal slachtoffers wordt bepaald op basis van de volgens paragraaf 2.2.2 bepaalde hydrodynamische aspecten van een overstroming.

Het bepalen van het aantal slachtoffers is schematisch weergegeven in Figuur 2-4. De volgende twee stappen worden globaal onderscheiden:

1. Analyse van evacuatie, vluchten en aanwezigheid van personen in het gebied;
2. Schatting van het aantal slachtoffers onder de aanwezigen in het gebied.

Voor de bepaling van het aantal slachtoffers is gebruik gemaakt van HIS Schade- en Slachtoffermodule (versie 2.1).



Figuur 2-4 Stroomschema Slachtofferbepaling

In de eerste stap wordt het aantal personen bepaald dat nog aanwezig is in het gebied ten tijde van de overstroming. Evacuatie is een van de maatregelen om het aantal getroffen personen en daarmee het aantal slachtoffers bij een overstroming te beperken. De mogelijkheden voor evacuatie zijn afhankelijk van de beschikbare tijd tot dijkdoorbraak en de benodigde tijd voor evacuatie.

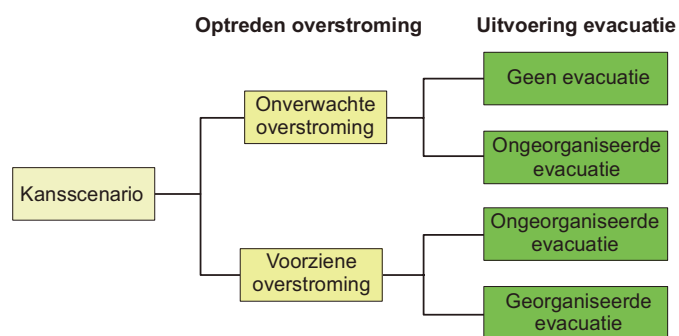
De **beschikbare tijd** betreft de tijdsspanne tussen (de detectie of voorspelling van) een kritieke situatie en de werkelijke dijkdoorbraak. De beschikbare tijd zal ten eerste afhangen van de mogelijkheden tot voorspellingen in het beschouwde watersysteem (zee, meer, boven- of benedenrivier). Een extreem hoge waterstand op de rivieren dient zich vaak een aantal dagen van tevoren aan. Een hoge waterstand op zee is vaak veel korter van tevoren voorspelbaar. Daarnaast zijn de voorspelbaarheid van het optreden van een bepaald faalmechanisme en de snelheid waarmee de dijk volgens dat faalmechanisme bezwijkt van belang.

De **benodigde tijd** is de tijd die nodig is om een volledige evacuatie te realiseren. Hierbij worden 4 verschillende fasen onderscheiden:

1. besluitvormingsfase;
2. waarschuwingfase;
3. responsfase;
4. de daadwerkelijke evacuatie (bewoners verlaten het gebied).

Voor de benodigde tijdsduur voor fasen 1 (besluitvorming) en 2 (waarschuwing) is op basis van literatuurwaarden (Frieser, 2004) een inschatting gemaakt. Met behulp van de in VNK ontwikkelde evacuatie calculator (Universiteit Twente, 2004) is de tijdsduur benodigd voor fase 3 (respons) en 4 (daadwerkelijke evacuatie) bepaald. Uiteindelijk is een zogenaamde evacuatie curve af te leiden die als functie van de tijd aangeeft hoeveel mensen er uit het gebied vertrokken zijn.

Op basis hiervan is per locatie het aantal aanwezige personen af te leiden bij een gegeven doorbraak inclusief voorspeltijd. De beschikbare tijd hangt sterk samen met het al dan niet onverwacht optreden van een overstroming. De benodigde tijd is sterk afhankelijk van de mate van organisatie van een evacuatie, aangezien deze effectiever verloopt naarmate deze beter georganiseerd is. Op basis hiervan zijn de volgende vier situaties onderscheiden die zijn getoond in Figuur 2-5.



Figuur 2-5 Beschouwde situaties voor de bepaling van het aantal aanwezigen in de dijkkring en de inschatting van het aantal slachtoffers

Voor ieder van deze situaties is de beschikbare en benodigde tijd bepaald. Per geval is een inschatting gemaakt van het deel van de bevolking dat nog aanwezig is in de dijkkring. Verder is aangenomen dat inwoners van hoogbouw veilig zijn en zodoende niet direct zijn blootgesteld aan de overstroming. Op basis van het aantal aanwezigen en de overstromingskenmerken is het aantal slachtoffers ingeschat.

Het aantal slachtoffers is geschat op basis van drie zones binnen de dijkkring (Jonkman, 2004):

1. slachtoffers in de zone gekarakteriseerd door grote stroomsnelheden waardoor bebouwing en personen nabij de bres worden weggespoeld;
2. slachtoffers in de zone gekarakteriseerd door grote stijgsnelheden waardoor mensen weinig mogelijkheden hebben om te vluchten naar hogere verdiepingen en andere schuilplaatsen;
3. slachtoffers in de overige zone waarin het water langzamer stijgt, maar waar het wel diep wordt. Door de geringe stijgsnelheid kunnen personen makkelijker een veilige plaats bereiken, maar door de relatief grote diepte vallen ook in deze zone slachtoffers.

Het aantal slachtoffers is geschat met zogenaamde slachtofferfuncties. Deze leggen een relatie tussen de overstromingskenmerken (stijgsnelheid, overstromingsdiepte) en het aantal slachtoffers onder de aanwezigen. De slachtofferfuncties zijn gebaseerd op gegevens van de Watersnoodramp uit 1953 en uit de internationale literatuur over watersnoodrampen (Jonkman, 2005). Uit deze literatuur blijkt dat het aantal slachtoffers veelal 0,1% tot 1 % van alle getroffen personen bedraagt. Echter, waar er sprake is van snel stijgend water en grotere overstromingsdieptes komt vaak een groter percentage van de bevolking om.

2.2.5. Schade aan LNC

Een grootschalige overstroming heeft ook grote invloed op de kwaliteiten van Landschap, Natuur en Cultuurhistorie, die meestal de "LNC-aspecten" worden genoemd. Elk van de termen omvat meerdere aspecten. Er is binnen de wetenschappelijke wereld geen brede consensus over de te hanteren aspecten, maar wel over de grote lijnen die van belang zijn. Voor de kwaliteit van het landschap gaat het dan vooral om de aardkundige aspecten, de landschapsecologische aspecten, de cultuurhistorische aspecten, de schaalkenmerken en het landgebruik. Voor de natuur kunnen de aanwezigheid van planten- en diersoorten gebruikt worden als graadmeter voor de kwaliteit. Ook kunnen de ruimtelijke condities voor natuur als kwaliteitsgraadmeter voor natuur worden gezien. Cultuurhistorie wordt vaak onderverdeeld in drie typen aspecten (onder andere in de nota Belvédère (Ministerie van VROM, OCW, V&W en LNV, 1999)): archeologische aspecten, aspecten van historische bouwkunde en historisch geografische aspecten.

Voor het bepalen van de gevolgen van overstromingen voor de LNC-aspecten is een keuze gemaakt van de aspecten die in beschouwing worden genomen (Nieuwenhuizen et al, 2003). Deze keuze is gemaakt op basis van een eerste inschatting van de effecten en de mogelijkheden om de effecten op dijkkringgebiedniveau in beeld te brengen waarbij de beschikbaarheid van gegevens een belangrijke rol speelt. Gekozen is voor de volgende vier aspecten:

1. opgaande begroeiing;
2. vegetatie;
3. zoetwaterecosystemen;
4. historische bouwkunde.

Voor deze vier aspecten is op basis van kennis in de literatuur en aangevuld met expert-kennis, de schade als gevolg van een grootschalige overstroming bepaald. De schade is vooral afhankelijk van de waterdiepte, maar ook van het zoutgehalte van het water en van de duur van de overstroming.

De methode voor het bepalen van schade aan LNC-aspecten is geïmplementeerd in een aparte HIS module (HIS-LNC module). In deze module zijn ook de gegevens opgenomen waarmee de schade kan worden bepaald.

2.2.6. Milieuschade

Het doel van het onderzoek naar milieuschade is een methode te ontwikkelen om aan de hand van een inventarisatie inzicht te krijgen in de belangrijkste risico's door verspreiding van milieugevaarlijke stoffen na een overstroming van een dijkkringgebied en het vrijkomen ervan in bedrijven (Snuverink et al, 2004).

Achterliggend doel is binnen het kader van VNK te weten te komen of en in welke mate bij de beleidsontwikkeling van veiligheid tegen overstromen rekening moet worden gehouden met milieuschade.

Bij het uitwerken van de methode zijn de volgende onderdelen belicht:

- de selectie van de stofgroepen of stofclusters;
- de selectie van type bedrijfsactiviteiten waar deze stoffen aanwezig kunnen zijn;
- de kans op het vrijkomen van stoffen per installatie, gegeven een overstroming;
- de verspreiding van stoffen over een gebied;
- de te nemen maatregelen om de gevolgen te beperken.

Met de methode kan in principe voor een willekeurig dijkkringgebied, gegeven een vastgesteld overstromingsscenario, op een snelle wijze een globaal inzicht worden verkregen in de te verwachten milieuschade binnen het dijkkringgebied.

Er moeten dan wel gegevens over activiteiten in een gebied worden verzameld.

2.3 Bepaling van overstromingskansen

De overstromingskans geeft de kans aan dat een dijkkringgebied overstroomt door het bezwijken of anderszins falen van de waterkerende functie van één of meer waterkeringen rondom het gebied.

2.3.1. Proces

De eerste stap bij de bepaling van de overstromingskans is het verzamelen van gegevens van waterkeringen en vervolgens het maken van een schematisatie van de werkelijke dijken. Dit is uitgevoerd door waterschappen en provincies, onder begeleiding van VNK. Voor deze activiteit is een speciale handleiding opgesteld (projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2002) aan de hand waarvan de waterkeringbeheerders gegevens over hun waterkeringen hebben aangeleverd. De waterschappen en provincies hebben zich hiervoor desgewenst laten ondersteunen door ingenieursbureaus. VNK heeft de kwaliteit van de ingewonnen gegevens gecontroleerd.

Ingenieursbureaus hebben met het rekenprogramma PC-Ring (Vrouwenvelder et al, 2003) de berekeningen van de overstromingskansen uitgevoerd. Ze zijn hierbij begeleid door VNK. PC-Ring is ontwikkeld door TNO Bouw in samenspraak met deskundigen van Rijkswaterstaat, kennisinstituten en specialistische adviesbureaus. Het is ook gebruikt in het advies van de TAW uit 2000 (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2000). In het kader van VNK is het programma verder uitgebreid door alle hydraulische belastingen van de verschillende watersystemen (kust,

meer, rivier) op te nemen (Diermanse et al, 2001). Tot de start van VNK werd PC-Ring alleen gebruikt door de ontwikkelaars van het programma. Aangezien het aantal gebruikers door VNK zou toenemen is een gebruikersinterface gemaakt.

Tijdens de berekeningen van de overstromingskansen is tussentijds vaak extra informatie ingewonnen bij de waterkeringbeheerder om de resultaten te verbeteren. De resultaten zijn besproken in een workshop waarbij, naast het waterschap, zijn adviseur, de provincie en VNK, ook specialisten van TAW aanwezig waren. Het doel van deze workshop was verkennen in hoeverre de beheerder de resultaten nu herkent en het nemen van besluiten over het al dan niet meenemen van resultaten van dijkvakken of kunstwerken in de berekening van de overstromingskans van de dijkkring. Soms zijn naar aanleiding van de workshop laatste correcties in de berekeningen gepleegd. De uiteindelijke overstromingskansen staan, per meegenomen dijkkring, beschreven in de zogenaamde dijkkringrapporten (Projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2005).

2.3.2. Gegevensverzameling

Uitgangspunt voor de gegevensverzameling is de huidige situatie van het dijkkringgebied. De enige uitzonderingen zijn vakken waar dijkversterkingen daadwerkelijk plaatsvinden, of waarbij zeker is dat dit in de nabije toekomst zal gebeuren en het ontwerp vastgesteld is.

Voor sommige faalmechanismen zijn gedetailleerde gegevensverzameling en het uitvoeren van probabilistische faalkansanalyses zeer arbeidsintensief. Het is daarom gewenst, via een beredeneerde selectie, het aantal mee te nemen dijkvakken voor die mechanismen in de analyse van de overstromingskans te beperken. Dit betekent dat er dijkvakken zijn die voor de bepaling van de overstromingskans geheel buiten beschouwing worden gelaten en dat er dijkvakken zijn waarvoor niet alle mechanismen beschouwd worden. In de verslaglegging van de gegevensverzameling is beargumenteerd waarom deze dijkvakken buiten beschouwing zijn gebleven. Het gaat er immers om de gehele dijkkring te beschouwen en hierbij voor elk traject af te wegen of dit wel of niet meegenomen moet worden. Het aantal geschematiseerde dijkvakken hangt af van het faalmechanisme. In het algemeen geldt dat voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag meer dijkvakken zijn meegenomen dan bijvoorbeeld voor het mechanisme afschuiven of opdrijven. Het maken van een goede schematisatie van een dijkkringgebied vereist specialistische kennis omdat de schematisatie moet passen bij de rekenmethode die in PC-Ring wordt gehanteerd.

Voor de kunstwerken geldt dat er een selectie gemaakt is van kunstwerken indien in een dijkkring een groot aantal kunstwerken aanwezig is. Er is voor een representatieve selectie gezorgd (Projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2004) waarbij de kunstwerken waarvan op voorhand een hoge bijdrage aan de overstromingskans wordt verwacht in ieder geval geselecteerd zijn. Voor identieke kunstwerken die vaker in een dijkkring voorkomen en waarvan de hydraulische belasting vergelijkbaar is, is er één

beschouwd. Het resultaat is voor de identieke kunstwerken doorvertaald.

2.3.3. Categorieën waterkeringen

Een 'primaire waterkering' is een waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied -al dan niet met hoge gronden- omsluit, ofwel vóór een dijkkringgebied gelegen is. Er worden in de huidige beheerspraktijk vier categorieën van primaire waterkeringen onderscheiden, zie Tabel 2-1.

Categorie	Omschrijving
a.	Primaire waterkeringen die behoren tot stelsels die dijkkringgebieden – al dan niet met hoge gronden – omsluiten en direct buitenwater keren.
b.	Primaire waterkeringen die voor dijkkringgebieden zijn gelegen en buitenwater keren (bijvoorbeeld Afsluitdijk, Oosterscheldekering)
c.	Primaire waterkeringen, niet bestemd tot directe kering van buitenwater (bijvoorbeeld dijken langs het Amsterdam Rijn kanaal, Diefdijk)
d.	Als één van de categorieën a tot en met c maar gelegen buiten de landsgrenzen.

Tabel 2-1 Overzicht van 4 categorieën waterkeringen

Primaire waterkeringen van de categorie a

In de 16 onderzochte dijkkringgebieden zijn alle waterkeringen van de categorie a meegenomen.

Primaire waterkeringen van de categorie b

Waterkeringen in de categorie b zijn verbindende waterkeringen. Voorbeelden zijn de Afsluitdijk, de Haringvlietdam en de sluizen van IJmuiden. Voor de meeste verbindende waterkeringen geldt dat er grote berging achter de kering aanwezig is. In veel gevallen leidt een doorbraak niet direct tot een grote bijdrage aan de overstromingskansen van de achterliggende dijkkringen. De overstromingskans van een primaire waterkering van categorie b met een strengere norm dan de achterliggende waterkering heeft veelal een verwaarloosbare bijdrage aan de overstromingskansen van dat dijkkringgebied. Dit geldt bijvoorbeeld voor de Kadoelersluis met een overschrijdingskans van 1/4000 en dijkkringgebied 9 (Vollenhove) met een overschrijdingskans van 1/1250. Binnen het project VNK is ervoor gekozen om de verbindende waterkeringen niet in de berekeningen van de overstromingskansen van de achterliggende dijkkringgebieden mee te nemen. Uitzonderingen zijn de Maeslantkering voor de bepaling van de overstromingskans voor dijkkring 14 (Zuid-Holland) en de Ramspolkering voor de bepaling van de overstromingskans van dijkkringen 7 (Noordoostpolder) en 10 (Mastenbroek). Deze keringen bepalen sterk het hydraulisch regime van het achterliggende water.

Primaire waterkeringen van de categorie c

Categorie c keringen zijn primaire waterkeringen die niet direct buitenwater keren, bijvoorbeeld omdat ze een scheiding vormen tussen dijkkringen (de Diefdijk) of omdat ze bijvoorbeeld langs een kanaal liggen (bijvoorbeeld het Amsterdam Rijn Kanaal).

Voor waterkeringen van de categorie c die een scheiding tussen dijkringen vormen geldt dat eerst de categorie a waterkering moet falen voordat de categorie c kering zijn functie gaat vervullen. Binnen het project VNK is de bijdrage van de kans op falen van de categorie c keringen niet meegenomen door het ontbreken van gegevens van hydraulische belastingen. In de Wet op de waterkering is opgenomen dat de situatie van 1996 in stand moet worden gehouden ("stand still"), en de minister van Verkeer en Waterstaat heeft tot nu toe geen randvoorwaarden voor deze keringen afgegeven.

Primaire waterkeringen van de categorie d

De bijdragen van de primaire waterkeringen van de categorie d (waterkeringen in het buitenland) zijn per geval bekeken. Deze keringen zijn bij gebrek aan informatie niet meegenomen.

De verschillende categorieën waterkeringen binnen VNK

In de berekening van de in dit rapport gepresenteerde overstromingskansen zijn dus niet alle waterkeringen meegenomen. De meeste categorie b, c en d waterkeringen zijn niet meegenomen in de berekeningen van de overstromingskansen van de dijkringen. De redenen zijn het ontbreken van gegevens (zoals de hydraulische belastingen) en de schatting dat het risico bij doorbraak van deze keringen veel kleiner is dan het risico behorende bij een doorbraak van waterkering die direct buitenwater keert. Dit geldt overigens niet voor de categorie d keringen die wél direct buiten water keren. Het kan derhalve betekenen dat een te gunstig beeld geschetst kan worden van de overstromingskansen. In 'werkelijkheid' kan deze kans dus (iets) groter zijn (en de veiligheid dus lager).

2.3.4. Dijken

In de Leidraad Grondslagen Waterkeren (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1998) is een overzicht opgenomen van de verschillende manieren waarop een dijk kan falen, de faalmechanismen. Voor de grondconstructies is in de Leidraad onderscheid gemaakt in 12 mechanismen. Binnen VNK is ervoor gekozen om niet al deze faalmechanismen in de bepaling van de overstromingskans op te nemen. De redenen hiervoor zijn: van minder belang voor het doel van VNK (bijvoorbeeld 'zetting', dit mechanisme heeft niet direct een overstroming tot gevolg) en gebrek aan kennis over proces (bijvoorbeeld 'verweking'). Dit kan betekenen dat de overstromingskans in 'werkelijkheid' iets groter is.

Bij de berekening van de faalkans van een dijk wordt uitgegaan van de volgende vier faalmechanismen (zie ook Figuur 2.6):

1. *Overloop of golfoverslag*

Bij dit faalmechanisme bezwijkt de dijk doordat er grote hoeveelheden water over de dijk heen lopen of doordat golven over de dijk slaan. Bij afluende wind of bij anderszins zeer kleine golfhoogten wordt het bezwijken beschreven door het faalmechanisme overloop. In andere gevallen door het faalmechanisme golfoverslag. Vervolgens start een erosieproces van het binnentalud.

2. *Opbarsten en piping*

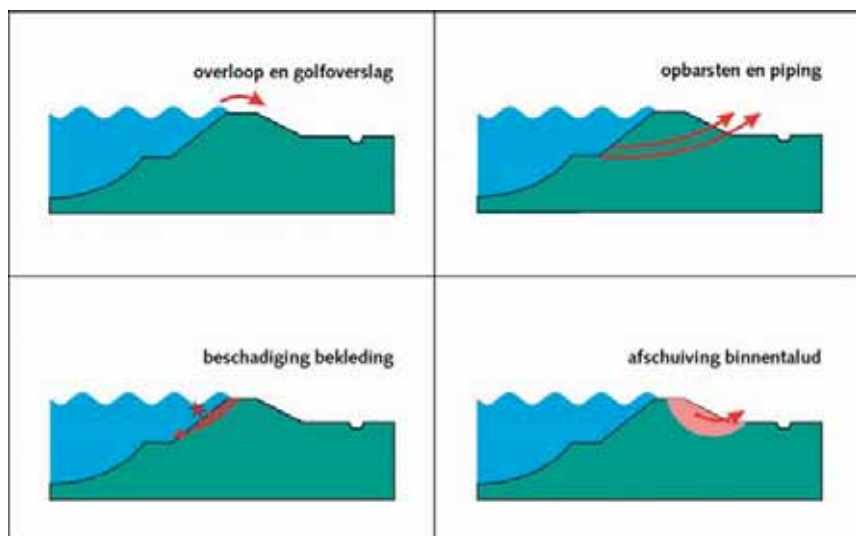
Bij dit faalmechanisme bezwijkt de dijk doordat het zand onder de dijk wordt weggespoeld. Door de druk van het water zal eerst, indien aanwezig, de afsluitende kleilaag die boven op de zandlaag ligt opbarsten. Vervolgens kunnen zogenaamde 'pijpen' ontstaan waardoor het zand wegspoelt en de dijk inzakt.

3. *Beschadiging bekleding en erosie van het dijklichaam*

Bij dit faalmechanisme bezwijkt de dijk doordat eerst de bekleding wordt beschadigd door de golfaanval waarna vervolgens de doorsnede van de dijkkern door erosie wordt verminderd.

4. *Afschuiven of opdrijven binnentalud*

Bij dit faalmechanisme bezwijkt de dijk doordat een deel van de dijk ten gevolge van langdurige hoge waterstanden instabiel wordt en daarna afschuift of opdrijft.



Figuur 2-6 Beschouwde faalmechanismen van dijken

Overloop of golfverslag

Bij dit faalmechanisme bezwijkt de dijk doordat er grote hoeveelheden water over de dijk heen lopen of golven over de dijk slaan. Ten gevolge van deze grote hoeveelheden water bezwijkt de dijk doordat de hoeveelheid water groter is dan wat het binnentalud kan verdragen. Binnen VNK is voor het bezwijken van het binnentalud alleen de sterkte van de bekleding binnentalud toegepast (veelal de grasmat), en is verweking niet meegenomen (vanwege gebrek aan kennis van dit proces).

Overloop treedt op als de waterstand hoger is dan de kruin van de dijk. De kruin van de dijk zou volgens de norm een halve meter hoger moeten zijn dan het toetspeil, zodat de bijdrage van dit mechanisme aan de totale ringkans veelal beperkt is. De waakhogte (globaal het verschil tussen de kruin en het toetspeil als de dijk 'op orde' is) is mede aangelegd vanwege mogelijke golven die door wind worden veroorzaakt. Bij golfbelasting is het verschil tussen de kruinhogte en

het toetspeil vaak meer dan een halve meter om het overslagdebiet te beperken.

Als er teveel water over de dijk slaat kan het binnentalud eroderen, en dat kan leiden tot bezwijken van de waterkering. Dit fenomeen wordt aangeduid met golfoverslag. De belasting in PC Ring voor dit mechanisme wordt derhalve gevormd door het optredende overslagdebiet q_0 . De sterkte van de dijk bestaat uit het kritieke debiet q_c waarbij de bekleding van het binnentalud bezwijkt. De dijk faalt wanneer het optredende overslagdebiet groter is dan het kritieke debiet. Doordat beide debieten als stochastische variabelen gedefinieerd zijn, kan de kans op falen worden berekend. In PC-Ring wordt daarnaast ook nog de kennisonzekerheid van het optredend en het kritieke debiet meegenomen.



Figuur 2-7 Een overstroming door het overlopen van een dijk

Voor het bepalen van de sterkte van grastaluds wordt een sterkte-model van gras gebruikt. Toepassing van dit model geeft waarden van kritieke overslagdebieten van 30 tot 50 l/s/m, met een standaard afwijking van circa 10 l/s/m. Deze waarden wijken af van de kritieke overslagdebieten in de Leidraad Toetsen op Veiligheid, die gebruikt wordt in de 5 jaarlijkse toetsing op veiligheid (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004). De reden hiervoor is dat binnen Veiligheid Nederland in Kaart de zogenaamde 'reststerkte' van de grastaluds expliciet in beeld wordt gebracht. Met andere woorden: bij het ontwerpen maar ook bij het toetsen worden veelal 'veilige' waarden gehanteerd, en bij VNK wordt een zo goed mogelijke inschatting gemaakt van de kans op een bres door, in dit geval, golfoverslag.

Beschadiging bekleding en erosie van het dijklichaam

Het faalmechanisme beschadiging bekleding kan worden toegepast op de bekledingstypes: gras, steen en asfalt. Dijken zijn vaak bekleed met verschillende soorten bekledingen. In het rivierengebied wordt vaak gras toegepast. Zodra golfaanval een rol gaat spelen (kust, meer) is

gras niet meer voldoende. In zones waar golfaanval te verwachten valt wordt dan steen of asfalt toegepast. Door de verschillende typen belastingen komen er zelfs dijkvakken met drie soorten bekledingen voor. Daarbinnen kan de kwaliteit en het type nog variëren. De schematisatie in PC-Ring is zodanig opgezet dat er wordt aangenomen dat de bekleding van de kruin tot de teen van de dijk uit één type bekleding bestaat.

PC-Ring berekent de faalkans van de bekleding. Aangezien het falen van de bekleding nog niet wil zeggen dat er ook een bres ontstaat, wordt ook de kans op erosie van het dijklichaam meegenomen. Voor de sterkte wordt gebruik gemaakt van gegevens als erosiebestendigheid van het gras, dikte, gewicht en type van de stenen en het asfalt, en de opbouw en samenstelling van het dijklichaam. Dit mechanisme bestaat derhalve uit twee deelmechanismen, te weten één voor beschadiging bekleding en één voor erosie van het dijklichaam.

Grasbekleding

De dijk faalt volgens dit mechanisme als de tijd die een bepaalde storm nodig heeft om de bekleding te beschadigen en de rest van de dijk kern weg te slaan korter is dan de stormduur. De sterkte is gelijk aan de tijdsduur tot aan het ontstaan van een bres in de dijk, inclusief de sterkte van de grasmat. De dijkdoorsnede is ruwweg in drie delen ingedeeld: de grasbekleding, de afdekkende kleilaag onder de bekleding en de resterende dijk kern.

Steenbekleding

Voor steenbekleding wordt uitgegaan van steenzetting op een granulaire filter. De faalkans van de steenzetting wordt bepaald op basis van onder meer de sterkte, de relatieve dichtheid en de dikte van de steenzetting, de helling van het buitentalud en de golfsteilheid. De reststerkte van het filter en het dijklichaam wordt bepaald door erosiecoëfficiënten en de opbouw van het dijklichaam.

Asfaltbekleding

Bij het bezwijken van de asfaltbekleding wordt ook de reststerkte van het dijklichaam meegenomen. Het falen van de asfaltbekleding kan ontstaan door wateroverdrukken of door golfklappen.

Het deelmechanisme falen door wateroverdrukken treedt op als het drukverschil over de bekleding ter plaatse van de waterlijn het gewicht van de asfaltaag overschrijdt. Hierin spelen het gewicht, de dikte van het asfalt, de ligging van de bekleding en de helling van het binnentalud een rol. De gehanteerde formule is ontleend aan (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2000).

In het deelmechanisme falen door golfklappen wordt de benodigde dikte van het asfalt vergeleken met de aanwezige dikte. De benodigde dikte wordt hierbij bepaald op basis van de hellingshoek, de significante golfhoogte en het type ondergrond.

Toepassing

Aangezien het niet mogelijk is om met PC-Ring het talud met de diverse bekledingen door te rekenen moeten keuzes gemaakt worden. VNK volgt hierin de conservatieve lijn. In principe worden eerst voorzichtige keuzes gemaakt met betrekking tot de kwaliteit van de

bekleding. Vervolgens worden de kansen bepaald van alle aanwezige bekledingsoorten. Hieruit wordt de bekleding met de grootste kansbijdrage geselecteerd. Blijkt daarna dat het betreffende vak een grote kansbijdrage heeft in de ringkans, dan wordt het nader geanalyseerd. Uit de berekeningen blijkt bijvoorbeeld onder welke omstandigheden het dijkvak faalt en in welke zone de bekleding wordt aangevallen. Door na te gaan welke bekleding in de aanvalzone zit is het mogelijk de juiste bekleding te selecteren.

Opbarsten en piping

Bij opbarsten en piping bezwijkt de dijk doordat het zand onder de dijk wordt weggespoeld. In de praktijk is dit mechanisme gekoppeld aan het optreden van zandmeevoerende wellen. Door de druk van het water zal eerst, indien aanwezig, de afsluitende laag achter de dijk opbarsten. Vervolgens ontstaan 'pijpen' die vanuit de binnenzijde van de dijk doorgroeien naar de buitenzijde van de dijk. Hierdoor spoelt het zand weg en zakt de dijk in.

Het bezwijkmechanisme bestaat uit twee deelmechanismen: opbarsten' en 'piping. Falen treedt alleen op als voor beide mechanismen de belasting groter is dan de sterkte.

Het deelmechanisme opbarsten ontstaat als de afsluitende laag opbarst. Dit gebeurt als het verval over de dijk dat de opwaartse druk onder de afsluitende laag veroorzaakt, groter is dan de neerwaartse druk die bepaald wordt door de werking van de zwaartekracht. Op het moment dat er opbarsten optreedt zal er een wel achter de dijk ontstaan. Zodra deze stroming ontstaat, kunnen er ook zanddeeltjes onder de dijk meegevoerd worden en ontstaan er pijpen. Door de cohesieve krachten van de afsluitende (klei)laag zal deze bij het ontstaan van de pijpen niet instorten en geeft het de pijpen de kans om door te groeien tot aan de teen van het buitentalud van de dijk. Op dat moment is er sprake van een doorgaande pijp. Het water voert zand mee onder de dijk door waarna de dijk instort. Er wordt verondersteld dat er na dit instorten geen reststerkte meer aanwezig is: de bres in de dijk is ontstaan en de overstroming is een feit. Als er geen afsluitende kleilaag aanwezig is kunnen er weliswaar pijpen ontstaan, maar zullen deze niet doorgroeien omdat de bovenliggende grond de pijp zal doen instorten. In dit geval is het niet zinvol om het mechanisme mee te nemen, de kans op het ontstaan van doorgaande pijpen is immers verwaarloosbaar klein.

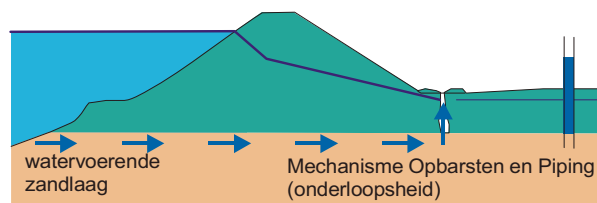
Binnen VNK wordt het optreden van opbarsten en piping bepaald met de formule van Sellmeijer (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1999). In de toetsing wordt deze formule toegepast in de geavanceerde toets (ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004). In eerste instantie wordt in de toetsing de beschikbare kwelweglengte vergeleken met de benodigde kwelweglengte. Dit gebeurt met de methode van Bligh die de benodigde kwelweglengte relateert aan het verval over de dijk met de zogenaamde 'creepfactor'. Deze factor varieert voor zanddijken tussen 12 en 18. Pas nadat blijkt dat er een kwelweglengte tekort is, zal de geavanceerde toets worden uitgevoerd. Hiervoor is wel aanvullende informatie nodig betreffende grondeigenschappen. Met name het bepalen van de doorlatendheid van het grondpakket vormt hierbij een probleem. Ten eerste is deze

lastig te bepalen en ten tweede kan deze sterk variëren. In de handleiding gegevensverzameling (Projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2002) wordt aangegeven hoe de doorlatendheid, op volgorde van voorkeur, kan worden bepaald:

- Op basis van een pompproef in de omgeving: de hierbij gevonden kD -waarde kan, met een indicatie van de dikte D van het watervoerende zandpakket, tot een doorlatendheid k worden herleid;
- Op basis van een lokale doorlatendheidsmeting: deze zal echter doorgaans niet beschikbaar zijn;
- Op basis van resultaten van zeefanalyses van zand uit de watervoerende zandlaag: de zeefanalyses leveren een indicatie van de kleine korrelfractie d_{10} en de uniformiteit $u = d_{60}/d_{10}$. Hiermee kan de doorlatendheid worden geschat;
- Een schatting op basis van de grondwaterkaart van TNO-NITG.

Toepassing

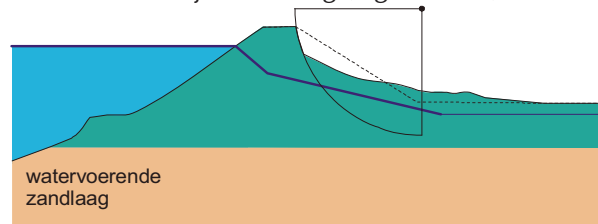
In de praktijk blijkt dat er weinig meetgegevens zijn van de doorlatendheid. Daarnaast is gedurende het project vastgesteld dat het relateren van korrelgegevens aan de doorlatendheid eigenlijk alleen toegepast kan worden als er uitgebreide zeefanalyses beschikbaar zijn. Doordat dit vaak niet het geval is, is er doorgaans gekozen om de doorlatendheid af te leiden aan de hand van de grondwaterkaarten. Dit is een belangrijk verschil met (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004) waarin de doorlatendheid met de formule van C_{Bear} bepaald werd aan de hand van korreleigenschappen. Doordat de gegevens als conservatief bekend staan, zal dit, met name daar waar grondeigenschappen sterk variëren, effect hebben op de overstromingskans van dit mechanisme. De gevolgde redenering is in meer detail beschreven in de review die in 2004 is uitgevoerd onder leiding van prof. Vrijling van de TU Delft (Vrijling et al, 2004). De aanbeveling in (Vrijling et al, 2004) is onder meer om in geval van sterke gelaagdheid informatie in te winnen over de bovenste grondlaag en de diepere grondlaag. Met de afgeleide formules op basis van MSeep berekeningen is het mogelijk om een representatieve doorlatendheid te bepalen, die vervolgens gebruikt kan worden bij het bepalen van de kans (Duinen, 2005). Helaas bleek dat de benodigde gegevens niet beschikbaar waren, waardoor het voor VNK niet mogelijk was om de voorgestelde methode toe te passen. In 4.1 komen we hierop terug.



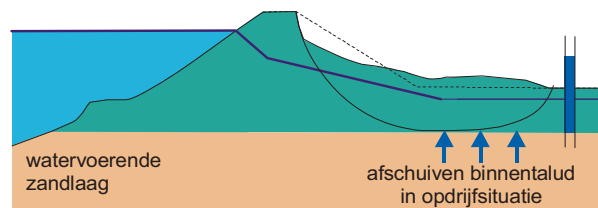
Figuur 2-8 Mechanisme opbarsten en piping (onderloopsheid) bij dijken

Afschuiven binnentalud

Bij dit faalmechanisme kan onderscheid worden gemaakt naar twee situaties, namelijk afschuiven van het binnentalud volgens een (ondiepe) glijcirkel (Figuur 2-9) en afschuiven als gevolg van opdrijven van de binnendijkse deklaag (Figuur 2-10).



Figuur 2-9 Afschuiven binnentalud volgens glijcirkel



Figuur 2-10 Afschuiven binnentalud bij opdrijven binnendijkse deklaag

De eerste kan het gevolg zijn van toenames van de freatische waterspanningen in de dijk, bijvoorbeeld door infiltratie van buitenwater in de dijk bij een hoge waterstand, maar ook door infiltratie van (extreme) neerslag op de dijk. Doorgaans wordt bij een veiligheidstoetsing op beide "belastingen" getoetst. De tweede vorm van afschuiven kan ontstaan wanneer als gevolg van een hoge buitenwaterstand de potentiaal in de zandlaag onder de dijk zodanig toeneemt dat de binnendijkse deklaag van klei en/of veen gaat opdrijven. De effectieve korrelspanningen (de contactspanningen tussen de gronddeeltjes) op de overgang tussen de deklaag en de onderliggende zandlaag vallen dan weg waardoor het binnentalud van de dijk geen zijdelingse steun aan de deklaag kan ontleen. Deze vorm van afschuiven was de oorzaak voor de dijkverzakking bij Streefkerk in 1984 en heeft geleid tot de ontwikkeling van de opdrijftheorie en het rekenmodel voor stabiliteit bij opdrijven.



Figuur 2-11 Voorbeeld van het afschuiven van het binnentalud.

Voor afschuiven van het binnentalud volgens een glijcirkel maakt PC-Ring gebruik van de resultaten van probabilistische stabiliteitanalyses van MProstab (Geodelft, 2003). Daar waar afschuiven als gevolg van opdrijven voorkomt worden de resultaten van MProlift gebruikt. Indien voor een dijkvak zowel afschuiven van het binnentalud volgens een glijcirkel als opdrijven van belang zijn, worden beide mechanismen doorgerekend. Alleen het maatgevende mechanisme wordt voor dat dijkvak meegenomen in de ringkans.

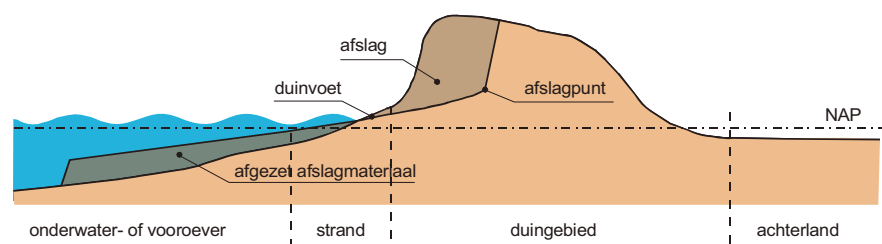
Voor het maken van een stabiliteitberekening is uitgebreide informatie nodig over de geometrie van de dijk, laagscheidingen van grondlagen en typeringen van het materiaal. Daarnaast is informatie nodig van grondparameters als cohesie, hoek van inwendige wrijving en volumegewicht. Verder dienen er minstens drie freatische lijnen opgegeven te worden: voor maatgevende situaties, voor een hoogwatersituatie onder MHW en voor gemiddelde omstandigheden. Voor deze drie situaties genereert het model faalkansen. Vervolgens worden de resultaten van de stabiliteitberekeningen in PC-Ring gecombineerd met de waterstandstatistiek (Vrouwenvelder et al, 2003) wat resulteert in een overstromingskans voor het dijkvak.

Door de aard van het faalmechanisme afschuiven is het maken van een MProstab/MProlift berekening veel intensiever dan een PC-Ring berekening. Dit was een reden voor VNK om het aantal berekeningen te beperken tot circa vijf profielen per dijkring. Met dit uitgangspunt moet rekening gehouden worden bij het analyseren van de resultaten.

2.3.5. Duinen

In de overstromingskans van een dijkring wordt een kans meegenomen voor 'duinafslag', zie Figuur 2-12. In PC-Ring wordt het verschil bepaald tussen de kritieke positie van het afslagpunt (de sterkte), en de berekende positie van het afslagpunt (de belasting). Als de berekende positie gelijk is aan de kritieke positie is er sprake van falen. Deze

methodiek is identiek aan de methode zoals beschreven in de Leidraad (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1984). Als belasting worden stochasten als stormvloedduur, golfhoogte en waterstand meegenomen. Van het duin worden gegevens als de ligging van het duinprofiel en de korreldiameter gebruikt. Een uitgebreide beschrijving van de methodiek is te vinden in "Aanpassing duinmodule PC-Ring (Projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2003)". Hierin is ook een vergelijking gemaakt tussen het Leidraadmodel en de duinmodule in PC-Ring. De verschillen in resultaten tussen beide modellen kunnen verklaard worden door gebruik van verschillende randvoorwaarden. Daarnaast is geconstateerd dat de duinmodule in PC-Ring nog niet goed werkt voor het geval van diepe geulen vlak voor de kust. Deze verschillen in acht nemend, kan echter wel geconcludeerd worden dat beide modellen overeenkomstige resultaten genereren.



Figuur 2-12 Faalmechanisme voor duinen

Binnen VNK is het nodig om een keuze te maken voor de locatie en het jaar van de duinraaien (Jarkus-profiel). De locatie wordt gekozen op basis van verwachting van bijdrage aan de overstromingskans. Dit wijkt niet af van de selectie van dijkvakken. In principe wil VNK inzicht geven in de veiligheid tegen overstromen op dit moment. Bij de keuze van het Jarkus-profiel wordt daar van afgeweken: het beeld kan te rooskleurig zijn als er een duinraai geselecteerd wordt net nadat er op die locatie een zandsuppletie heeft plaatsgevonden. Daarom is er voor het volgende stappenplan gekozen:

- Aan de hand van het rapport basiskustlijn wordt nagegaan welk jaar bij bepaalde profielen ongunstig is. In dit rapport staat de huidige situatie, de trend en verwachtingen voor benodigde suppletie;
- Zoek bij betreffend jaar het bij het duinvak behorende Jarkus-profiel en reken dat door. Op deze manier wordt een bovengrens van de faalkans van het duin gevonden;
- Wanneer een faalkans uitgerekend wordt die veel bijdraagt aan de totale overstromingskans van de ring, wordt deze nader geanalyseerd door ook een jaar te kiezen waarin recentelijk suppletie heeft plaatsgevonden. Doorrekenen van dat profiel geeft een ondergrens van de faalkans van het betreffende duin;
- Op basis van de resultaten wordt uiteindelijk besloten welke kans wordt meegenomen in de overstromingskans van de dijkkring.

2.3.6. Kunstwerken

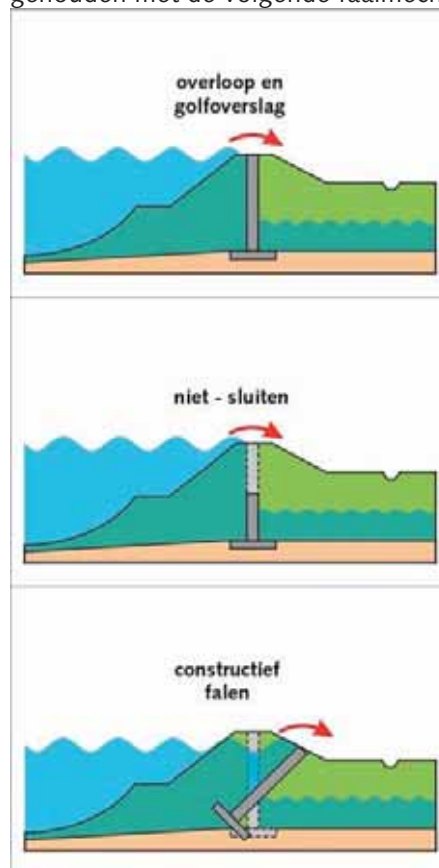
Voor kunstwerken wordt de overstromingskans bepaald met een beoordelingsmethode. In de methode is er van uitgegaan dat deze kans is opgebouwd uit drie apart te bepalen bijdragen die moeten worden gecombineerd om de schatting van de totale bijdrage van het kunstwerk aan de overstromingskans te vinden. Deze bijdragen zijn golfoverslag, niet-sluiten en constructief falen. Er zijn beoordelingsmethodes opgesteld voor de volgende kunstwerktypen: gemalen, coupures, sluizen, tunnels, leidingen en langsconstructies (Projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2002).

Het falen van een kunstwerk door golfoverslag of niet-sluiten leidt niet noodzakelijkerwijs tot het ontstaan van een bres in de waterkering en daarmee tot een overstroming van een dijkkringgebied. Achter kunstwerken die in verbinding staan met het binnenwater kan binnenstromend water vaak geborgen worden in het achterliggend watersysteem zonder dat dit tot een overstroming leidt. Ook kan het kunstwerk vaak een groot debiet aan zonder stabiliteitverlies. De in eerste benadering berekende faalkansen ten gevolge van golfoverslag respectievelijk niet-sluiten kunnen in de beoordelingssystematiek aangescherpt worden tot overstromingskansen. Dit zijn per definitie kleinere kansen. Deze aanscherping vergt extra inspanningen en wordt dan ook alleen uitgevoerd wanneer de eerste benadering tot relatief grote kansen leidt ten opzichte van de bestaande normfrequentie voor ontwerpwaterstanden. Bij het mechanisme 'instabiliteit constructie' wordt wel verondersteld dat de standzekerheid direct verloren gaat, zodat bresvorming optreedt. De bijbehorende faalkans wordt daarom beschouwd als kans op het ontstaan van een bres, oftewel de overstromingskans.

Mechanismen

Voor de bepaling van de faalkansen van kunstwerken wordt de overschrijdingsfrequentielijn van waterstanden geconfronteerd met de sterkte van de waterkering. Ook bij de kunstwerken wordt expliciet rekening gehouden met de onzekerheden in de invoergegevens.

Voor de bepaling van de faalkans van een kunstwerk wordt rekening gehouden met de volgende faalmechanismen (Figuur 2-13):



Figuur 2-13 Beschouwde faalmechanismen kunstwerken

Overloop of golfoverslag

Bij het faalmechanisme overloop en golfoverslag bezwijkt het kunstwerk doordat er water over het kunstwerk stroomt. De beoordeling van het kunstwerk is gebaseerd op een vergelijking van de kerende hoogte in relatie met de overschrijdingsfrequentielijn van de buitenwaterstand.

Niet-sluiten

Bij het faalmechanisme niet-sluiten bezwijkt het kunstwerk als gevolg van het niet tijdig gesloten zijn van de afsluitmiddelen. De beoordeling van het kunstwerk is gebaseerd op een vergelijking van de overschrijdingsfrequentielijn van de buitenwaterstand met het 'open keerpeil' (OKP), rekening houdend met de kans op het 'niet-sluiten' van de afsluitmiddelen.

Voor het bepalen van de kans op 'niet-sluiten' van de afsluitmiddelen volgt de VNK-methode de Leidraad Kunstwerken 2003. Deze leidraad onderscheidt vier hoofdoorzaken van falen:

- Falen van het hoogwater waarschuwingssysteem: falen waterstand-registratie, falen alarm, etc.
- Falen van de mobilisatie: bedienend personeel is niet tijdig bij de kering aanwezig.

- Falen ten gevolge van bedieningsfouten: verkeerde of nagelaten handelingen.
- Technisch falen van de afsluitmiddelen: bewegingswerk faalt.

Constructief falen

Bij constructief falen bezwijkt het kunstwerk als gevolg van falen van (onderdelen van) het kunstwerk. De beoordeling van het kunstwerk is gebaseerd op een beschouwing van de constructieve sterkte en stabiliteit van het kunstwerk in relatie tot de belastingen bij het keren van hoogwater. Bij deze beoordeling zijn de volgende mechanismen van toepassing:

- constructief falen van de keermiddelen ten gevolge van vervalbelasting;
- constructief bezwijken van de betonconstructie;
- constructief falen van de fundering;
- stabiliteitverlies door instabiliteit van de bodembescherming;
- bezwijken door onder- en/of achterloopsheid (piping);
- bezwijken door aanvaring.

Toepassing

Aangezien het onhaalbaar is om alle kunstwerken te beoordelen wordt per dijkkring vaak een selectie gemaakt van kunstwerken. Deze selectie wordt gemaakt op basis van een inschatting in de bijdrage aan de overstromingskans en de beschikbare informatie. Verder worden binnen VNK tunnels, leidingen en langsconstructies om voornamelijk praktische redenen zoals de beperkte beschikbaarheid van gegevens niet meegenomen.

Zodra de faalkansen van de kunstwerken bekend zijn, wordt een beschouwing gemaakt van de bijdrage van de kunstwerken aan de overstromingskans van de dijkkring. De kunstwerken met een grote bijdrage worden nader beschouwd op:

- of het mechanisme ook daadwerkelijk kan optreden;
- wat de gevolgen zijn bij het optredende mechanisme.

Beide gevallen kunnen geïllustreerd worden. De kans op falen wegens onvoldoende hoogte ontbreekt in de overstromingskans van de Noordoostpolder voor de inlaatduikers Lemmer en Ramspol. Deze beide inlaatduikers liggen in het dijklichaam, waardoor het de dijk zou zijn die faalt op kerende hoogte, niet het kunstwerk.

Daarnaast blijkt dat bij het falen van de sluiting het binnenstromende debiet zo klein is dat dit niet leidt tot een overstroming. Dit debiet kan worden opgevangen door de bemaling van de polder. Ook de optredende stroomsnelheden zijn niet zodanig dat falen van de constructie zal optreden. De faalkansen voor het mechanisme niet-sluiten van de inlaatduikers zijn daarom bij de berekening van de overstromingskans van de dijkkring niet meegenomen.

2.3.7. Zwakke plekken analyse

Zodra de ringkans is bepaald, kan een zwakke plekken analyse worden uitgevoerd. Hierin wordt onderzocht met welke maatregelen de berekende overstromingskans van de dijkkring kan worden verkleind. Tevens zijn de kosten van de betreffende maatregelen globaal

geraamd. Hiermee wordt een eerste indruk gegeven tegen welke kosten een verbetering kan worden bereikt in de veiligheid tegen overstromingen. Op basis van de berekende overstromingskansen vindt een identificatie plaats van 'zwakke plekken' en een globale raming van de kosten van mogelijke maatregelen ter verbetering van deze relatief zwakke plekken. Bij de identificatie van relatief zwakke plekken en de bepaling van de kosten van mogelijke maatregelen wordt onderscheid gemaakt in dijkvakken en kunstwerken.

De identificatie van relatief zwakke plekken vindt plaats door een grens vast te stellen voor de overstromingskansen (zonder daarbij een voorschot te nemen op een mogelijke norm). Deze grens geeft de kans weer op basis waarvan relatief zwakke plekken worden geselecteerd. Dijkvakken die een kans hebben die groter is dan deze kans worden dus als 'zwak' bestempeld. Daarnaast is een tweede grens vastgesteld die onderscheid maakt tussen dominant zwakke vakken en overige zwakke vakken. De gedachte hierbij is dat mogelijk met een beperkt aantal maatregelen een forse verbetering van de ringkansen bewerkstelligd kan worden. De keuze van de genoemde grenzen zijn vrij arbitrair.

Om de kosten van verbetermaatregelen door te rekenen is voor de dijkvakken binnen VNK een aparte kostenmodule ontwikkeld. Hiermee worden de kosten in kaart gebracht die gemoeid zijn met het verbeteren van de dominant zwakke plekken en de overige zwakke plekken. Voor de kunstwerken wordt een procedure gevolgd die is gebaseerd op een beoordeling per kunstwerk. Waar daarbij sprake is van mogelijke fysieke maatregelen is ook een (zeer globale) kostenschatting gemaakt. Hierbij wordt benadrukt dat de kosten van maatregelen niet zijn doorgerekend tot het punt waarop een optimum bereikt wordt tussen kosten enerzijds en baten anderzijds. De zwakke plekken analyse is daarom zeker geen kosten-batenanalyse.

Toepassing

Voor een aantal dijkringen is een zwakke plekken analyse uitgevoerd met bepaling van de kosten voor de benodigde verbeteringen om de overstromingskansen te verkleinen uitgevoerd (Baarse, 2005). Vanwege budgettaire beperkingen en tijdgebrek is niet voor alle dijkringen een zwakke plekken analyse uitgevoerd.

2.3.8. Invloed van menselijk handelen

Bij de berekening van faalkansen is bij de dijken en duinen geen rekening gehouden met menselijk handelen. In het faalmechanisme niet-sluiten van kunstwerken wordt menselijk handelen wel meegenomen, omdat het menselijk handelen expliciet onderdeel is van de beoogde functionaliteit van het object.



Figuur 2-14 Menselijk handelen

In de huidige beheerspraktijk is ook bij dijken en duinen echter wel sprake van handelen, en dit speelt met name voor piping in het rivierengebied. Door het niet meenemen van menselijk handelen wordt de faalkans mogelijk overschat, en kan in de praktijk de overstromingskans kleiner zijn dan berekend in VNK.

Tijdens een hoogwater zal elke beheerder altijd overgaan tot inspectie van waterkeringen waarbij onder andere geïnspecteerd wordt op het optreden van zandmeevoerende wellen. De wijze waarop tijdens een hoogwater geïnspecteerd moet worden is veelal vastgelegd in het calamiteitenbestrijdingsplan Hoogwater. In dit plan vindt men onder coördinatiefase 2 de volgende tekst: "Permanente dijkbewaking. De dijkvakken waarvoor de dijkposten zijn ingericht dienen grotendeels per auto, fiets en/of te voet te worden geïnspecteerd. De dijkinspectie dient continue plaats te vinden". Bijvoorbeeld bij het waterschap Rivierenland leidt de praktische invulling van deze regelgeving tot het continue patrouilleren tijdens hoogwaterperioden in een drie-ploegendienst. Per dag wordt het gehele dijktraject drie keer bezocht (elke 6 tot 8 uur). Het mogelijk optreden van het faalmechanisme opbarsten en piping is vaak van tevoren zichtbaar. Op plaatsen waar verwacht wordt dat beslist veel kwel zal optreden (ervaring) en waar al wat aan de hand is, bijvoorbeeld bij beginnende welvorming (geen zand) en bij opgekiste wellen, wordt vaak nog één of twee keer extra per dag gecontroleerd.

Wordt een zandmeevoerende wel geconstateerd binnen het "beschermingsgebied" dan wordt die opgekist. Gemiddeld zal het water daarmee 50 tot 75 cm worden opgezet om zandmeevoering te remmen. Het is namelijk nogal afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden hoe hoog een wel kan worden opgekist.

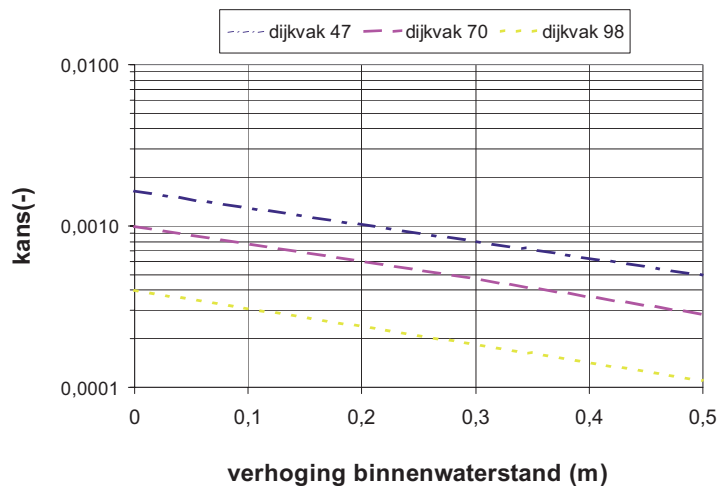
Opkisten wordt uitgevoerd met zandzakken. Rondom een zandmeevoerende wel wordt een muurtje van zandzakken gebouwd. Het komt er uit te zien als een "waterput" met muurtjes van

zandzakken. Soms wordt ook filterdoek gebruikt dat over de wel wordt gelegd. Dat kan, maar hoeft niet. Deze "kist" is dus simpel en doeltreffend en kan door iedereen gemaakt worden. De opkisttechniek is eenvoudig bij de tot nu toe bekende hoogwaterstanden, maar de werking is niet duidelijk bij relatief hogere waterstanden.



Figuur 2-15 Het opkisten in de praktijk

In (Vrijling et al, 2004) is berekend wat de invloed van het opkisten is op de kans. In Figuur 2-16 wordt het effect weergegeven voor enkele dijkvakken van dijkkring 43 (Betuwe, Tiel- en Culemborgerwaarden).



Figuur 2-16 Relatie tussen faalkans en opkisten

Wat opvalt is dat de faalkans vrijwel loglineair evenredig is met de toename van de binnenwaterstand. Bij een minimale verhoging van de binnenwaterstand met een halve meter zal de faalkans volgens de figuur van bijvoorbeeld 1/1000 dalen naar 1/3500. In de praktijk komt het vaak voor dat een nieuwe wel ontstaat na opkisten van een

opgetreden wel. Hiermee is in de gevoeligheidsberekening geen rekening gehouden. In de berekening is er van uitgegaan dat de wel zich niet verplaatst.

2.4 Risicobeleving

Naast het “objectieve” overstromingsrisico (risico = gevolg x kans) is ook de risicobeleving van belang. De beleving is per definitie subjectief, dat wil zeggen dat deze afhangt van de individuele persoon (of groep van personen).

Binnen Veiligheid Nederland in Kaart is een tweetal verkenningen uitgevoerd (van Ast et al, 2003) over de beleving van risico's. In deze verkenningen is het volgende onderzocht:

- wat is er bekend over de huidige beleving van overstromingsrisico's;
- wat is van belang bij het communiceren over overstromingsrisico's;
- op welke manier kan de subjectieve beleving van overstromingsrisico's gekwantificeerd en gewaardeerd worden in een beslissingscontext;
- wat is bekend over de relatie tussen normeren en waarderen van overstromingsrisico's en het normeren van risico's.

Geconcludeerd kan worden dat op het gebied van beleving van overstromingsrisico's nog veel niet helder is. Evenals andere risico's (roken, auto rijden, vliegen, bungee jumpen, etc.) zijn overstromingsrisico's elke dag aanwezig, maar niet elke dag zichtbaar. Het bijzondere aan overstromingsrisico's is dat het besef vaak niet aanwezig is, en ook niet dat de belastingbetaler zijn/haar eigen veiligheid betaalt (van Hall, 2005).

2.5 Kosten-baten analyse

In de discussie over maatregelen om de bescherming tegen overstromingen te vergroten spelen kosten en baten van maatregelen een belangrijke rol. Kosten moeten immers worden afgewogen tegen de baten van meer veiligheid. Hierbij gaat het niet alleen om financieel economische kosten en baten en slachtoffers maar ook om kosten en baten op het punt van natuur, milieu en ruimtelijke kwaliteit etc. de baten worden veelal gedefinieerd als de vermindering van de jaarlijkse overstromingsschade (kans x gevolg). Een optimale bescherming in economische zin wordt bereikt door implementatie van maatregelen waarbij de som van de kosten van maatregelen en de verwachte overstromingsschade geminimaliseerd wordt.

De baten van een maatregel in VNK is de reductie van zowel het aantal slachtoffers als de schade. De schade is al uitgedrukt in euro's maar de slachtoffers niet. De vraag is of slachtoffers ook economisch gewaardeerd moeten worden. Om dat te doen is het nodig om inzicht te hebben in het aantal slachtoffers en een economische waardering van slachtoffers. Dit is een lastig onderwerp, en in hoofdstuk 3 wordt ervoor gekozen om de aanpak van het CPB te volgen (Centraal

Planbureau, 2005), waarin een toeslag is gehanteerd voor de zogenaamde immateriële schade:

“In eerste instantie zal voor de immateriële schade een bedrag van €5000 per inwoner worden gebruikt. De gedachte daarachter is dat het hier vooral de overlast en evacuatiekosten betreft en veel minder een waardering voor het verlies door gewonden en door overlijden”.

De kosten van maatregelen zijn geschat op basis van globale inschattingen. Dat wil zeggen dat er geen gedetailleerde ontwerpen worden gemaakt van de verbeteringsmaatregelen. Bij verdere detaillering van de maatregelen kunnen de kosten afwijken want de onzekerheid neemt af bij toename van de detaillering. In de schatting van de kosten zijn ook de additionele beheers- en onderhoudskosten meegenomen.

Er zijn verschillende methoden beschikbaar voor het uitvoeren van een kosten-baten analyse (Noortwijk et al, 2005). Deze methoden hanteren echter voor een groot deel identieke uitgangspunten, zoals het bepalen van de contante waarde van het jaarlijkse risico. In de optimalisatie is het niet alleen van belang hoeveel er geïnvesteerd dient te worden, maar ook wanneer. Voor dit laatste criterium is in (Centraal Planbureau, 2005) het zogenaamde First Year Rate of Return principe toegepast. In kader van VNK is ook een eerste aanzet voor een kosten-baten analyse uitgevoerd voor dijkkring 14, Zuid-Holland.

2.6 Onzekerheden

Een waterkering faalt als de toestand van de dijk en de belastingen erop zodanig zijn dat water over, door of onder de dijk tot een overstroming in het erachter gelegen gebied leidt. Wanneer en hoe dit falen optreedt is nooit met zekerheid te voorspellen omdat zowel de belastingen als de eigenschappen van de waterkering niet precies bekend zijn. Vanwege deze onzekerheden kunnen alleen uitspraken worden gedaan in termen van kansen.

De vraag is hoe nauwkeurig de kansen berekend kunnen worden. Daarvoor is een analyse van de onzekerheden nodig. Er zijn drie soorten onzekerheden te onderscheiden: natuur, model en statistische onzekerheden.

1. *Natuurlijke variabiliteit*

Deze is het gevolg van de onvoorspelbaarheid van fluctuaties in de natuur. Daarbij worden onderscheiden fluctuaties in de tijd (bijvoorbeeld de waterstand bij Hoek van Holland) en fluctuaties in de ruimte (bijvoorbeeld de dikte van een ondergrondse kleilaag).

2. *Modelonzekerheid door schematisering in de fysische modellen*

In faalkansberekeningen wordt gebruik gemaakt van rekenmodellen die aangeven bij welke combinaties van belasting en dikeigenschappen falen zal optreden. Deze modellen geven altijd een sterk geschematiseerd beeld van de werkelijkheid. Het is met de huidige kennis niet mogelijk een complex natuurkundig verschijnsel als het falen van een dijk exact met een fysisch-mathematische model te beschrijven. De

onzekerheid in de modellen is niet precies bekend. Door de voorspellingen van een model met waarnemingen (bijvoorbeeld uit praktijk- of laboratorium proeven) te vergelijken kan wel een idee worden verkregen van de grootte van deze onzekerheid.

3. *Statistische onzekerheid als gevolg van een gering aantal waarnemingen*

In een faalkansanalyse zijn statistische verdelingen voor de variabelen die de natuur- of modelonzekerheden beschrijven (bijvoorbeeld voor de kans op het overschrijden van een bepaalde waterstand of windsnelheid). Omdat in de meeste gevallen echter maar een relatief beperkt aantal meetgegevens beschikbaar is, is vaak een grote mate van extrapolatie nodig. Voor bijvoorbeeld het ontwerpen van een dijk op een faalkans van 1/1000 per jaar zijn maar van ca. 100 jaar meetgegevens beschikbaar. In sommige gevallen, met name voor de modelonzekerheden, zijn er zelfs nog minder of helemaal geen waarnemingen. Dan wordt er beroep gedaan op de intuïtie van experts (engineering judgement).

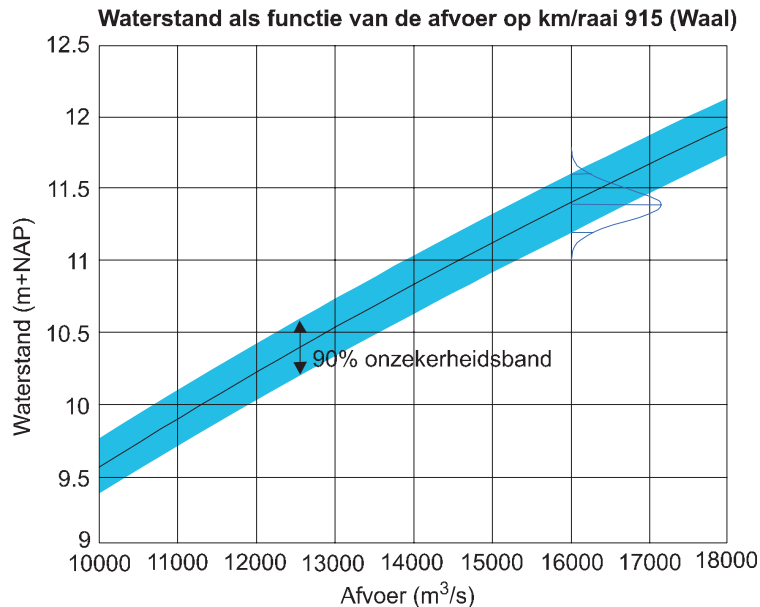
In de huidige veiligheidsbenadering wordt alleen expliciet rekening gehouden met de natuurlijke variabiliteit in de waterstanden. Na bepaling van de Maatgevende Hoogwaterstand of toetspeil wordt een veiligheidsmarge opgenomen voor andere onzekerheden. De binnen VNK toegepaste methode om overstromingskansen te berekenen maakt het echter mogelijk alle genoemde onzekerheden vanaf het allereerste begin mee te nemen. Dit heeft de volgende voordelen:

- Alle onzekerheden worden integraal in de berekeningen betrokken en beschouwd;
- De methode toont welke onzekerheden de belangrijkste bijdrage hebben in de resultaten van de berekeningen;
- Op basis hiervan kan worden afgewogen of het verstandig is om onzekerheden met onderzoek te verkleinen of dat het de voorkeur heeft de waterkering te versterken met fysieke maatregelen.

De berekende overstromingskans is de meest reële weergave van de overstromingskans gegeven de beschikbare kennis. Hoe groter de onzekerheid, des te groter de kans in de berekening. Soms is het mogelijk de onzekerheid te verkleinen door nader onderzoek uit te voeren, bijvoorbeeld naar de opbouw van de ondergrond. Afhankelijk van de uitkomsten van dit nader onderzoek, kan dit mogelijk leiden tot een kleinere overstromingskans. Het is echter ook mogelijk dat nader onderzoek uitwijst dat de situatie goed is ingeschat, of zelfs nog slechter is. De onzekerheid is dan weliswaar verkleind, maar het gemiddelde verschuift in ongunstige zin. Andere onzekerheden zijn niet binnen afzienbare termijn te verkleinen, zoals bijvoorbeeld bij de onzekerheid over de omvang van zeespiegelstijging of de toename van de rivierafvoer.

Als voorbeeld van 'kennisonzekerheid' geven we de waterstand op een rivier, gegeven de afvoer. In de huidige ontwerp- en toetspraktijk

wordt geen rekening gehouden met onzekerheid in deze waterstand. Deze onzekerheid is bijvoorbeeld afkomstig van onzekerheid in de afvoerverdeling bij splitsingspunten of in de hydraulische ruwheid. In Figuur 2-17 is een voorbeeld gegeven van deze onzekerheid voor een locatie langs de Waal.



Figuur 2-17 Illustratie van onzekerheid: mogelijke waterstanden als functie van de afvoer op km-raai 915 (Waal)

In paragraaf 2.7 is beschreven wat de consequenties van de onzekerheden voor de resultaten van VNK zijn en hoe de berekende overstromingskansen, gezien de type onzekerheden, geïnterpreteerd moeten worden.

2.7 Stapsgewijze analyse van de resultaten

Voor het bepalen van overstromingskansen zijn veel gegevens nodig, die ook nog moeten passen bij de gehanteerde probabilistische methoden. Begin 2004 is er in VNK een review uitgevoerd door een groep onder leiding van prof. Vrijling naar aanleiding van relatief grote overstromingskansen van de zogenaamde “koplopers”, zes dijkringen in het rivierengebied (Vrijling et al, 2004). Met “groot” wordt bedoeld: kansen die veel groter zijn dan op basis van inzicht en ervaring verwacht mag worden. De waterkeringen zijn in de afgelopen 50 jaar immers fors verbeterd, en verwacht mag worden dat overstromingskansen groter dan 1/100 waarschijnlijk gebaseerd zijn op gebrek aan kennis en gegevens om de kans op een correcte manier te berekenen. In de review is een stappenplan gegeven om in geval van grote overstromingskansen een analyse uit te voeren op de uitkomsten. Deze methode wordt hieronder weergegeven, en is afkomstig uit (Vrijling et al, 2004).

Indien relatief hoge overstromingskansen worden berekend is het de vraag of de berekeningsresultaten werkelijk de situatie met betrekking tot de veiligheid tegen overstrooming karakteriseren of dat andere zaken

een rol spelen. In het eerste geval leidt dit tot het probleem hoe hierover te communiceren, maar de kern van de boodschap is onvermijdelijk. In het laatste geval moet aangegeven kunnen worden of evident fouten zijn gemaakt bij de berekening, of dat de berekende overstromingskansen weliswaar correct zijn, maar geplaatst in de goede context geen aanleiding behoeven te zijn tot verontrusting.

Merk op dat ook onderschattingen van overstromingskansen ongewenst zijn aangezien deze kunnen leiden tot een overmatig gevoel van veiligheid, en uiteindelijk kunnen resulteren in een onvoldoende mate van bescherming. We gaan in de verdere beschrijving echter uit van een situatie met (ongeloofwaardig) grote berekende overstromingskansen. In principe is er een drietal oorzaken te onderscheiden dat kan leiden tot de grote berekende overstromingskansen:

1. Er is sprake van onjuiste schematiseringen, uitgangspunten of aannames. Deze kan betrekking hebben op de selectie en schematisering van dijkvakken, en de modellering van de berekening van overstromingskansbijdragen van verschillende faalmechanismen.
2. Er is een gebrek aan kennis, bijvoorbeeld van de eigenschappen van de ondergrond. Dit kan leiden tot een conservatieve inschatting van het gemiddelde en/of de standaardafwijking van bepalende eigenschappen. Door het gebrek aan kennis, de onzekerheid, berekent men een grote overstromingskans. Daarnaast kan de beperkte nauwkeurigheid van het model van invloed zijn op de berekende overstromingskans. De reden dat het model een minder accurate benadering van de werkelijkheid geeft kan, zowel gebrek aan kennis zijn, als efficiency. Soms gebruikt men een eenvoudig model omdat men het werkelijk niet beter weet, soms om werk te besparen.
3. Er is sprake van een daadwerkelijk tekort aan de waterkering.

Op basis van deze situaties zijn drie stappen af te leiden om de berekende overstromingskans aan te scherpen:

Stap 1: toetsing uitgangspunten en aannames

Als basisstap in de interpretatie van een berekende overstromingskans past naar goed ingenieursgebruik een controle van de berekening op onjuiste schematiseringen en een analyse van de invloed van aannames en uitgangspunten. Veelal is hierbij een terugkoppeling naar beheerder en modelspecialisten wenselijk of zelfs noodzakelijk. De berekende overstromingskans is teruggekoppeld met de beheerder om het resultaat te vergelijken met het beheerdersoordeel. Extra aandacht is gegaan naar de onderdelen die de beheerder niet herkende.

Stap 2: reductie van onzekerheden

Bij een gebrek aan kennis is reductie van de berekende overstromingskans mogelijk door vermindering van de onzekerheden. Hierbij kan het gaan om het vergaren van meer kennis over de belangrijkste variabelen die de sterkte of belasting bepalen, of door verbetering van het model. Soms is dat vergaren van kennis relatief eenvoudig. Als de hoge berekende overstromingskans veroorzaakt

wordt doordat het niet zeker is of een bepaald constructieonderdeel (bijv. onderloopsheidsscherm) wel aanwezig is kan dat gemakkelijk worden nagegaan. Vaak ook zal bij de eerste gegevensinwinningsslag genoeg worden genomen met de voorhanden zijnde informatie, omdat betere informatievergarings tijdovend of duur is. Wanneer blijkt dat dit tot overstromingskansbijdragen leidt die de totale overstromingskans lijken te domineren kan verdere inwinning van gegevens tegen bepaalde kosten worden overwogen. Als er bijvoorbeeld weinig over de ondergrond bekend is, kan alleen kostbaar grondonderzoek de kennisleemte verminderen.

De toepassing van een geavanceerder rekenmodel is soms, maar lang niet altijd, eenvoudig te realiseren.

Een bijzonder geval van kennisverwerving is 'bewezen sterkte'. Als de dijk gedurende een aantal jaren goed gefunctioneerd heeft, dan mag verwacht worden dat de faalkans kleiner is dan de reciproke van dat aantal jaren. Dit geldt als de periode groot genoeg is en de berekening deze periode overstijgt. Berekende overstromingskansen die groot zijn in verhouding tot de ervaringsperiode dienen derhalve met enige argwaan te worden bekeken.

Hierboven is onderscheid gemaakt tussen de 'berekende overstromingskans', die de schatting aangeeft voor de overstromingskans inclusief alle onzekerheden, en de 'werkelijke overstromingskans' die frequentistisch weergeeft hoe vaak de dijk zal bezwijken in een bepaalde periode. Het verschil hangt samen met het type onzekerheden. Als de onzekerheid vooral voortkomt uit de hydraulische randvoorwaarden (m.b.v hoogwateroverschrijdingslijn) dan mag de berekende overstromingskans ongeveer gelijkgesteld worden aan de werkelijke. Als de onzekerheid vooral de sterkte van de dijk betreft dan is de berekende overstromingskans in de meeste gevallen groter dan de werkelijke. De sterkte van de dijk is immers binnen zekere grenzen onbekend voor de mens, maar hij ligt wel vast. Zonder verdere maatregelen blijkt echter pas dat de dijk niet een teleurstellende sterkte heeft, als de dijk een flink hoogwater heeft doorstaan (de minimale sterkte is dan bewezen). Uiteraard kan ook het meten en onderzoeken van de kwaliteit van de dijk, wederom in de meeste gevallen, de onzekerheid verkleinen en daarmee de berekende overstromingskans. Bij de berekening van de overstromingskans wordt aangegeven of de onzekerheid in hoofdzaak uit de sterkte of uit de hydraulische belasting voortkomt.

Stap 3: Verbetering van de waterkering

In het geval van een daadwerkelijk tekort zal verbetering en versterking van de waterkering leiden tot reductie van zowel de berekende als de werkelijke overstromingskans. Ook het organiseren en indien nodig uitvoeren van versterkingshandelingen gedurende een hoogwatersituatie verlaagt de overstromingskans. Tot nu toe werd dit ingrijpen tijdens hoogwater in Nederland alleen voor kunstwerken tot de getalsmatige dijkveiligheid gerekend omdat deze hier op ontworpen zijn. Sluitingsprocedures vormen een integraal onderdeel van het ontwerp. Voor dijken wordt ingrijpen tijdens hoogwater niet tot de getalsmatige veiligheid gerekend. Daarom worden noodmaatregelen als

het verhogen van de dijk met zandzakken en het opkisten van wellen afzonderlijk behandeld (zie paragraaf 2.3.8).

De resultaten van VNK moeten geïnterpreteerd worden in de context van de bovengenoemde verbeteringsstrategieën, de daarvoor benodigde investeringen, en de te bereiken effecten op de overstromingskans. Over het algemeen zijn de eerste twee strategieën uitgevoerd binnen VNK. Deze zijn gericht op toetsing van uitgangspunten en methoden (stap 1) en verkleining van de onzekerheid door onderzoek en meting (stap 2). Indien de onzekerheid vooral de sterkte van de waterkering betreft zal de berekende overstromingskans volgens de tweede strategie waarschijnlijk dalen. Het heeft daarom zin om naast de berekening van de overstromingskans-bijdragen op basis van (vanwege feitelijke kennis en informatie noodzakelijk) conservatieve uitgangspunten en aannamen, ook een berekening te maken op basis van (speculatieve) realistische aannamen.

Soms kan het onderzoek echter een tekort aan de waterkering aan het licht brengen. Op voorhand wordt duidelijk of er werkelijk een probleem is met de waterkering, of dat tekort aan kennis en informatie het probleem is. Wanneer invulling van realistische waarden leidt tot de conclusie dat nader onderzoek nuttig is wordt dit als aanbeveling genoemd. En indien de beheerder van de waterkering in dergelijke gevallen de hoge berekende faalkans niet herkent, dan wordt de betreffende berekende faalkans van een faalmechanisme van een specifiek dijkvak of een faalmechanisme van een dijkkring uit de berekening van de overstromingskans gelaten.

Wanneer niet aannemelijk wordt met de invulling van realistisch-optimistische waarden dat de berekenende faalkans gedomineerd wordt door kennisonzekerheid kunnen we niet uitsluiten dat er sprake is van een werkelijk fysieke zwakke plek. Dan lijkt het nuttig om maatregelen te ontwerpen die tegen toenemende kosten een steeds kleinere overstromingskans bewerkstelligen. Overigens zal op basis van de resultaten van VNK nooit tot een dergelijk besluit worden overgegaan. Maatregelen worden alleen genomen naar aanleiding van de toetsing. In 2006 komen de resultaten van de tweede toetsing beschikbaar. Het is aan te raden om bij verschijnen van de tweede toetsing de resultaten hiervan te leggen naast bij VNK aangetroffen zwakke plekken, en extra aandacht te besteden aan nut en noodzaak van nader onderzoek en verbetermaatregelen in het kader van de toetsing.

3. Resultaten voor 16 dijkringen

Dit hoofdstuk biedt de resultaten van de toepassing van de overstromingsrisico methode voor 16 dijkringen. De resultaten geven nieuwe inzichten in de bescherming tegen overstromingen. Ook worden enkele illustraties gegeven van aanvullende informatie uit de risicoberekeningen, zoals onder andere de resultaten per dijkvak en uitkomsten van overstromings berekeningen.

3.1 Beschouwde dijkringen

Het project VNK heeft, zoals in hoofdstuk 1 is aangegeven, zestien dijkringen in beschouwing genomen. Het project is gestart met zes dijkringen, die als zogenaamde “koplopers” gefungeerd hebben. Deze dijkringen liggen allemaal in het bovenrivierengebied. Voor deze dijkringen is gekozen omdat ze een rol spelen in het huidige waterbeleid ‘Ruimte voor de Rivier’. Daarnaast vervullen deze dijkringen de functie van ‘pilot’ aan de hand waarvan berekenings- en beoordelingsmethoden kunnen worden gecombineerd en getoetst.

Daarnaast is een representatieve selectie van dijkringen gemaakt met zoveel mogelijk verschillende karakteristieken. Zo zijn de verschillende typen bedreigingen, vanuit zee, vanuit de rivieren, vanuit het IJsselmeer en Markermeer, en het overgangsg gebied van zee en rivieren vertegenwoordigd. De grote dijkringen waarvoor bij overstroming veel schade en slachtoffers te verwachten zijn, zijn beide meegenomen. Dit betreft Zuid-Holland en Noord-Holland. Maar ook kleinere dijkringen zijn beschouwd. De selectie is zo gekozen dat alle aspecten en onderdelen van de methode zijn beproefd. In Figuur 3-1 is een overzicht van de onderzochte dijkringen opgenomen. Omdat gestart is met zes dijkringen in het rivierengebied zijn er relatief veel dijkringen in het rivierengebied onderzocht.

Figuur 3-1 Overzicht meegenomen dijkringen in VNK

Uit het overzicht in Tabel 3-1 blijkt dat de omvang van dijkringgebieden in Nederland sterk van elkaar verschilt: van enkele duizenden tot honderdduizenden hectares en van enkele duizenden tot enkele miljoenen inwoners.

Nr.	Naam	Belangrijkste bedreigingen	Oppervlakte [ha]	Aantal inwoners
3	Terschelling	Zee	1.900	1.900
7	Noordoostpolder	Meer	49.000	60.000
10	Mastenbroek	Rivier	9.400	29.000
13	Noord-Holland	Zee, meer	153.000	959.000
14	Zuid-Holland	Zee, rivier	223.000	3.255.000
15	Lopiker- en Krimpenerwaard	Rivier	32.000	196.000
16	Alblasserwaard en Vijfheerenlanden	Rivier	39.000	197.000
25	Goeree-Overflakkee	Zee	22.000	46.000
32	Zeeuwsch Vlaanderen	Zee	72.000	106.000
36	Land van Heusden / De Maaskant	Rivier	74.000	407.000
38	Bommelerwaard	Rivier	11.000	45.000
41	Land van Maas en Waal	Rivier	28.000	242.000
42	Ooij en Millingen	Rivier	3.400	14.000
43	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaard	Rivier	63.000	299.000
48	Rijn en IJssel	Rivier	29.000	156.000
52	Oost-Veluwe	Rivier	31.000	105.000

Tabel 3-1 Enkele kenmerken van de onderzochte dijkkringgebieden

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de 16 dijkringen in twee groepen gepresenteerd. Het onderscheid heeft te maken met de manier waarop de gevolgen zijn bepaald ('gedetailleerd' of 'globaal'). De overstromingskansen zijn voor beide groepen op gelijke wijze bepaald.

1. Gedetailleerde gevolgbeoordeling.

Voor drie dijkringen 7, 14 en 36 is een gedetailleerde gevolgbeoordeling uitgevoerd. De gevolgen van overstromingen zijn bepaald met de theoretisch meest verantwoorde methode, namelijk met behulp van zogenaamde 'gedetailleerde' overstromingsscenario's (zie hoofdstuk 2.2.2).

2. Globale gevolgbeoordeling.

Voor alle zestien dijkringen is een globale gevolgbeoordeling uitgevoerd. De gevolgen van overstromingen zijn op een globale wijze bepaald (zie hoofdstuk 2.2.2).

In dit hoofdstuk worden voor de dijkeringen geen overstromingskansen gepresenteerd die groter zijn 1/100 per jaar, hoewel deze voor een aantal dijkeringen wel berekend zijn. Reden hiervoor is dat bij de huidige hydraulische belastingen en bij de huidige toestand van de primaire waterkeringen deze grote kansen niet te verwachten zijn. De oorzaak van de relatief grote kansen moet waarschijnlijk gezocht worden in gebrek aan kennis en informatie. Nader onderzoek zal tot afname van de relatief grote overstromingskansen leiden. In de tabellen worden overstromingskansen groter dan 1/100 per jaar aangegeven met >1/100 per jaar. De risico's zijn in deze gevallen bepaald met een overstromingskans van 1/100 per jaar.

In Bijlage B is per dijkringgebied een gebiedsbeschrijving opgenomen en worden de berekende risico's, gevolgen en kansen per dijkkring nader toegelicht.

3.2 Risico's op basis van gedetailleerde gevolgbepaling

In deze paragraaf worden de resultaten voor de drie dijkeringen waarvoor de gedetailleerde gevolgbepaling is uitgevoerd besproken. In hoofdstuk 2 is aangegeven dat het overstromingsrisico van een dijkringgebied het product is van de gevolgen van overstroming vermenigvuldigd met de overstromingskans. Voor het bepalen van de gevolgen wordt in dit onderzoek gekeken naar het economisch risico en het slachtoffer risico. Binnen VNK is geen globale methode voor het berekenen van slachtoffers ontwikkeld. Voor het berekenen van slachtoffer risico's is het derhalve nodig om over 'gedetailleerde' overstromingsscenario's te beschikken. Deze zijn alleen voor de drie dijkeringen waarvoor een gedetailleerde gevolgbepaling is uitgevoerd beschikbaar. Het slachtofferrisico is dan ook alleen voor deze drie dijkeringen bepaald.

In Tabel 3-2 staan de overstromingsrisico's: het economisch risico, het slachtoffer risico, de economische schade, het aantal slachtoffers en de kans op een overstroming. De informatie uit deze paragraaf is afkomstig uit de rapporten per dijkkring (de zgn. risicocases) over overstromingsscenario's, economische schade en slachtofferbepaling.

Het economisch risico is het bedrag dat over een lange termijn jaarlijks gereserveerd moet worden om in theorie de schade van overstromingen te dekken. Het economisch risico is berekend als de som van de producten van schade en overstromingskans van de verschillende overstromingsscenario's.

De berekende schade en het aantal slachtoffers variëren per overstromingsscenario. De bandbreedte in de schade is het gevolg van de verschillende in beschouwing genomen overstromingsscenario's. Het aantal slachtoffers van een overstroming hangt, behalve van de verschillende in beschouwing genomen overstromingsscenario's ook af van de mogelijkheden en het verloop van evacuatie. Of een overstroming te voorzien is of niet hangt af van het faalmechanisme en de bedreiging. Een extreem hoge waterstand op de rivieren dient zich vaak een aantal dagen van tevoren aan terwijl een hoge waterstand op

zee veel korter van tevoren te voorspellen is. En een overstroming als gevolg van het optreden van piping kan heel onverwacht optreden. Voor de aantallen slachtoffers in Tabel 3-2 is voor de bovengrens uitgegaan van een onverwachte overstroming waarbij geen evacuatie plaats vindt. Voor de ondergrens is uitgegaan van een voorziene overstroming waarbij een georganiseerde evacuatie plaatsvindt. Bij meer extreme overstromingsscenario's dan die nu in beschouwing zijn genomen kunnen meer slachtoffers vallen. Een schatting van de bovengrens waarin ook is meegenomen hoe mensen in panieksituaties reageren is lastig te voorspellen.

Nr.	Dijkring	Economisch risico	Slachtoffer risico	Economische schade	Slachtoffers	Overstromingskansen
		[miljoen€/jaar]	[aantal/jaar]	[miljoen €]	[aantal]	[-]
7	Noordoostpolder	2,1	0,042	170 - 4200	5 - 1400	1/900
14	Zuid-Holland	2,3	0,28	280 - 37.000	30 - 6100	1/2500
36	Land van Heusden / De Maaskant	37	1,31	60 - 7500	5 - 800	>1/100

Tabel 3-2 Overzicht van risico's, gevolgen en kansen in drie dijkringgebieden

Uit Tabel 3-2 kan het volgende worden geconcludeerd:

- De economische risico's in de huidige situatie zijn circa € 2 miljoen per jaar voor zowel Zuid-Holland als voor de Noordoostpolder. Voor dijkring 36 Land van Heusden / De Maaskant is het economische risico meer dan een factor 10 groter, namelijk ca. € 37 miljoen per jaar.
- De bovengrens van de bandbreedte voor de schade voor de Noordoostpolder bedraagt € 4200 miljoen en voor het Land van Heusden / De Maaskant € 7500 miljoen. Voor Zuid-Holland is dit bedrag veel hoger: € 37.000 miljoen. Ook het aantal slachtoffers voor Zuid-Holland kan hoger zijn dan voor de andere twee dijkringen. Met name voor meervoudige doorbraken vanuit de kust kunnen grote gebieden met veel inwoners overstromen.
- De overstromingskansen voor dijkring 14 Zuid-Holland is relatief klein: ca. 1/2500 per jaar. De belangrijkste mechanismen zijn hier duinafslag, opbarsten en piping bij één dijkvak en de betrouwbaarheid van de sluitingsprocedures van enkele kunstwerken. Voor dijkring 7 Noordoostpolder bedraagt de overstromingskans 1/900 per jaar en hier is het belangrijkste mechanisme constructief falen van twee kunstwerken. Voor dijkring 36 Land van Heusden / De Maaskant draagt het mechanisme opbarsten en piping, het niet-sluiten van twee kunstwerken en tekort aan kerende hoogte van een keersluis het meest bij in de overstromingskansen;
- Uit onderzoek blijkt dat het slechts beperkt mogelijk is om voor overstromingen vanuit zee of meer, zoals bij dijkring 7 Noordoostpolder en dijkring 14 Zuid-Holland, de overstroming ver van tevoren te voorspellen. Ook het faalmechanisme

opbarsten en piping is nauwelijks te voorspellen, zodat in de huidige situatie ook in dijkkring 36 Land van Heusden / De Maaskant een preventieve evacuatie moeilijk uitvoerbaar is.

Met het treffen van enkele maatregelen kunnen de risico's aanzienlijk gereduceerd worden. In de zwakke plekken analyse is dit onderzocht. De meest kosten effectieve maatregelen en het effect op de risico's en de overstromingskansen staan in bijlage B. De maatregelen kunnen bestaan uit het uitvoeren van nader onderzoek (bijvoorbeeld het nemen van grondmonsters), het aanpassen van sluitprocedures bij kunstwerken of het fysiek aanpassen van de waterkering. Vaak kan door het aanpakken van enkele dijkvakken al een aanzienlijke verbetering van de veiligheid worden bereikt. En in een aantal gevallen is de zwakke plek ook al bij de vijfjaarlijkse toetsing gevonden, en zijn er al plannen gemaakt om het vak of kunstwerk te verbeteren.

Met het nemen van maatregelen gaan kosten gepaard. Bij de kostenbepaling is ervan uitgegaan dat er fysieke maatregelen getroffen moeten worden. Echter, het is ook mogelijk dat uit nader onderzoek blijkt dat de zwakke plek uiteindelijk toch geen zwakke plek is. Dat is dan een meevaller, omdat de kosten van onderzoek veelal lager zijn dan die van daadwerkelijk verbeteren. De aanbeveling is dan ook altijd om eerst nader onderzoek uit te voeren. Indien mocht blijken dat alle maatregelen noodzakelijk zijn dan bedragen de orde grootte van de kosten enkele miljoenen euro's voor dijkringen 7 en 14 en enkele tientallen miljoenen euro's voor dijkkring 36.

3.3 Risico's op basis van globale gevolgbepaling

In Tabel 3-3 staan de overstromingsrisico's voor alle zestien beschouwde dijkringen: het economisch risico, de economische schade en de kans op een overstroming. Het economisch risico is het bedrag dat jaarlijks gereserveerd zou moeten worden om in theorie alle schade van overstromingen te dekken.

De informatie uit deze paragraaf is afkomstig uit de dijkkringrapporten. De economische schade is met behulp van de zogenaamde "globale methode" bepaald (zie paragraaf 2.2.2). Voor het berekenen van aantallen slachtoffers is het nodig om over 'gedetailleerde' overstromingsscenario's te beschikken. Deze zijn alleen voor de drie dijkringen waarvoor een gedetailleerde gevolgbepaling is uitgevoerd beschikbaar. In de globale methode zijn geen aantallen slachtoffers en slachtofferrisico's bepaald. Deze aantallen zijn wel bepaald in (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2004).

Nr.	Dijkkring	Economisch risico [miljoen €/jaar]	Economische schade [miljoen €]	Kans [-]
3	Terschelling	0,1	160	1/1500
7	Noordoostpolder	10	9.000	1/900
10	Mastenbroek	12	1.200	> 1/100
13	Noord-Holland	116	58.000	1/500
14	Zuid-Holland	116	290.000	1/2500
15	Lopiker- en Krimpenerwaard	100	10.000	>1/100
16	Alblasserwaard en Vijfheerenlanden	48	19.000	1/400
25	Goeree-Overflakkee	3	3.700	1/1200
32	Zeeuwsch Vlaanderen	140	14.000	>1/100
36	Land van Heusden / De Maaskant	180	18.000	>1/100
38	Bommelerwaard	10	2.600	1/250
41	Land van Maas en Waal	64	6.400	>1/100
42	Ooij en Millingen	0.7	1.000	1/1400
43	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden	180	18.000	>1/100
48	Rijn en IJssel	34	6.800	1/200
52	Oost-Veluwe	31	3.100	>1/100

Tabel 3-3 Overzicht van economisch risico, schade en kansen voor alle zestien beschouwde dijkringen

Uit Tabel 3-3 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het economisch risico per dijkkringgebied vertoont grote variatie: van ca. € 0,1 miljoen voor Terschelling tot bijna € 200 miljoen voor het Land van Heusden / De Maaskant en de Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden.
- Het economisch risico voor de dijkringen langs de rivieren is in vergelijking met andere dijkringen relatief groot. Dit komt voornamelijk door grote overstromingskansen.
- De schade bij een overstroming van de dijkringen berekend met de globale methode varieert van € 160 miljoen voor Terschelling tot € 290 miljard voor Zuid-Holland. De lage waarde van Terschelling komt vooral vanwege de kleine omvang en het gering aantal economische activiteiten. De relatief grote waarde voor Zuid-Holland komt vooral door de

aanwezigheid van dieper gelegen gebieden met een groot aantal economische activiteiten die relatief snel onder water lopen.

- Voor de dijkringen 10, 15, 32, 36, 41, 43 en 52 is de overstromingskans kleiner dan 1/100. Het blijkt dat het mechanisme opbarsten en piping voor nagenoeg alle dijkringen het meest bijdraagt aan de overstromingskans. In een aantal dijkringen geldt dat ook sluitingsprocedures van kunstwerken relatief veel bijdragen aan de kans. Alleen voor Noord-Holland is een andere mechanisme dominant, namelijk afschuiven.
- Voor het mechanisme opbarsten en piping is voor meerdere dijkringen de kans erg hoog. Dit komt mede door de grote kennisonzekerheden (de kennis van de ondergrond is beperkt), maar het is ook mogelijk dat opbarsten en piping een onderschat fenomeen is. In de huidige praktijk wordt er massaal 'opgekist', en het effect van opkisten is niet meegenomen in de berekening van de overstromingskansen, mede omdat het menselijk handelen hierin een nogal onvoorspelbare factor is.

Ook hier geldt, net zoals bij de resultaten van de gedetailleerde gevolgbepaling, dat een beperkt aantal vakken of kunstwerken een relatief grote bijdrage kunnen leveren in de overstromingskans. Door het uitvoeren van nader onderzoek of het nemen van een beperkt aantal maatregelen kan de overstromingskans en daarmee het risico beperkt worden. Voor een aantal dijkringen met een relatief grote kans zijn in de zwakke plekken analyse de kosten van maatregelen en het effect, ofwel de risicoreductie, ervan onderzocht. Dit geldt voor de dijkringen 10, 14, 15, 25, 36 en 52. De meest kosteneffectieve maatregelen en het effect op de risico's en de overstromingskansen staan in bijlage B. Vanwege budgettaire beperkingen en tijdsgebrek is niet voor alle dijkringen met een relatief grote kans een zwakke plekken analyse uitgevoerd.

3.4 Aanvullende informatie uit de risicoberekeningen

De toepassing van de methode voor het berekenen van overstromingsrisico's geeft, naast de informatie over de risico's, nog tal van andere relevante uitkomsten die bijzonder bijdragen aan het inzicht in de veiligheid en de mogelijkheden die te verbeteren.

Zo zijn tot nu toe alleen overstromingskansen per dijkkring gepresenteerd, maar de analyse levert ook 'deelresultaten': de bijdragen aan overstromingskansen per mechanisme over alle vakken of kunstwerken, de bijdrage aan de overstromingskans per vak of per kunstwerk over alle mechanismen, of de bijdrage aan de overstromingskans per vak of per kunstwerk per mechanisme.

De gepresenteerde informatie in deze paragraaf kan voor meerdere doelen worden gebruikt. Het is niet de intentie om in deze paragraaf een uitputtend overzicht te geven, maar wel om een indruk te geven van relevante uitkomsten. In deze paragraaf is opgenomen:

- inzicht in de bijdragen van de afzonderlijke faalmechanismen in de overstromingskans;
- inzicht in de bijdragen van de afzonderlijke vakken of kunstwerken per faalmechanisme;
- inzicht in hydrodynamische overstromingsscenario's;
- inzicht in de economische schade per overstromingsscenario;
- inzicht in aantallen slachtoffers per overstromingsscenario;
- inzicht in kosten en baten van maatregelen voor bepalen van economische optimale beschermingsniveaus;
- inzicht in schade aan LNC (Landschap, Natuur en Cultuur);
- inzicht in schade aan milieu.

De uitkomsten worden per onderdeel voor één of enkele dijkkringgebieden gegeven. Voor de overige resultaten wordt verwezen naar de afzonderlijke dijkkringrapporten.

3.4.1. Bijdrage van de afzonderlijke faalmechanismen

In Tabel 3-4 tot en met Tabel 3-7 worden de resultaten per mechanisme per dijkkring gepresenteerd. Deze resultaten zijn beschikbaar voor alle beschouwde dijkkringgebieden, maar we presenteren deze alleen voor de drie dijkkringen waarvoor de gedetailleerde gevolgbepaling is gebruikt.

Nr.	Dijkkring	Overloop en golfoverslag	Opbarsten en piping	Beschadiging bekleding	Afschuiven binnentalud
7	Noordoostpolder	1/30.000	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$	1/50.000
14	Zuid-Holland	1/150.000	1/7000	1/70.000	$<10^{-6}$
36	Land van Heusden / De Maaskant	1/1200	1/100	1/900	$<10^{-6}$

Tabel 3-4 Overstromingskansen dijken, per faalmechanisme voor drie dijkkringgebieden

Uit Tabel 3-4 kan worden geconcludeerd:

- De kansen voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag zijn relatief klein. De kans heeft direct te maken met de hoogte van de kering, en die lijkt goed op orde te zijn. In vergelijking met dijkkring 7 en 14 is de kans voor dijkkring 36 Land van Heusden / De Maaskant relatief groot. Dat heeft deels te maken met de verhoging van de maatgevende afvoer voor de Rijn en de Maas in 2001 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2001). Er wordt in VNK niet met een maatgevende afvoer gerekend, maar deze aanpassing heeft wel invloed op de gehanteerde kansverdeling van extreme afvoeren. De rivier en de dijken hebben we echter nog niet aan deze nieuwe situatie aangepast. Na uitvoering van Ruimte voor de Rivier is dat wel het geval.

- Voor Dijkkring 14 (Zuid-Holland) is de kans relatief klein, en dat komt mede omdat voor deze dijkkring, conform de Leidraad Benedenrivieren, al een dijkkringbenadering toegepast wordt voor het bepalen van onder andere de hoogte van de waterkeringen. Dit betekent dat de veiligheidsnorm uit de Wet op de waterkering in deze dijkkring niet geldt voor een vak, maar voor de gehele ring.
- Voor opbarsten en piping is vooral voor dijkkring 36 Land van Heusden / De Maaskant de kans erg hoog. Dit komt mede door de grote kennisonzekerheden (de kennis van de ondergrond is beperkt), maar het is ook mogelijk dat opbarsten en piping een onderschat fenomeen is.
- De bijdragen van de overige twee mechanismen zijn beperkt.

Nr.	Dijkkring	Duinafslag
7	Noordoostpolder	n.v.t.
14	Zuid-Holland	1/5700
36	Land van Heusden / De Maaskant	n.v.t.

Tabel 3-5 Overstromingskansen duinen voor drie dijkkringgebieden

Tabel 3-5 geeft de overstromingskansen voor de duinen.

Vanzelfsprekend zijn duinen voor dijkkring 7 en 36 niet van belang. Alle duinvakken geven voor dijkkring 14 een overstromingskans van 1/5700, waarbij de duinen langs de Scheveningse boulevard de grootste bijdrage leveren. In relatieve zin is dit dus een relatief zwakke plek in de dijkkring. Voor de duinen in Zuid-Holland blijkt dat de geprioriteerde zwakke schakels langs de kust een grotere kans hebben dan overige duinvakken langs de Zuid-Hollandse kust. In absolute zin worden de duinen in de VNK berekeningen niet als zwakke plek gezien, maar dat komt omdat in VNK gerekend is met de vigerende hydraulische belastingen ("randvoorwaarden"), zoals deze elke vijf jaar (en het meest recent in 2001) door de minister van Verkeer en Waterstaat worden vastgesteld. In deze hydraulische randvoorwaarden 2001 is nog geen rekening gehouden met de mogelijke zwaardere golfcondities, zoals is aangegeven in (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005).

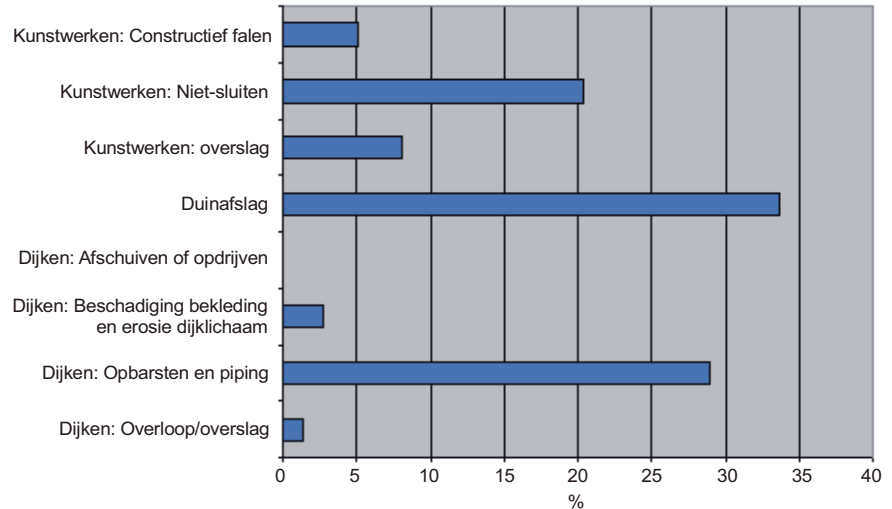
Nr.	Dijkkring	Overslag	Niet-sluiten	Constructief falen
7	Noordoostpolder	1/10.000	1/15.000	1/1000
14	Zuid-Holland	1/20.000	1/9000	<1/10000
36	Land van Heusden / De Maaskant	1/2000	1/300	1/1000

Tabel 3-6 Overstromingskansen kunstwerken, per faalmechanisme voor drie dijkkringgebieden

Tabel 3-6 geeft de overstromingskansen voor de kunstwerken. Voor kunstwerken die onder normale omstandigheden open staan geldt dat vaak het mechanisme niet-sluiten de grootste bijdrage levert. Veelal is

een effectieve maatregel: het aanpassen van de sluitprocedures, waardoor de kans afneemt dat er een probleem optreedt.

In Figuur 3-2 is grafisch de bijdrage van alle mechanismen voor dijkkring 14: Zuid-Holland weergegeven. Ook hier blijkt dat opbarsten en piping en duinafslag de belangrijkste mechanismen zijn.



Figuur 3-2 Relatieve bijdrage (in %) van de faalmechanismen aan de overstromingskans voor dijkkring 14: Zuid-Holland

In Tabel 3-7 is een overzicht gegeven van het mechanisme overloop en golfoverslag voor alle dijkringen. Uit deze tabel blijkt dat de kansen veelal relatief klein zijn, maar daarbij moet nog wel bedacht worden dat het deelmechanisme ‘afschuiven binnentalud’ (als onderdeel van het mechanisme overloop en golfoverslag) niet wordt meegenomen binnen VNK. Meenemen van dit mechanisme geeft naar verwachting een relatief geringe verhoging van de kans. Wel is duidelijk zichtbaar dat de dijkringen langs de rivieren de relatief grootste kansen hebben, en dat heeft als oorzaak dat de veiligheidsnorm in de Wet op de waterkering relatief het grootst is voor deze gebieden, en het faalmechanisme overloop en golfoverslag vooral te maken heeft met de dijkhoogte. Bovendien geldt dat voor deze dijkringen dat het project Ruimte voor de Rivier moet worden uitgevoerd, en dit project leidt naar verwachting tot halvering van de kansen voor het mechanisme overloop en golfoverslag. Het project Ruimte voor de Rivier heeft naar verwachting weinig invloed op de faalkansen van alle andere faalmechanismen.

Nummer	Naam	Overstromingskans voor overloop of golfoverslag
3	Terschelling	1/30.000
7	Noordoostpolder	1/30.000
10	Mastenbroek	1/1200
13	Noord-Holland	1/5000

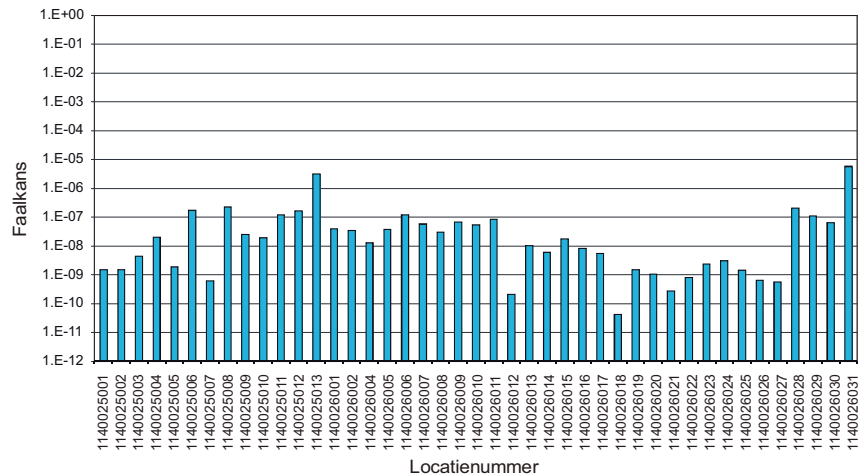
Nummer	Naam	Overstromingskans voor overloop of golfoverslag
14	Zuid-Holland	1/150.000
15	Lopiker- en Krimpenerwaard	1/2000
16	Alblasserwaard en Vijfheerenlanden	1/15.000
25	Goeree-Overflakkee	1/7000
32	Zeeuwsch Vlaanderen	1/10.000
36	Land van Heusden / De Maaskant	1/1200
38	Bommelerwaard	1/1600
41	Land van Maas en Waal	1/1300
42	Ooij en Millingen	1/1900
43	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden	1/1600
48	Rijn en IJssel	1/2000
52	Oost-Veluwe	1/600

Tabel 3-7 Overstromingskansen voor het mechanisme overloop en golfoverslag voor alle beschouwde dijkringen

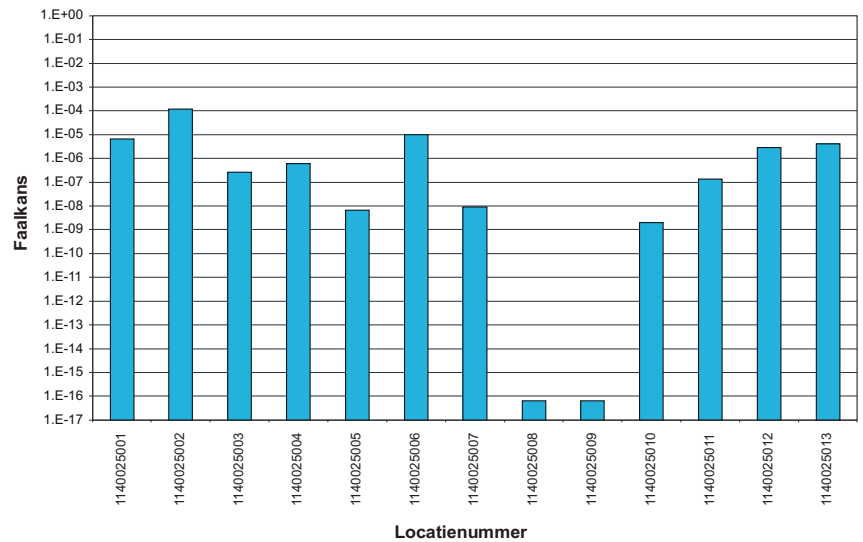
Verder is het opvallend dat de kans voor Noord-Holland relatief groot is, en de kans voor Zuid-Holland relatief klein. Ook de relatief grote kansen voor Mastenbroek en Goeree-Overflakkee zijn opvallend.

3.4.2. Bijdrage van de afzonderlijke vakken

De berekeningen voor de overstromingskansen geven ook inzicht in de bijdrage van elk vak of kunstwerk aan de totale overstromingskans, al dan niet gesommeerd over alle faalmechanismen. In deze paragraaf geven we voor twee dijkringen (14: Zuid-Holland en 43: Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) de bijdrage van de afzonderlijke vakken voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag. Ook wordt voor dijkkring 14: Zuid-Holland de bijdrage van de afzonderlijke vakken gegeven voor het mechanisme opbarsten en piping. In Figuur 3-3 is de bijdrage van de dijkvakken voor overloop of golfoverslag langs de Nieuwe Waterweg en langs de Nieuwe Maas weergegeven. Opvallend is de grote fluctuatie tussen de vakken, en ook dat de individuele faalkans van elk vak afzonderlijk kleiner is dan 1/200.000. De bijdrage van het mechanisme voor alle vakken is gelijk aan 1/150.000, en dat is slechts iets groter dan de bijdrage van het vak met de grootste overstromingskans. Dat komt omdat het hier een sterk aan de waterstand, dus onderling gecorreleerd faalmechanisme betreft.



Figuur 3-3 Faalkans van de dijkvakken in dijkkring 14: Zuid-Holland voor mechanisme overloop of golfoverslag



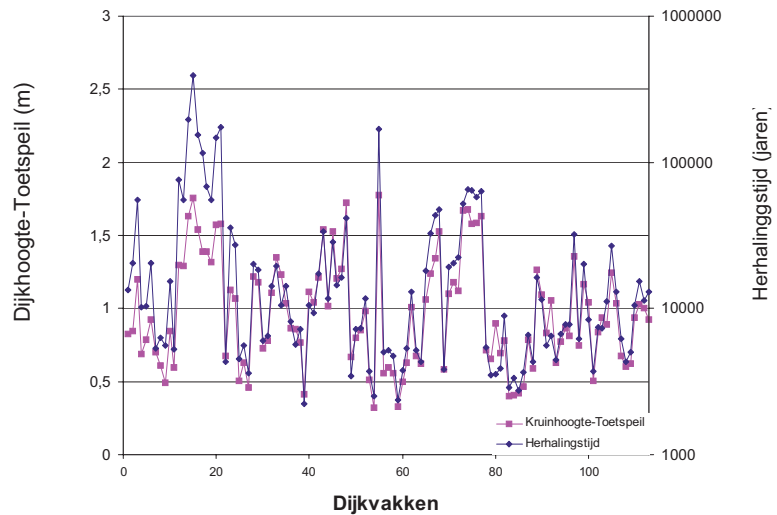
Figuur 3-4 Faalkans van de dijkvakken in dijkkring 14: Zuid-Holland voor mechanisme opbarsten en piping

Uit de bovenstaande figuren kan geconcludeerd worden dat dijkkring 14 voor wat betreft de hoogte goed op orde is, maar dat het mechanisme opbarsten en piping veel meer bijdraagt aan de overstromingskans dan overloop en golfoverslag. Met de VNK methode kunnen dergelijke inzichten worden gegenereerd.

Ook voor dijkkring 43 is de faalkans van alle dijkvakken voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag weergegeven. In Figuur 3-5 is het verschil tussen de dijkhoogte en het "toetspeil" (de maatgevende hoogwaterwaterstand, behorende bij een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s) weergegeven. Dit verschil wordt hier 'waakhoogte' genoemd, en bedraagt volgens de ontwerpleidraden van de minister van Verkeer en Waterstaat minimaal een halve meter, en is tevens afhankelijk van de hoogte van de lokale windgolfjes. Omdat de dijken en/of de rivier nog niet gedimensioneerd zijn op de nieuwe

maatgevende afvoer, is er voor meerdere dijkvakken een hoogtetekort. Dit probleem wordt opgelost in het project Ruimte voor de Rivier door aanpassing van de rivier of de dijken. In Figuur 3-5 is duidelijk een relatie te zien tussen de herhalingsjijd van een vak en de hoogte van een vak ten opzichte van het toetspeil: ligt de dijk hoger ten opzichte van het 'toetspeil' dan is de herhalingsjijd van dat dijkvak relatief groot. Dit is ook conform de verwachting.

De kleinste herhalingsjijd van een vak is gelijk aan ca. 2200 jaar, en de herhalingsjijd van dit mechanisme van alle vakken is gelijk aan 1600 jaar.

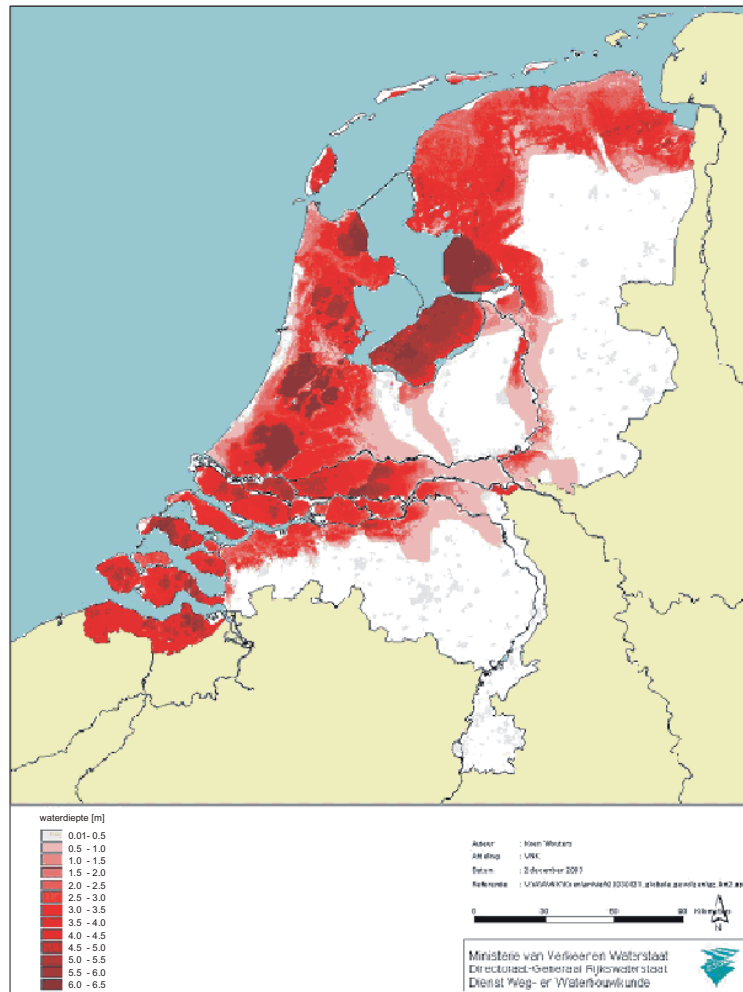


Figuur 3-5 Relatie tussen dijkhoogte min toetspeil en de herhalingsjijd

3.4.3. Overstromingsscenario's

In hoofdstuk 2 is aangegeven dat de gevolgen van overstromingen op twee manieren bepaald kan worden: de 'globale' methode waarin in het overstromingsscenario als uitgangspunt gehanteerd wordt dat het water komt te staan tot aan de (laagste) kruin, en de 'gedetailleerde' methode waarin met behulp van simulatiemodellen een overstroming doorgerekend wordt.

In de globale methode is een kaart met maximale waterdieptes ontwikkeld. Deze kaart is weergegeven in Figuur 3-6. Deze kaart geeft een beeld van de maximale waterdieptes die op kunnen treden bij een overstroming, en is daardoor van groot belang. Zo is op deze kaart te zien dat de kuststrook van Noord- en Zuid-Holland veel hoger ligt dan de polders achter deze kuststrook. Dat betekent bijvoorbeeld dat een stad als Den Haag veel minder kwetsbaar is dan de Willem Alexanderpolder nabij Rotterdam.



Figuur 3-6 Maximale waterdiepte bij een overstroming

Voor het bepalen van de 'gedetailleerde' gevolgen van een overstroming zijn in kader van VNK berekeningen uitgevoerd met een hydrodynamisch simulatiemodel. Deze berekeningen zijn beschikbaar in de vorm van 'filmpjes' waarmee het tijdsverloop van een overstroming kan worden gevolgd. Deze filmpjes zijn inmiddels voor meerdere dijkkringen beschikbaar, voor dijkkring 7: Noordoostpolder, dijkkring 14: Zuid-Holland en dijkkring 36: Land van Heusden / De Maaskant. Per dijkkring zijn meer dan 10 verschillende scenario's doorgerekend. Een bijzonder lastig probleem in deze simulatieberekeningen is het gedrag van zogenaamde niet-primaire waterkeringen in een dijkkringgebied, zoals bijvoorbeeld een boezemkade of een oude kering. Deze zogenaamde 'lijnelementen' kunnen het water tegenhouden, waardoor er minder gebieden overstromen of overstroming vertraagd wordt. Het is echter ook duidelijk dat deze keringen niet op deze belasting zijn gedimensioneerd en daarvoor niet worden onderhouden. Er zijn daarom binnen VNK twee berekeningen gemaakt: één waarin deze keringen in stand blijven totdat ze overlopen, en één berekening waarin deze quasi-waterkeringen in een eerder stadium bezwijken.

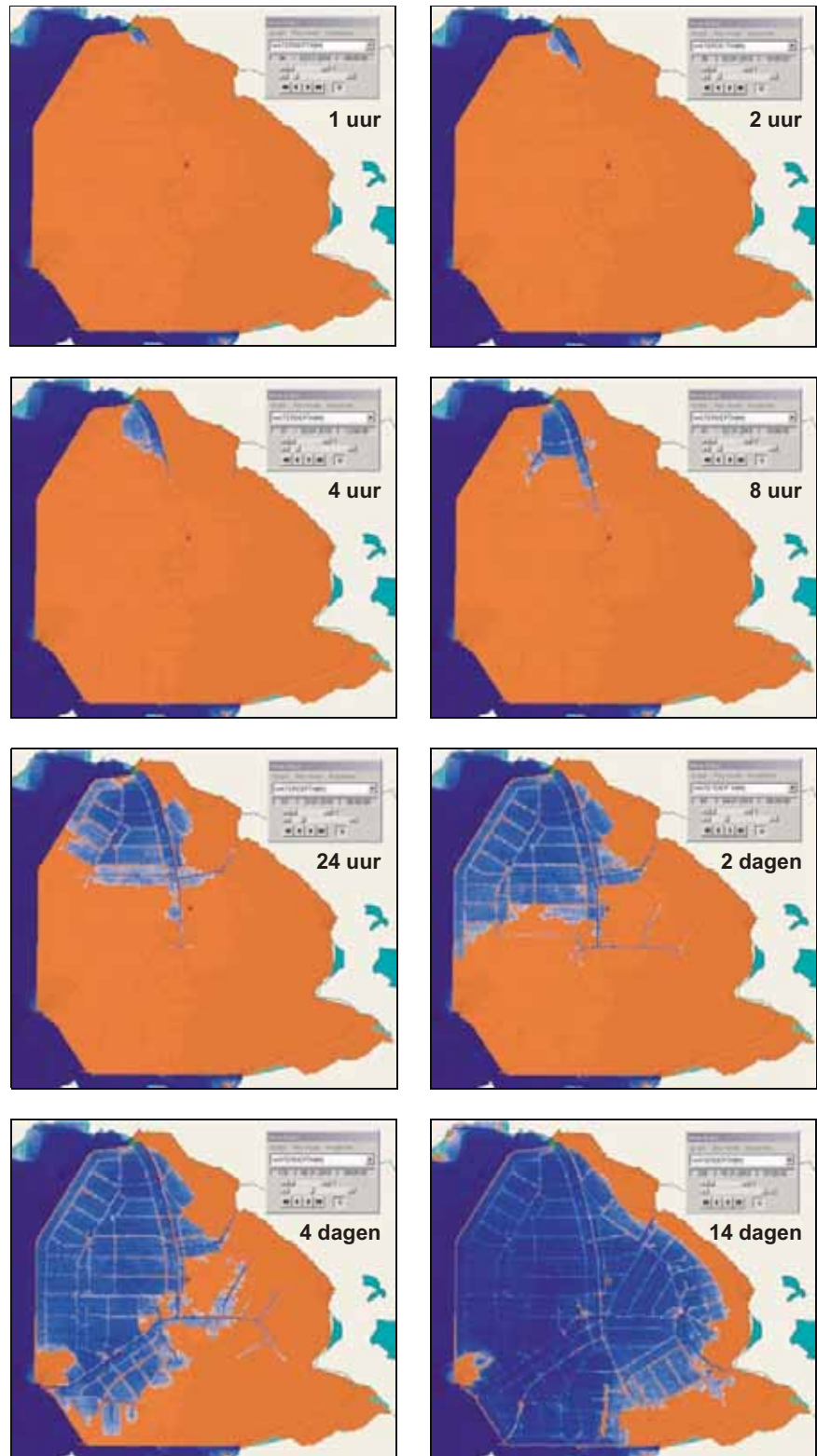
In deze paragraaf worden alleen resultaten van dijkkring 7: Noordoostpolder gegeven. In Figuur 3-8 is een uitkomst van een overstromingsberekening weergegeven, namelijk de waterdieptes in dijkkring 7: Noordoostpolder. De doorbraaklocatie bij het betreffende doorbraakscenario ligt ten zuiden van Urk (Figuur 3-7).



Figuur 3-7 Doorbraakscenario met doorbraaklocatie ten zuiden van Urk

Bij dit scenario ontstaan in het westelijk deel van de dijkkring overstromingsdieptes van meer dan 3 meter. Uit Figuur 3-8 valt verder op dat de randen van het dijkringgebied duidelijk hoger liggen: het gebied komt daar niet onder water te staan.

Naast kaarten met waterdieptes kunnen ook allerlei andere relevante kaarten worden gemaakt. Zo kan ook informatie over de stijgsnelheid van het water worden gegeven. Deze informatie is van belang bij het schatten van het aantal slachtoffers.



Figuur 3-8 Het verloop van een overstroming voor een doorbraakscenario in de Noordoostpolder

3.4.4. Economische schade per overstromingsscenario

Overstromingsscenario's worden gebruikt voor het schatten van de economische schade bij een overstroming. In de globale methode wordt de kaart met maximale waterdieptes (Figuur 3-6) gebruikt om de schade te bepalen. De uitkomsten zijn weergegeven op de kaart in Figuur 3-9.



Figuur 3-9 Schadekaart van Nederland behorende bij waterdieptes van Figuur 3-6

In de gedetailleerde methode wordt de economische schade bepaald per overstromingsscenario dat met een hydrodynamisch model berekend wordt. De doorbraaklocaties worden gekozen op de zwakke plekken. In Tabel 3-8 staat een overzicht van de tien meest waarschijnlijke overstromingsscenario's van dijkkring 14 in de huidige situatie. Tevens is aangegeven of de overstroming vanuit de kust plaatsvindt of vanuit de rivier, en hoeveel bressen ontstaan. Ook de maximale waterstand langs de kust of de rivier voorafgaand aan de overstroming is weergegeven. De som van alle overstromingsscenario's is gelijk aan de overstromingskans voor de gehele ring. Het economisch

risico van de gehele dijkkring is gelijk aan de som van het risico (=schade x kans) van alle overstromingsscenario's.

Nummer scenario	Breslocatie	Kans [-]	Schade [miljard €]	Type	Aantal bressen	Waterstand [m +NAP]
1	Kralingen	1/7300	6,8	Rivier	1	1,95
2	Scheveningen Boulevard	1/8400	1,9	Kust	1	4,65
3	Scheveningen sluis	1/13.000	3,6	Kust	1	5,1
4	Katwijk	1/41.000	11,3	Kust	1	4,43
5	Hoek van Holland	1/87.000	2,0	Kust	1	4,95
6	Katwijk en Scheveningen Boulevard	1/120.000	13,4	Kust	2	4,65
7	Scheveningen Boulevard en Ter Heijde	1/140.000	22,8	Kust	2	5,67
8	Rotterdam West	1/200.000	2,5	Rivier	1	3,79
9	Rotterdam Oost	1/270.000	5,7	Rivier	1	3,73
10	Katwijk, Scheveningen Boulevard en Ter Heijde	1/450.000	37,2	Kust	3	5,67

Tabel 3-8 Overzicht van de schade per overstromingsscenario voor de huidige situatie in dijkkring 14 Zuid-Holland.

De schadegetallen in Tabel 3-8 zijn (veel) lager dan het schadegetal uit de globale schadebepaling. Daar is een bedrag van circa 280 miljard € gegeven. De oorzaak hiervan is dat uit de gedetailleerde overstromingsberekeningen gebleken is dat het niet erg waarschijnlijk is dat de gehele dijkkring 14 tot aan de (laagste) kruin onder water komt te staan. Het wil overigens niet zeggen dat een schadebedrag van 280 miljard € fysiek onmogelijk is, omdat geen bovengrenzen bekend zijn van de extreme zeewaterstanden en golven. In VNK is bijvoorbeeld berekend dat een 'extremer' scenario dan scenario 10 uit Tabel 3-8 met zeewaterstand van 7 m +NAP leidt tot een schade van bijna 80 miljard €. De kans hierop is kleiner dan 10^{-6} , zodat de bijdrage van dit bedrag aan het risico gering is.

3.4.5. Aantal slachtoffers per overstromingsscenario

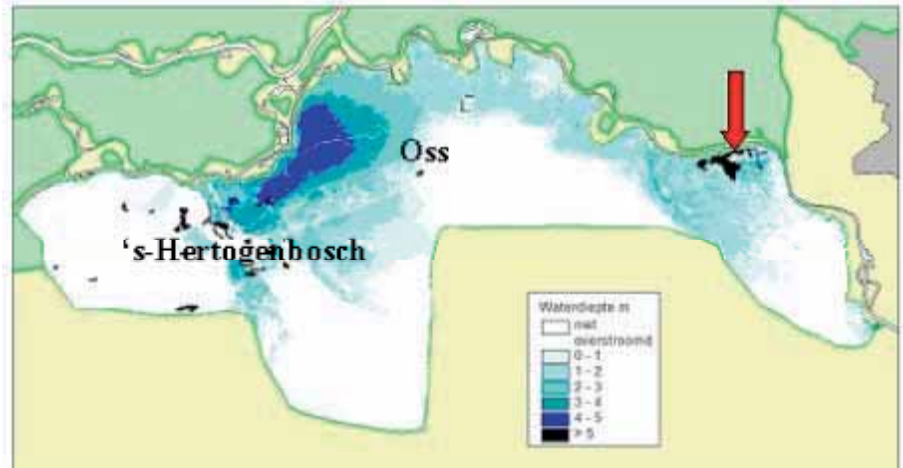
De overstromingsscenario's worden ook gebruikt voor het bepalen van het aantal slachtoffers. Voor de drie dijkkringen waarvoor de gedetailleerde methode voor de gevolgbepaling is toegepast kan, per overstromingsscenario, het aantal slachtoffers worden bepaald. Voor de dijkkringen waarbij de globale methode voor de gevolgbepaling is gebruikt is dat niet mogelijk omdat een aantal benodigde variabelen (zoals de stijgsnelheid) niet beschikbaar is.

Ter illustratie geven we de uitkomsten voor dijkkring 36: Land van Heusden / De Maaskant. In het gebied wonen 407.000 inwoners, maar slechts een deel hiervan wordt getroffen bij een overstroming. Het aantal getroffen en slachtoffers is weergegeven in Tabel 3-9 evenals het aantal slachtoffers. Bij de bepaling van het aantal slachtoffers is geen rekening gehouden met evacuatie, en het betreft een onverwachte overstroming.

Nummer	Breslocatie	Aantal getroffen	Aantal slachtoffers
1	Bokhoven	3300	20
2	Boxmeer	1200	20
3	Cuijk	43.000	300
4	Dieden	111.000	480
5	Doeveren	9000	40
6	Gewande	63.000	240
7	Heusden	28.000	80
8	Keent	87.000	320
9	Kraaijenbergse plassen	179.000	800
10	Lith	49.000	170
11	Maaspoort	42.000	120
12	Oijen	46.000	120
13	Ravestein	81.000	320

Tabel 3-9 Overzicht van aantal getroffen en aantal slachtoffers per overstromingsscenario voor de huidige situatie in dijkkring 36: Land van Heusden / De Maaskant

De waterdiepte in het overstromingsscenario met het grootste aantal slachtoffers is weergegeven in . Met een rode pijl is de doorbraaklocatie aangegeven. Over het algemeen is er sprake van beperkte overstromingsdieptes van 1 à 2 meter. Alleen in het landelijk gebied ten westen van Oss ontstaan er grote overstromingsdieptes. Dit gebied heeft weinig inwoners. Op een aantal plaatsen in het gebied is sprake van grote stijgsnelheid dat vaak meer slachtoffers veroorzaakt.

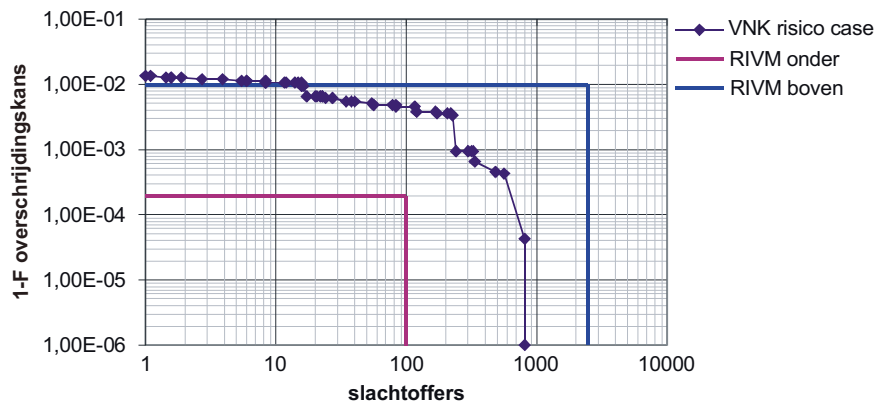


Figuur 3-10 Waterdieptes voor het doorbraakscenario bij Kraaijenbergse Plassen

In Tabel 3-9 is geen rekening gehouden met evacuatie. Vooral voor het rivierengebied wordt veelal gesuggereerd dat er gemakkelijk geëvacueerd kan worden, omdat een hoogwater op de rivier voorspeld kan worden. Daarom is binnen VNK de invloed van evacuatie onderzocht (Doef en Cappendijk, 2005). Wellicht ten overvloede wordt benadrukt dat het meenemen van evacuaties in slachtofferbepaling alleen gerechtvaardigd is indien ook maatregelen worden getroffen om deze maatregelen te implementeren in bijvoorbeeld rampenbestrijdingsplannen.

Het aantal slachtoffers bij een overstroming is voor vier situaties, afhankelijk van een voorziene of onverwachte overstroming en van de uitvoering van evacuatie, bepaald (Doef en Cappendijk, 2005). In Figuur 2-5 is de gebeurtenissenboom weergegeven waarmee de invloed van evacuatie is onderzocht. De mogelijkheid om een overstroming te kunnen voorspellen is voor een preventieve evacuatie van groot belang. De voorspelbaarheid hangt af van het type bedreiging en het type faalmechanismen. Een extreem hoge waterstand op de rivieren dient zich vaak een aantal dagen van tevoren aan. Een hoge waterstand op zee is vaak veel korter van tevoren voorspelbaar. Opbarsten en piping is lastiger te voorspellen dan overloop en golfoverslag.

In Tabel 3-9 zijn de slachtoffers gepresenteerd voor de gebeurtenis "onverwachte overstroming, geen evacuatie". De andere gebeurtenissen leiden tot minder slachtoffers, waarbij vooral in geval van een "voorziene overstroming" veel minder slachtoffers vallen. Het maximum aantal van 800 slachtoffers wordt gereduceerd tot circa 40 slachtoffers. Door aan alle gebeurtenissen een kans toe te kennen kan een zogenaamde FN curve, een veel gebruikt presentatiemiddel binnen andere veiligheidsterreinen, gemaakt worden. Zie hiervoor Figuur 3-12. De FN curve toont de overschrijdingskans van een bepaald aantal slachtoffers. In de figuur is ook de FN curve weergegeven die in de RIVM studie (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2004) gebruikt is.



Figuur 3-11 Groepsrisico curve voor dijkkring 36 en vergelijking met schattingen RIVM

De kans berekend in VNK is groter dan de RIVM bovengrens. In veel gevallen zijn de gevolgen kleiner dan de ondergrens schatting van het RIVM. De scenario's met de grootste slachtofferaantallen liggen ongeveer tussen onder- en bovengrenzen van het RIVM.

Belangrijke bijdragen aan het groepsrisico worden geleverd door de doorbraakscenario's 8 en 9 bij Keent en Kraaijbergse Plassen. Dit scenario veroorzaakt mede de sprong naar beneden in het midden van de FN curve.

Uitgaande van het overstromingsscenario met het grootste aantal getroffen (ongeveer 180.000 personen) bedraagt het gemiddeld individueel risico $7 \cdot 10^{-6}$ per jaar ($= 1,31/180.000$, waarbij 1,31 het jaarlijks slachtofferrisico is, zie Tabel 3-2).

3.4.6. Verkenning van kosten-baten analyse dijkkring 14

In het project VNK is een eerste aanzet gegeven voor het uitvoeren van een kosten-baten analyse voor dijkkring 14 (Thonus et al, 2005). De resultaten uit deze verkenning mogen niet worden gebruikt voor het voeren van een discussie voor optimale veiligheidsnormen omdat een aantal factoren nog niet in de analyse is opgenomen. Er is bijvoorbeeld geen rekening gehouden met de verwachte klimaatverandering, en deze veranderingen kunnen van invloed zijn op het optimum. Ook de kostenbepaling is erg globaal uitgevoerd, waardoor de kosten mogelijk onderschat of overschat worden.

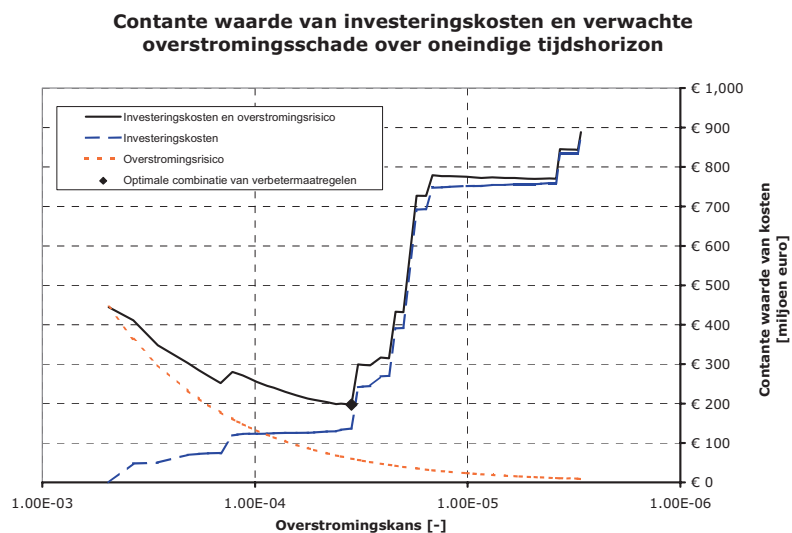
In het onderzoek zijn maatregelen voor de waterkeringen gedefinieerd. Van elke maatregel is met behulp van PC-Ring het effect op de overstromingskans onderzocht. Voor een aantal maatregelen is dat relatief eenvoudig omdat er eenduidig een verband is met een variabele in PC-Ring. Zo kunnen maatregelen gedefinieerd worden voor het mechanisme opbarsten en piping door de kwelweglengte te vergroten. Maar er zijn ook maatregelen waar geen eenduidig verband kan worden gelegd met een variabele, zoals voor de Scheveningse boulevard en de kunstwerken. De effecten van maatregelen zijn hiervoor globaal ingeschat.

Vervolgens is ingeschat welke kosten gepaard gaan met het nemen van maatregelen. Deze kosten zijn veelal locatie afhankelijk (de aanwezigheid van bebouwing heeft vaak een grote invloed op de kosten). De baten van de maatregelen bestaan uit de reductie van het overstromingsrisico. Om de baten te kunnen vergelijken met de investeringskosten is de Contante Waarde bepaald van het risico. In de analyse is uitgegaan van een discontovoet van 4% en een economische groei van 2%. Ook is het in het onderzoek gecontroleerd of voldaan is aan het First Year Rate of Return criterium (Centraal Planbureau, 2005).

In het onderzoek zijn vier varianten onderzocht:

1. analyse voor de gehele dijkkring met alleen materiële schade;
2. analyse voor de gehele dijkkring met zowel materiële als immateriële schade;
3. analyse voor alleen de dijken in de dijkkring, met alleen de materiële schade;
4. analyse voor alleen de dijken in de dijkkring, met zowel materiele als immateriële schade.

In deze paragraaf presenteren we alleen de resultaten voor de tweede variant. In Figuur 3-12 staan de resultaten weergegeven van de analyse: zowel de investeringskosten van maatregelen, overstromingsrisico, als de totale kosten zijn weergegeven als functie van de overstromingskans. Uit deze figuur kan worden afgelezen dat het economisch optimum zich bevindt bij een overstromingskans van 1/30.000. De investeringskosten bedragen dan globaal 140 miljoen €. De resultaten worden sterk gedomineerd door de aanpassing van de Scheveningse boulevard: hiervoor is een kostenpost geschat van bijna 50 miljoen €. Als deze aanpassing goedkoper kan worden uitgevoerd dan is de overstromingskans behorende bij het economisch optimum kleiner dan 1/100.000.



Figuur 3-12 Kosten en baten voor dijkkring 14: Zuid-Holland

3.4.7. Schade aan LNC en milieu

LNC aspecten

Voor een tweetal dijkkringgebieden (dijkkring 14: Zuid-Holland en 36: Land van Heusden / De Maaskant) is een indicatieve berekening gemaakt van de schade aan LNC aspecten. Uit deze berekening blijkt dat de schade door een zout water overstroming veel groter is dan door een zoetwater overstroming. Ook blijkt dat de schade aan de in beschouwing genomen aspecten aanzienlijk is (vaak meer dan 75% van de aanwezige waarden gaat verloren, zodat er sprake is van een ramp in een ramp). Binnen VNK is de methode om schade aan LNC te berekenen ontwikkeld, maar niet verder toegepast.

Milieuschade

De methode om een globaal inzicht te verkrijgen in de te verwachten milieuschade is voor één dijkkringgebied (36: Land van Heusden / De Maaskant) beproefd in een pilot studie. Hoewel in de pilot nog geen verspreidingsberekeningen zijn gedaan, wordt op basis van de pilot geen grootschalige milieuschade verwacht ten gevolge van het vrijkomen van schadelijke stoffen bij de geïntermediateerde bedrijven. Het blijft echter aan te bevelen dat risicobedrijven middels noodplannen zijn voorbereid op eventuele overstromingen, opdat zij de nodige ad-hoc-maatregelen kunnen nemen om het vrijkomen van stoffen zo veel mogelijk te voorkomen. Dit geldt ook voor olietanks. Volgens (Delft Cluster, 2003) is de bijdrage van kantoren en huishoudens aan schadelijke stoffen verwaarloosbaar klein. Het verplaatsen van activiteiten naar hogere en veiligere gebieden lijkt voorlopig te ver te voeren en te kostbaar in vergelijking met de omvang van de risico's.

4. Analyse en bruikbaarheid van de methode

In dit hoofdstuk worden de resultaten uit hoofdstuk 3 nader geanalyseerd. Allereerst wordt de vraag gesteld of de berekende kansen niet veel te groot zijn in vergelijking met de eisen die de Wet op de waterkering stelt aan de primaire waterkeringen. Vervolgens wordt ingegaan op een mogelijke toepassing van de resultaten, namelijk het voeren van een maatschappelijke discussie op basis van inzicht in overstromingsrisico's en de kosten om deze verder te beperken. De VNK resultaten zijn echter nog niet hiervoor geschikt maar er is wel een grote stap voorwaarts gezet om de discussie te kunnen voeren. Enkele overwegingen over de inbreng van de VNK resultaten kunnen al wel worden gemaakt.

4.1 Zijn de berekende kansen niet veel te groot?

De meest opvallende resultaten in dit rapport zijn de relatief grote overstromingskansen die worden berekend. De vraag is welke verklaring hiervoor gegeven kan worden.

Beschikbare kennis en informatie

Allereerst is het van belang op te merken dat de berekende overstromingskansen de meest reële weergave weerspiegelen van de overstromingskansen *gegeven de beschikbare kennis en informatie*. De berekende kans verandert niet alleen door fysieke versterking van de waterkering. Met nader onderzoek kan de beschikbare informatie worden vergroot en de kennisonzekerheid worden verkleind. Of dit daadwerkelijk leidt tot een geringe kans is afhankelijk van de uitkomsten van het onderzoek. Valt het onderzoek gunstig uit dan resulteert nader onderzoek in een lagere overstromingskans. Een ongunstig resultaat leidt tot een hogere overstromingskans.

Relatie met overschrijdingskansen

Vaak wordt de berekende overstromingskans vergeleken met de veiligheidsnorm uit de Wet op de waterkering. Deze veiligheidsnorm is echter geen overstromingskans, maar een overschrijdingskans van waterstanden (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2000). Op basis van deze waterstand (het ontwerppeil) wordt de waterkering ontworpen, niet alleen op hoogte maar ook op de andere faalmechanismen. Echter, voor deze mechanismen zijn geen expliciete eisen geformuleerd in de Wet op de waterkering. De Deltacommissie is er vanuit gegaan dat de overstromingskans kleiner is dan de overschrijdingskans: "..... enige overschrijding van het ontwerppeil niet aanstonds tot een ramp hoeft te leiden. Bij de berekening van het in de bijdrage genoemde peil is echter wel uitgegaan van de gedachte, dat overschrijding tot een ramp met maximale schade zou leiden. Dit peil wordt dus een rampeil genoemd; het ontwerppeil kan lager zijn" (Geodelft, 2004, pag. 33). De Deltacommissie berekende destijds een economisch optimale overstromingskans van 1/125.000 voor dijkkring 14. Deze kans is veel kleiner dan de overschrijdingskans uit de Wet op de waterkering (1/10.000), omdat verwacht mag worden dat de

waterkering nog niet direct faalt bij overschrijding van de maatgevende waterstand (reststerkte).

De VNK methode voor het bepalen van overstromingskansen onderscheidt zich van de huidige benadering op basis van overschrijdingskansen op drie punten:

- Er is sprake van een dijkkringbenadering in plaats van de dijkvakbenadering: een dijkkring is een combinatie van dijkvakken, duinen en kunstwerken;
- het expliciet meenemen van verschillende wijzen waarop een dijk kan bezwijken (faalmechanismen, zoals verlies van stabiliteit en overlopen van een dijk);
- het meenemen van onzekerheid in de bepaling van de kansen.

De overstromingskans is dus op andere uitgangspunten gebaseerd dan de overschrijdingskans, en geeft dus ook andere uitkomsten. Er is wel een sterke relatie tussen de overschrijdingskans van waterstanden en de overstromingskans voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag. In het algemeen geldt dat als de veiligheidsnorm uit de Wet op de watering relatief klein is, dat dan ook de faalkans voor een dijkvak relatief klein is voor het mechanisme overloop en golfoverslag. In het bepalen van de faalkans voor dit mechanisme wordt ook de zogenaamde 'reststerkte' meegenomen, waarmee bedoeld wordt dat een waterkering niet direct bezwijkt als niet meer aan de veiligheidsnorm uit de Wet op de waterkering voldaan wordt. Bijvoorbeeld: bij een hogere waterstand dan het 'maatgevend' toetspeil hoeft niet direct een overstroming op te treden omdat de waterkering hoger aangelegd wordt dan het 'maatgevend' toetspeil.

De overstromingskansen die in VNK zijn berekend, zijn meestal groter en soms kleiner dan de veiligheidsnorm. Dat is logisch omdat de overstromingskans op een andere manier bepaald wordt dan de norm.

De overstromingskans kan groter zijn dan de huidige norm om de volgende redenen:

- In het rivierengebied is de ontwerpwaterstand, die afgeleid wordt van de norm, enkele jaren geleden verhoogd. De waterkeringen voldoen nog niet overal aan de nieuwe ontwerpeisen; binnen VNK is gebruik gemaakt van de toestand van de waterkeringen, vóór de uitvoering van Ruimte voor de Rivier.
- In de overstromingskans zijn faalkansen van alle dijkvakken in een dijkkring gecombineerd; de huidige norm geldt slechts voor een dijkvak. De overstromingskans is altijd groter dan de faalkans van één van de afzonderlijke dijkvakken.
- In de overstromingskans zijn de kansen op alle faalmechanismen voor een dijkkring gecombineerd. De overstromingskans is altijd groter dan de kans op één van de afzonderlijke faalmechanismen.
- In de overstromingskans zijn (kennis)onzekerheden verwerkt, dat leidt tot een grotere kans.

Maar de overstromingskans kan ook kleiner zijn dan huidige norm, om de volgende redenen:

- De dijken overstroomden niet meteen als de waterstand hoger is dan de normwaterstand, omdat de dijken tenminste een halve meter hoger gebouwd worden.
- Als een faalmechanisme in werking treedt, hoeft de waterkering nog niet onmiddellijk te bezwijken; VNK houdt rekening met deze 'reststerkte'.
- De waterkeringen zijn op sommige plaatsen aanzienlijk sterker dan de norm, bijvoorbeeld omdat in het verleden een strengere norm van toepassing was.

Uit de resultaten blijkt dat vooral voor de mechanismen opbarsten en piping voor dijken, en niet-sluiten van kunstwerken de kansen veel groter zijn dan verwacht. Maar ook andere mechanismen zijn in enkele dijkringen maatgevend. Nader onderzoek moet uitwijzen of er daadwerkelijk een fysiek tekort is aan de waterkering, of dat de oorzaak gezocht moet worden in gebrek aan kennis en informatie.

4.2 Analyse van de gevolgen van overstromingen

In de risicobenadering staan ook de gevolgen van overstromingen, de aantallen slachtoffers en de economische schade centraal. Voor het berekenen van schade en aantallen slachtoffers zijn overstromingsscenario's nodig.

De berekeningen tonen aan dat er bij een grootschalige overstroming in Nederland slachtoffers zijn te verwachten. Het aantal slachtoffers kan variëren van enkele personen tot enkele duizenden voor extreme gevallen. Het aantal slachtoffers hangt sterk af van het doorbraakscenario en het is daarom lastig om een uitspraak te doen over een karakteristiek slachtofferaantal voor een bepaalde dijkring. Het aantal slachtoffers lijkt wel veel lager te liggen dan de bovengrenzen die in (Klijn et al, 2004) en (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2004) genoemd zijn. Een belangrijke reden hiervoor is dat de gehanteerde overstromingsscenario's in (Klijn et al, 2004) en (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2004) door de conservatieve aannamen zeer extreem zijn.

Met betrekking tot de economische schade geldt dat de schade bij overstroming van een dijkringgebied veelal enkele miljarden euro's bedraagt, en zelfs enkele tientallen miljarden euro's kan bedragen. Bedragen van meer dan 100 miljard euro voor één dijkringgebied lijken echter onwaarschijnlijk. Het jaarlijks economisch risico per inwoner van een dijkringgebied varieert sterk: voor dijkring 14 Zuid-Holland bedraagt deze bijvoorbeeld ca. 1 euro, maar vooral in het rivierengebied ligt het risico per inwoner een factor 10 tot 100 hoger.

4.3 Analyse van risico's essentieel

Bij deze presentatie van de eerste resultaten van het project VNK zijn allereerst de "oorzaken" en achtergronden van de faalkansen van groot belang. In deze stap past de toetsing van de invloed van uitgangspunten en gehanteerde methoden op de rekenresultaten. Zo is

in VNK bijvoorbeeld expliciet genoemd dat conservatieve uitgangspunten zijn gehanteerd als gevolg van onvoldoende of onvolledige informatie. Daarbij is een mogelijk perspectief geschetst waar de berekeningsresultaten op uit zouden kunnen komen wanneer optimistisch realistische uitgangspunten zouden worden gehanteerd. Vervolgens zijn de belangrijkste onzekerheden en hun invloed op de overstromingskansen geanalyseerd. Hieraan is onverbrekkelijk een verkenning van mogelijkheden en kosten om onzekerheden en daarmee de berekende overstromingskans te reduceren verbonden. Binnen VNK is voor een aantal dijkringen hieraan invulling gegeven.

Op deze wijze zal de 'berekende overstromingskans' de 'werkelijke overstromingskans' steeds dichterbij benaderen. De laatste stap is het daadwerkelijk ontwerpen van versterkingsmaatregelen die de faalkans van de waterkering terugbrengen. Steeds verdergaande maatregelen leveren tegen stijgende kosten een steeds grotere veiligheid op. Het raamwerk van deze presentatie is in feite de economische afweging zoals die ooit door de Deltacommissie werd gemaakt.

4.4 Vergelijking met andere studies

Ook in andere studieprojecten is onderzoek gedaan naar overstromingskansen en de gevolgen van de overstromingen. Het is de vraag op welke manier de resultaten uit de VNK zich verhouden tot enkele andere studies. Daarbij moet worden bedacht dat andere studies veelal andere uitgangspunten gebruiken. Maar vergelijken heeft nut, omdat geëvalueerd kan worden hoe de uitkomsten van VNK zich verhouden met die andere studies.

Er wordt een vergelijking uitgevoerd met de overstromingskansen voor het mechanisme overloop en golfoverslag uit het project RampenBeheersing Strategie Overstromingen Rijn en Maas (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005), en de aantallen slachtoffers worden vergeleken met uitkomsten van (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2004).

Overstromingskansen RBSO en VNK voor één faalmechanisme

In onderstaande tabel staan de uitkomsten van VNK en RBSO voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag, voor een zevental dijkringgebieden in het rivierengebied. RBSO heeft alleen dijkringen onderzocht in het bovenrivierengebied.

Nr.	Dijkkring	RBSO	VNK
36	Land van Heusden / De Maaskant	1/2050	1/1200
38	Bommelerwaard	1/2450	1/1850
41	Land van Maas en Waal	1/2000	1/1400
42	Ooij en Millingen	1/3600	1/2350
43	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden	1/1350	1/1600
48	Rijn en IJssel	1/4100	1/2350
52	Oost-Veluwe	1/1100	1/650

Tabel 4-1 Vergelijking kansen tussen RBSO en VNK voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag

In Tabel 4-1 valt op dat de kansen in RBSO bijna altijd kleiner zijn dan de kansen in VNK. Dat is de verwachting, omdat in RBSO gerekend is met de verwachte situatie in 2015, dus na uitvoering van Ruimte voor de Rivier. In VNK is gerekend met de huidige situatie. In (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005) is een overzicht opgenomen van de verschillen in de berekeningswijze in RBSO en VNK.

Aantallen slachtoffers in VNK en RIVM

Voor drie dijkringen is in VNK het aantal slachtoffers uitgerekend. Voor het bepalen van het groepsrisico is ook in de RIVM studie (Klijn et al. 2004 en RIVM, 2004) een inschatting gemaakt van het aantal slachtoffers in de vorm van een bandbreedte.

Nr.	Dijkkring	Slachtoffers VNK	Slachtoffers RIVM
7	Noordoostpolder	5 – 1400	700 - 3500
14	Zuid-Holland	30 - 6100	2.500 – 139.500
36	Land van Heusden / De Maaskant	5 - 800	100 – 2.500

Tabel 4-2 Verwachte aantallen slachtoffers bij een overstroming in VNK en in de RIVM studie

Opvallend is in Tabel 4-2 dat vooral voor dijkkring 14 het aantal slachtoffers zoals geschat in VNK veel lager is dan in de RIVM studie. Oorzaak is het inzicht dat in VNK is ontstaan over overstromingsscenario's (zie 3.2).

4.5 Beoordeling van risico's

De gewenste bescherming tegen overstromingen is een politieke afweging, die thuis hoort bij regering en parlement. Studies als VNK kunnen informatie aandragen die in de (maatschappelijke) discussie van belang is. Maar op basis van welke criteria en met welke meetlat

kunnen we beoordelen welke risico's acceptabel zijn? En hoe kunnen deze risico's vergeleken worden met andere risico's? In de literatuur is hierover veel gepubliceerd en in deze paragraaf zal kort één van de benaderingen worden toegelicht (Vrijling et al, 1998).

De langjarige ongevalstatistieken zijn uitgangspunt voor de aanpak in (Vrijling et al, 1998), omdat deze impliciet (namelijk via gedrag) de voorkeuren blootleggen van de individuen en de maatschappij. Deze statistieken geven impliciet weer welk beschermingsniveau door de maatschappij wordt geaccepteerd, omdat er immers geen maatregelen worden getroffen om het risico verder te voorkomen. Daarnaast wordt in de benadering als uitgangspunt gebruikt dat het risico van een activiteit niet op zichzelf beoordeeld kan worden, maar dat er ook gekeken moet worden naar alle andere relevante aspecten van de activiteit, zoals bijvoorbeeld de voordelen van een activiteit. In de afweging voor het stellen van normen en vervolgens de hoogte van de normen spelen diverse factoren een rol, zoals bijvoorbeeld de mate van vrijwilligheid, de mate waarin de betrokkenen direct voordeel hebben van de activiteit en de kosten die gemaakt moeten worden om het risico verder te reduceren. In (Vrijling et al, 1998) worden drie invalshoeken gehanteerd:

1. *Individueel risico*

Het individueel risico geeft de kans op overlijden weer ervan uitgaande dat het individu blootgesteld is aan het gevaar (in dit geval: overstromingen). In deze benadering wordt het criterium voor acceptabel risico afhankelijk gemaakt van de mate van vrijwilligheid waarmee het risico wordt beleefd.

2. *Groepsrisico*

De benadering van het groepsrisico neemt in (Vrijling et al, 1998) in tegenstelling tot datgene wat gebruikelijk is, het nationale niveau als uitgangspunt (en dus niet de activiteit op lokaal niveau). Het risico op nationaal niveau is de sommatie van risico's op lokaal niveau van installaties of activiteiten. De meeste groepsrisico normen (bijvoorbeeld de VROM risico norm) nemen impliciet het lokale niveau als uitgangspunt. Dit kan tot ongewenste effecten leiden, omdat het waarschijnlijk is dat de normen aangescherpt gaan worden als het aantal activiteiten van een bepaalde categorie met een grote factor (bv. een factor honderd) toeneemt. Voor het bepalen van de groepsnorm worden ongevalstatistieken gebruikt om de voorkeuren van de maatschappij bloot te leggen. Het is aannemelijk dat bij de maatschappelijke acceptatie risico-aversie een rol speelt. Relatief vaak voorkomende kleine ongevallen worden gemakkelijker geaccepteerd dan zeldzame grote ongevallen met veel slachtoffers.

3. *Afweging van kosten en baten*

Het probleem van aanvaardbaar risico kan ook als een economisch beslisprobleem geformuleerd worden. De kosten om een veiliger systeem te maken kan worden afgewogen tegen de baten, dat wil zeggen een reductie in de Contante Waarde van het risico. Het optimale niveau van veiligheid is dan de kans waarin de totale kosten minimaal zijn. Daarnaast kan in de schade een post toegevoegd waarin de

economische waarde van een mensenleven gewaardeerd wordt, bijvoorbeeld de gemiddelde toegevoegde waarde aan het bruto nationaal product. Verder kan in deze benadering ook risico-aversie worden meegenomen. De drie risicomaten kunnen elk een andere uitkomst geven. In (Vrijling et al, 1998) wordt voorgesteld wordt om dan het meest strenge criterium te gebruiken.

5. Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

1. Representatief beeld
Veiligheid Nederland in Kaart heeft 16 dijkringen bestudeerd die samen een redelijk representatief beeld van het overstromingsrisico geven. De dijkringen bieden bescherming tegen verschillende typen wateren: Noordzee, Waddenzee, IJsselmeer, Markermeer, Westerschelde en de grote rivieren. Hierdoor zijn ook verschillende typen waterkeringen in beschouwing genomen. In de dijkringen komen zowel stedelijke als landelijke gebieden voor en zowel diepgelegen polders als oud land. De berekeningen zijn door veel verschillende mensen zijn uitgevoerd, maar wel vanuit één centraal punt gecoördineerd. Daardoor zijn de resultaten van de dijkringen voor wat betreft toepassing van de methode onderling goed vergelijkbaar.
2. Waarde van de resultaten
Veiligheid Nederland in Kaart is een tussenstap in een langer ontwikkeltraject. Voor 13 dijkringen zijn de overstromingsrisico's op ontwikkelniveau 1 in kaart gebracht. Voor deze dijkringen is het mogelijk om de relatief zwakke plekken in de dijkkring te traceren en de oorzaken daarvan. Voor drie dijkringen heeft Veiligheid Nederland in Kaart ontwikkelniveau 2 bereikt. De berekende getallen van deze drie dijkringen zijn te vergelijken met de uitkomsten van gelijksoortige dijkringen. De berekende getallen zijn op deze twee niveaus nog niet als absolute waarden te beschouwen. Dat vereist aanscherping van de methode tot ontwikkelingsniveau 3.
3. Gevolgen van overstromingen
De maximale economische schade in de dijkringen varieert van honderden miljoenen euro's tot bijna driehonderd miljard euro in Zuid-Holland. Deze schade treedt op als de hele dijkkring vol water staat. Uit de gedetailleerde berekeningen van de schade in Zuid-Holland blijkt dat in de meest waarschijnlijke overstromingsscenario's 'slechts' een deel van deze dijkkring overstroomt. Door allerlei obstakels blijft de overstroming vaak tot een klein deel van de dijkkring beperkt. De gemiddelde economische schade is daarom aanzienlijk lager dan de maximale schade. Alleen in het rivierengebied stroomt de dijkkring vrijwel altijd geheel vol bij een overstroming. Afhankelijk van het overstromingsscenario kunnen tientallen tot enkele duizenden slachtoffers vallen bij een overstroming. De meeste slachtoffers zijn te verwachten als de overstroming onverwacht plaatsvindt en geen evacuatie mogelijk is.

4. Overstromingskansen

Uit de studie Veiligheid Nederland in Kaart blijkt dat de waterkeringen over het algemeen zo hoog zijn, dat de kans op een overstroming door extreem hoge waterstanden zeer klein is.

Volgens de berekeningen wordt op dit moment de overstromingskans vooral bepaald door grote kansen op het fenomeen “opbarsten en piping” (water stroomt onder de dijk door) en het niet-sluiten van kunstwerken. Deze faalmechanismen zijn niet verwerkt in de huidige veiligheidsnorm.

In een aantal gevallen is de grote kans op opbarsten en piping een gevolg van onzekerheid over de opbouw van de ondergrond. In dergelijke gevallen kan nader onderzoek ertoe leiden dat de overstromingskans afneemt. Ook met toepassing van een gedetailleerder model kan soms het berekende resultaat aangescherpt worden. Maar duidelijk is wel dat opbarsten en piping in Nederland een reëel gevaar vormt. Conclusies 6 en 7 gaan hier dieper op in.

Waar grote kans bestaat op het niet-sluiten van kunstwerken is dit vaak het gevolg van het feit dat procedures niet goed gedocumenteerd zijn of dat onvoldoende geoefend wordt. De overstromingskans is in die gevallen simpel, doeltreffend en goedkoop te verkleinen. Naar aanleiding van de studie Veiligheid Nederland in Kaart hebben veel waterschappen dat inmiddels gedaan.

5. Draagvlak voor het onderzoek

Tijdens de uitvoering van het project ‘Veiligheid Nederland in Kaart zijn de betrokken instanties en personen ervan overtuigd geraakt van de meerwaarde van de overstromingsrisicobenadering en van de mogelijkheid op korte termijn meer inzichten te verwerven in de veiligheid van Nederland op het gebied van overstromingen.

6. Methode

Het product van Veiligheid Nederland in Kaart is een methode waarmee de overstromingsrisico's op een consistente manier te berekenen zijn. Om dit te bereiken zijn bestaande methoden aangepast en nieuwe methoden ontwikkeld. Nieuwe methoden waren bijvoorbeeld nodig voor de beoordeling van kunstwerken en voor de beoordeling van de effecten op landschap, natuur en cultuur en op het milieu. Ook is een methode ontwikkeld om alle waterkeringen op vergelijkbare manier om te zetten naar geschematiseerde invoer voor modellen. De belastingen van waterstanden, stromingen en golven zijn voor alle dijkeringen op dezelfde manier berekend. Voor een aantal onderdelen is het nodig om de methoden verder te ontwikkelen. Zo is het wenselijk om het effect van menselijk handelen bij hoogwater in het overstromingsrisico te verwerken, de onzekerheden in de kans op opbarsten en piping te verkleinen en de faalkans van enkele andere waterkeringen te berekenen (categorie-c-waterkeringen).

7. De kunst van dijken bouwen is om goede conclusies te trekken uit onzekere gegevens
De berekende overstromingskans is de meest reële weergave van de overstromingskans gegeven de beschikbare kennis. Bij de berekening van de overstromingskans spelen verschillende onzekerheden een rol, onder meer over de opbouw van de ondergrond van waterkeringen. Essentieel onderdeel van kansberekeningen is dat de grootte van de onzekerheid expliciet verwerkt wordt in de berekening. Hoe groter de onzekerheid, des te groter de kans in de berekening. Dit is de gebruikelijke werkwijze bij risicomethoden. Soms is het mogelijk de onzekerheid te verkleinen door nader onderzoek uit te voeren, bijvoorbeeld naar de opbouw van de ondergrond. Afhankelijk van de uitkomsten van dit nader onderzoek, kan dit leiden tot een kleinere overstromingskans. Andere onzekerheden zijn niet binnen afzienbare termijn te verkleinen, zoals bijvoorbeeld bij de onzekerheid over de omvang van zeespiegelstijging of de toename van de rivierafvoer. Deze noties zijn binnen het project Veiligheid Nederland in Kaart meegenomen bij de analyse van de relatief zwakke plekken. Zo is bezien of er sprake is van een plek waar onzekerheid zwaar doortelt en waar derhalve nader onderzoek te prefereren is, of van een fysieke relatief zwakke plek, waar een maatregel op zijn plaats is. In het algemeen geldt dat onderzoek loont.
8. Kunstwerken doorgelicht
Bij de aanvang van het project Veiligheid Nederland in Kaart vormde de overstromingskans van kunstwerken nog een witte vlek in de kennis. Tijdens de uitvoering van het project zijn methoden ontwikkeld en toegepast voor het beoordelen van zes typen kunstwerken. Voor kunstwerken zoals leidingen en langsconstructies zijn verkenningen uitgevoerd.
9. Samenwerken en kennis delen
Nevendoel van het project was het spreiden van kennis over het berekenen van overstromingsrisico's. Om dit doel te realiseren is gedurende het project systematisch kennis over gedragen aan waterschappen en provincies. Ook is ervoor gekozen om de berekeningen uit te laten voeren door externe ingenieurbureaus. Het projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart heeft veel tijd besteed aan de begeleiding van deze bureaus.

5.2 Aanbevelingen

1. De uitkomsten van Veiligheid Nederland in Kaart geven een goede eerste indruk van de overstromingsrisico's in Nederland. De getallen zijn echter nog niet robuust genoeg om ze als absolute waarden te kunnen beschouwen. Aanbevolen wordt om de methoden verder te ontwikkelen en gedetailleerdere gegevens te verzamelen, zodat het overstromingsrisico uiteindelijk op ontwikkelniveau 3 bekend is.

2. Aanbevolen wordt om een compleet landelijk beeld te maken van de overstromingskansen en overstromingsrisico's in alle 53 dijkkringen. Dat biedt de basis voor een politiek-maatschappelijke discussie over het omgaan met overstromingsrisico's en over een eventuele andere veiligheidsnorm. Voortzetting van Veiligheid Nederland in Kaart voor de overige 37 dijkkringen dient onder coördinatie vanuit één centraal punt te gebeuren, om vergelijkbaarheid van de resultaten te garanderen. Aanbevolen wordt om daarbij ook enkele dijkkringgebieden langs de onbedijkte Maas mee te nemen.
3. In Veiligheid Nederland in Kaart zijn de gevolgen van overstromingen voor drie dijkkringen bepaald met gedetailleerde overstromingsscenario's. Voor de overige dijkkringen is een globale methode toegepast, die vaak een grote overschatting van de gevolgen geeft. Om een goed beeld te krijgen van de gevolgen van overstromingen, is het van belang om in samenspraak met provincies en waterschappen voor alle dijkkringen de gevolgen met gedetailleerde overstromingsscenario's te berekenen.
4. Uit het project Veiligheid Nederland in Kaart is gekomen dat het fenomeen "opbarsten en piping" voor een belangrijk deel de overstromingskans bepaalt. Het is van groot belang om meer aandacht te besteden aan dit faalmechanisme. Aanbevolen wordt om nader onderzoek uit te voeren naar de methode om de kans op opbarsten en piping te berekenen. Daarbij kan worden gekeken naar de invloed van het toepassen van constructies zoals damwandschermen en filterconstructies. Ook wordt aanbevolen om de benodigde gegevens te verzamelen en daar waar nodig fysieke maatregelen te treffen om de kans op opbarsten en piping te verkleinen.
5. In Veiligheid Nederland in Kaart is een methode verkend voor het afwegen van kosten en baten van investeringen in hoogwaterbescherming. Aanbevolen wordt om de methode verder te ontwikkelen, en daarbij ook de invloed van economische groei en zeespiegelstijging mee te nemen.
6. Uit de resultaten van Veiligheid Nederland in Kaart blijkt dat nader onderzoek in een aantal gevallen kan leiden tot een andere schatting van de overstromingskans, die vaak gunstiger uitvalt. Voor een vervolg van Veiligheid Nederland in Kaart zijn goede gegevens van essentieel belang. Het is aan te bevelen dat de betrokken waterschappen, actief gegevens verzamelen over de bodem, met name door grondboringen. Dit is een voorwaarde voor een succesvol vervolg.

Literatuurlijst

De literatuurlijst wordt onderverdeeld in 2 gedeelten: rapporten die in kader van VNK zijn gemaakt en overige literatuur.

VNK literatuurlijst

Voor elk van de zestien dijkringen is een dijkkringrapport opgesteld. Daarnaast zijn risicocase-rapporten opgesteld voor drie van deze zestien dijkringen. VNK heeft nog een aantal andere rapporten en memo's uitgebracht. De rapporten en memo's waarnaar in de hoofdtekst van dit Hoofdrapport wordt verwezen worden hieronder opgesomd.

Ast, van, J. et al, 2003. *Waardering van overstromingsrisico's*. Eindrapport. Erasmus Centre for Sustainable Development and Management.

Baarse, G., 2005. *Ondersteuning zwakke plekken analyse en kostenraming. Overzicht en beschrijving activiteiten en producten*. BB&C Baarse Beleidsondersteuning & Consult.

Barendregt, A. et al, 2004. *Standaardmethode Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen*, DWW-2005-05. RWS Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 2004.

Barendregt, A. et al, 2004. *Bepalen beschikbare en benodigde tijd voor evacuatie bij dreigende overstromingen*. HKV [LIJN IN WATER](#), rapport PR742.

Diermanse, F., B. Thonus, F. den Heijer en I. Lammers. 2001. *Inventariseren en inbouwen van hydraulische randvoorwaarden in PC ring*. WLIDelft Hydraulics en HKV [LIJN IN WATER](#).

Doef, M.R., A.M. Cappendijk-de Bok, 2005. *Modellering van evacuatie voor risicocases VNK*. RWS Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 2005.

Duinen, T.A. van, 2005. *Mseep berekeningen met piping voor VNK*. Geodelft.

Flinterman, M. et al, 2003. *De Perceptie van overstromingsrisico's*. Rijkswaterstaat, Bouwdienst, 2003.

Havinga, F.J, 2003. *Pilot bekledingen*. HKV [LIJN IN WATER](#), rapport PR744.

Huizinga, H.J. et al, 2004. *HIS-Schade en Slachtoffermodule Versie 2.1 Gebruikershandleiding*. DWW-2005-004. RWS Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 2004.

Jonkman, S.N., 2004. *Methode voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een grootschalige overstroming*. DWW-2004-042. RWS Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 2004.

Jonkman, S.N., A.M. Cappendijk-de Bok, 2005. *Risico-cases VNK - Inschatting van het aantal slachtoffers ten gevolge van overstroming*. RWS Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 2005.

Nieuwenhuizen, W. et al, 2003. *Standaardmethode Schade aan LNC-waarden als gevolg van overstromingen. Methode voor het bepalen van de gevolgen van overstromingen voor de aspecten opgaande begroeiing, vegetatie, aquatische ecosystemen en historische bouwkunde*. Alterra, HKV [LIJN IN WATER](#) en Geodan IT. Alterra rapport 709, 2003.

Noortwijk, J.M., M. Kok en B. Thonus. 2005. *Overzicht van methoden voor kosten-batenanalyse voor maatregelen ter beperking van overstromingsrisico's*. HKV [LIJN IN WATER](#). Technisch rapport PR906.

Projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2001. *Projectplan Veiligheid Nederland in Kaart*.

Projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2002. *Schematisering en gegevensverzameling van dijken en duinen; handleiding ten behoeve van de bepaling van overstromingskansen van dijkringen*.

Projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2003. *Rapportage VNK Langsconstructies*.

Projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2004. *Memo selectie kunstwerken*.

Projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2005. *Globale schadeberekening. Achtergronddocument. De benadering van de schade na een grootschalige overstroming met behulp van een globale methode*.

Projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2005. *Modellering van de evacuatie, evacuatiecurven dijkringen 7, 14 en 36*.

Projectbureau Veiligheid Nederland in Kaart, 2005. *Overstromingsrisico's van dijkringen. Omgaan met onzekerheden bij de analyse van kansen op en gevolgen van overstromingen. Visienotitie (eindconcept), juni 2005*.

Steetzel, H., 2003. *Aanpassing duinmodule binnen PC-Ring*. Rapport A917. Alkyon.

Snuverink, B. et al, 2004. *Verkenning van milieurisico's door het vrijkomen van stoffen bij stationaire activiteiten van bedrijven binnen het project VNK/gevolgenspoor, hoofdrapport en pilot studie*. Tebodin.

Thonus, B., A.C.W.M. Vrouwenvelder, H.M.G.M. Steenberg, 2004. *ScenarioKans versie 1.02*. HKV [LIJN IN WATER](#) en TNO Bouw project PR 751.

Thonus, B., A.C.W.M. Vrouwenvelder, H.M.G.M. Steenbergen, 2004. *Gebruikershandleiding ScenarioKans*. HKV [LIJN IN WATER](#) en TNO Bouw rapport PR 751.

Thonus, B., M. Kok en J.M. van Noortwijk, 2005. *Verkenning kosten-baten analyse Dijkkring 14: Zuid-Holland*. HKV [LIJN IN WATER](#) rapport PR906.

Universiteit Twente, 2004. *Evacuatie van een dijkkringgebied bij dreigende overstromingen. De evacuatie Calculator (EC), versie 1.0*.

Van der Meer, J. et al, 2002. *Methode voor beoordeling van gemalen, coupures, keersluizen, schutsluizen, uitwatering- en inlaatsluizen, tunnels en van pijpleidingen*. Fugro.

Vrouwenvelder, A.C.W.M. et al, 2003. *Theoriehandleiding PC-Ring, versie 3.0*. TNO Bouw.

Algemene literatuurlijst

In het hoofdrapport wordt verder verwezen naar de volgende publicaties:

CPB, 2005. *Veiligheid tegen overstromen - Deel 1: kosten-batenanalyse voor Ruimte voor de Rivier*. Centraal Planbureau. CPB document nr. 82.

Delft Cluster, 2003. *Environmental impact of flooding*. DCI-233-8.

Deltacommissie, 1960. *Eindverslag en interim-adviezen, deel 1*.

Frieser B., 2004. *Probabilistic Evacuation Decision model for River floods in the Netherlands*, Afstudeerrapport TU Delft.

Geodelft, 2003. *Handleiding Mprostab*.

Geodelft, 2004. *Handleiding Mprolift*.

Geodelft, 2005. *Handleiding Mstab*.

Hall, A. van, 2004. *Percepties van veiligheid*. Lezing op Lelysymposium te Lelystad op 23 september 2004.

Jonkman, S.N., 2005 *Global perspectives on Loss of human life caused by floods*. *Natural Hazards*, 34, 151-175.

Klijn, F., H. van der Klis, K. de Bruin, J. Stijnen en M. Kok, 2004. *Overstromingsrisico dijkringen in Nederland – betooglijn en deskundigen oordeel*. WLIDelft Hydraulics en HKV [LIJN IN WATER](#), Delft/Lelystad.

Ministerie van VROM, OCW, V&W en LNV, 1999. *Nota Belvédère*.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000. *Anders omgaan met water, waterbeleid voor de 21^e eeuw.*

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2001. *Hydraulische Randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen.*

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003. *Nieuwe inzichten in golfbelastingen langs de kust. Samenvatting Rondom veiligheid tegen overstromen spelen verschillende ontwikkelingen en projecten. Het gaat om de vijfjaarlijkse toetsing op veiligheid en versterkingen van waterkeringen.*

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004. *De Veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland, voorschrift Toetsen op Veiligheid 2001-2006.*

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005. *Tussenbesluit Rampenbeheersingsstrategie Rijn en Maas.*

Projectbureau Ruimte voor de Rivier, 2005. *Planologische Kernbeslissing deel 1: Ruimte voor de Rivier*

Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee, 2004. *Rapport Basiskustlijn.*

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2004. *Risico's in bedijkte termen. Een evaluatie van het beleid inzake de veiligheid tegen overstromen. Milieu en Natuurplanbureau.*

Rijkswaterstaat Bouwdienst, 2004. *Beoordeling van leidingen in en nabij waterkeringen, voorbeelden ter illustratie van de methode.*

Schokker, J., 2004. *De ondergrond van primaire waterkeringen en veenkaden.* TNO-NITG 05-003-B.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1984. *Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering.*

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1988. *Grondslagen voor Waterkeren.*

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1996. *Veiligheid van waterkeren, de nieuwe visie volgens het onderzoeksprogramma TAW Marsroute.*

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1999. *Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen.* Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2000. *Van overschrijdingskans naar overstromingskans, brochure en achtergrondrapport.*

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2000. *Technisch rapport Asphalt voor Waterkeren. Concept revisie 6.6 d.d. 31-08-2000.*

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2003. *Leidraad kunstwerken.*

Vrijling et al, 1998. *Acceptable Risk as a basis for Design. Reliability Engineering and System Safety 59 (1998).* 141-150, 1998.

Vrijling, J.K., E. Calle, A. Vrouwenvelder, M. Kok en B. Jonkman, 2004. *Review koploper resultaten VNK.* April 2004, TU Delft

WL, 2003. *HIS overstromingsmodule.* WLIDelft Hydraulics. (website www.sobek.nl)

Bijlage A. Begrippenlijst

Afschuiven	Het verplaatsen van een deel van een grondlichaam door overschrijding van het evenwichtsdragvermogen.
Bandijk	De rivierdijk die het winterbed omsluit.
Beheer	Het geheel van activiteiten dat noodzakelijk is om te waarborgen dat de functies van de waterkering blijven voldoen aan de daarvoor vastgestelde eisen en normen.
Beheerder	De overheid waarbij de (primaire) waterkering in beheer is.
Beheersgebied	Het in de legger gespecificeerd areaal, dat als waterkering wordt aangemerkt en door de waterkeringbeheerder wordt beheerd.
Beheersregister	Beschrijving van de feitelijke toestand van de waterkering, met de voor het behoud van het waterkerend vermogen kenmerkende gegevens van de constructie.
Bekleding	Zie "taludbekleding".
Belasting	Op een constructie (een waterkering) uitgeoefende in- en uitwendige krachten, ofwel de mate waarin een constructie door in- en uitwendige krachten wordt aangesproken, uitgedrukt in een fysische grootheid.
Benedenrivierengebied	Het door Rijn en Maas gevoede rivierengebied ten westen van de lijn Schoonhoven – Werkendam – Dongemond, inclusief Hollands Diep en Haringvliet, zonder de Hollandsche IJssel.
Bezwijken	Het optreden van verlies van inwendig evenwicht (b.v. afschuiven) en/of het optreden van verlies van samenhang in materiaal (b.v. verweken) en/of het optreden van ontoelaatbaar grote vervormingen.
Bezwijkmechanisme	De wijze waarop een constructie bezwijkt (bijvoorbeeld afschuiven, piping).
Binnendijks	Aan de kant van het land of het binnenwater.
Binnentalud	Het hellend vlak van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk.
Binnenteen	De onderrand van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld).
Bovenrivierengebied	Het door Rijn en Maas gevoede rivierengebied ten oosten van de lijn Schoonhoven - Werkendam – Dongemond. De waterstanden worden daar niet beïnvloed door het getij van de Noordzee.
Bres	Een gat in de waterkering.
Buitenberm	Een extra verbreding aan de buitendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden, om zandmeevoerende wellen te voorkomen en/of om de effecten van golfploop te reduceren.

Buitendijks	Aan de kant van de kerende zijde.
Buitentalud	Hellend vlak van het dijklichaam aan de kerende zijde.
Buitenteen	De onderrand van het dijklichaam aan de buitendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld en/of voorland).
Buitenwater	Het oppervlaktewater waarvan de waterstand direct invloed ondergaat bij hoge stormvloed, bij hoog opperwater van een van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of Markermeer of bij een combinatie daarvan.
Cohesie	Wederzijdse aantrekking tussen de fijne gronddeeltjes van sommige grondsoorten, waardoor deze bij elkaar worden gehouden tot een vaste massa zonder externe krachten.
Conditionele kans op belasting	Dit is een kans op een bepaalde belasting gegeven dat daarvóór een andere kering gefaald heeft.
Coupure	Een onderbreking in de waterkering voor de doorvoer van een (water)weg of spoorweg die bij hoge waterstanden afsluitbaar is.
Decimeringhoogte	De peilvariatie die behoort bij een vergroting of verkleining van de overschrijdingsfrequentie met een factor 10.
Dijk	Een waterkerend grondlichaam.
Dijkring	Stelsel van waterkeringen, of hoge gronden, dat een dijkringgebied omsluit en beveiligt tegen overstromingen.
Dijkringgebied	Een gebied dat door een stelsel van waterkeringen, of hoge gronden beveiligt moet zijn tegen overstroming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoog opperwater van een van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of Markermeer of bij een combinatie daarvan.
Dijkvak	Een deel van een waterkering met min of meer gelijke sterkte-eigenschappen en belasting.
Duin	Zandlichaam (al dan niet verdedigd) bestemd tot het keren van water op basis van inhoud.
Duinafslag	Zie "ontwerpafslagzone".
Duinvoet	De overgang van strand naar duin. De positie van de duinvoet in een dwarsprofiel wordt door veel beheerders gedefinieerd met behulp van een in de tijd constante hoogtelijn (bijvoorbeeld NAP + 3m).
Economisch risico	Het deel van het overstromingsrisico dat betrekking heeft op de schade als gevolg van een overstroming.
Faalmechanisme	De opeenvolging van gebeurtenissen die leidt tot falen.

Falen	Het niet meer vervullen van de primaire functie (water keren) en/of het niet meer voldoen aan de vastgestelde criteria.
Filter	Een tussenlaag in de taludbekleding die uitspoeling van fijnkorrelig materiaal uit de ondergrond door de bovenliggende laag van de bekleding voorkomt.
Freatisch vlak	De vrije grondwaterspiegel.
Gemiddelde waarde	De verwachtingswaarde (μ) van een stochast.
Golfoploop	De hoogte boven de stilwaterstand tot waar een tegen het talud oplopende golf reikt (de 2% golfoploop wordt door 2% van de golven overschreden).
Golfoverslag	De hoeveelheid water die door golven per strekkende meter gemiddeld per tijdseensheid over de waterkering slaat.
Grensprofiel	Het profiel dat na afslag tijdens ontwerpomstandigheden nog minimaal als waterkering aanwezig moet zijn.
Grenstoestand	De toestand waarin de sterkte van een constructie of een onderdeel daarvan nog juist evenwicht maakt met de daarop werkende belastingen.
Hoge gronden	De natuurlijke hoge delen van Nederland. Deze zijn in bijlage 2 bij de Wet op de waterkering aangegeven als de NAP + 1m lijn bij bedreiging vanaf het IJsselmeer en het Markermeer, de NAP + 2m lijn bij bedreiging vanaf zee of, indien hoger langs de rivieren, als de uiterst verwachte overstromingslijn verlopend van de maatgevende hoogwaterstand (MHW) aan de bovenstroomse zijde van het dijkkringgebied tot de laagste kruinhoogte van de primaire waterkering aan de benedenstroomse zijde van het dijkkringgebied, vermeerderd met 1m.
Intreepunt	Het (theoretisch) punt waar het buitenwater tot de aquifer toetreedt, als gevolg van het verval over de waterkering.
Inundatie	Het laten overstromen.
Inundatielijn	De maximale waterstand bij overstroming in een dijkkringgebied.
JARKUS	Het landelijk bestand met jaarlijkse diepte- en hoogtemetingen van de Nederlandse zandige kust.
Kruin	De strook tussen buitenkruinlijn en binnenkruinlijn.
Kruinhoogte	De hoogte van de buitenkruinlijn.
Kunstwerk	Een civieltechnisch(e) werk of installatie rond de natte en/of droge infrastructuur dat een of meer functies vervult.
Kwel	Het uittreden van grondwater onder invloed van grotere stijghoogte buiten het beschouwde gebied.

Kwelscherm	Een ondoorlatende, in de regel verticale, constructie voor verlenging van de kwelweg.
Kwelsloot	Een sloot aan de binnenzijde van de dijk die tot doel heeft kwelwater op te vangen en af te voeren.
Kwelweg	Een mogelijk pad in de grond die het kwelwater aflegt, van het intreepunt naar het uitteerpunt.
Kwelweglengte	De afstand die het kwelwater in de grond aflegt.
Legger	De beschrijving van de minimale eisen waaraan de (primaire) waterkering moet voldoen naar richting, vorm, afmeting en constructie en waarin de keurbegrenzingsen worden aangegeven.
Lokale opwaaiing	Opwaaiing tussen de locatie waarvoor de hydraulische randvoorwaarde wordt gegeven en de waterkering.
Lengte-effect	De mate waarin de kans op het optreden van een mechanisme afhankelijk is van de lengte van de waterkering.
Maatgevend Hoogwater	Het ontwerppeil.
Macrostabiliteit	De weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond.
Marsroute	Voorloper van het onderzoeksprogramma "Overstromingsrisico's : een studie naar kansen en gevolgen".
Meerdijk	Een primaire waterkering, gelegen langs in het algemeen grote wateren, anders dan rivieren, zonder getijdewerking.
MHW xxxx	Het ontwerppeil, vastgesteld in het jaar xxxx. Het ontwerppeil is gelijk aan het Toetspeil vermeerderd met de verwachte hoogwaterstijging (inclusief NAP-daling) tot aan het eind van de planperiode.
Microstabiliteit	De weerstand tegen erosie van het talud ten gevolge van uittredend water.
Modelfactor	De partiële factor waarin onzekerheden in de berekeningsmethoden zijn verdisconteerd.
NAP	Het Normaal Amsterdams Peil.
NAP-daling	De daling van het NAP-vlak als gevolg van onderlinge bewegingen in de aardkorst. Wegens het ontbreken van een meetbaar referentiepunt is deze daling niet te kwantificeren en kan alleen in combinatie met de zeespiegelstijging gekwantificeerd worden.
Niet-primaire (water)kering	Zie "regionale (water)kering".
Ontwerpafslagzone	Het gedeelte van het duingebied dat tijdens ontwerpomstandigheden (ontwerpstormvloed) zal afslaan.

Ontwerppeil	Extreme hoogwaterstand met een voorgeschreven overschrijdingsfrequentie.
Opbarsten	Het bezwijken van de grond, door het ontbreken van verticaal evenwicht in de grond, onder invloed van wateroverdrukken.
Opdrijven	Het opdrukken van het afdekkend pakket door het bereiken van de grenspotential.
Overbelasting	Het overschrijden van het vastgestelde overslagcriterium.
Overhoogte	Een extra hoeveelheid grond die wordt aangebracht met het doel om na zetting van de ondergrond en klink van de aangebrachte grond het gewenste profiel te bereiken.
Overloop	Het verschijnsel waarbij water over de kruin van de dijk het achterland in loopt, omdat de waterstand in de rivier hoger is dan de kruin.
Overschrijdingsfrequentie	Het gemiddeld aantal keren dat in een bepaalde tijd een verschijnsel een zekere waarde bereikt of overschrijdt.
Overschrijdingskans	De kans dat de ontwerpwaterstand bereikt of overschreden wordt.
Overslag	Zie "golfoverslag".
Overstromingskans	De kans dat een gebied overstroomt doordat de waterkering rondom dat gebied (de dijkring) op één of meer plaatsen faalt.
Overstromingsrisico	Overstromingskans × gevolg.
Piping	Het verschijnsel waarbij onder een waterkering een holle pijpvormige ruimte ontstaat doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt.
Polder	Een op de boezem uitslaand of lozend gebied.
Polderpeil	Het peil van het oppervlaktewater binnen een beheersgebied.
Potentiaal	De stijghoogte in een aquifer.
Primaire waterkering	Een waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkringgebied - al dan niet met hoge gronden - omsluit, ofwel vóór een dijkringgebied is gelegen.

Primaire waterkeringen kunnen worden verdeeld in de volgende categorieën:

categorie	Omschrijving
a	Waterkeringen die behoren tot stelsels die dijkkringgebieden omsluiten en direct buitenwater keren.
b	Waterkeringen die voor dijkkringgebieden zijn gelegen en direct buitenwater keren.
c	Waterkeringen, niet direct bestemd tot directe kering van buitenwater.
d	Als één van de categorieën a tot en met c maar gelegen buiten de landsgrenzen.

Regionale (water)kering	Niet-primaire waterkeringen.
Risicoanalyse	Het nagaan van de kans op een ongewenste gebeurtenis en de gevolgen daarvan.
Rivierdijk	De rivierdijk die het winterbed omsluit.
Schaardijk	Een rivierdijk die onmiddellijk aan het zomerbed grenst.
Schadefactor	De partiële factor waarin de gevolgen van bezwijken zijn betrokken.
Secundaire waterkering	Zie "regionale (water)kering".
Slachtoffer risico	Het deel van het overstromingsrisico dat betrekking heeft op de slachtoffers als gevolg van een overstroming.
Strijklengte	De lengte van het voor de waterkering gelegen wateroppervlak waarover de wind waait.
Stabiliteitsfactor	De factor waarin het verschil tussen sterkte en belasting wordt uitgedrukt.
Standaardafwijking	Een maat voor de spreiding rond het gemiddelde.
Stijghoogte	Het niveau tot waar het water zou stijgen in een peilbuis met filter ter plaatse van het punt; wordt uitgedrukt in meters waterkolom ten opzichte van een referentievlak.
Stilwaterstand	De waterstand zonder de effecten van golfoploop, maar met toeslagen. Onder toeslagen wordt verstaan: lokale opwaaiing, bui-oscillaties en buistoten.
Stochast	Zie stochastische variabele.
Stochastische variabele	Bij veel experimenten letten we speciaal op waarden die bepaalde grootheden in die experimenten aannemen. We zijn bijvoorbeeld geïnteresseerd in de hoogste waterstand op een bepaalde locatie of het totaal aantal personen in een dijkkringgebied. Zo'n waarde wordt een stochastische variabele genoemd en wordt gedefinieerd door zijn kansverdeling.

Stormvloed	Een hoogwaterperiode waarbij te Hoek van Holland het grenspeil (met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 0,5 per jaar) wordt bereikt of overschreden (voor het grenspeil: zie getijdetafel).
Talud	De schuimte van het zijvlak van aardwerken, dijken, spoorbanen, vestingwerken.
Taludbekleding	De afdekking van de kern van een dijk ter bescherming tegen golfaanvallen en langsstromend water. De taludbekleding bestaat uit een erosiebestendige toplaag, inclusief de onderliggende vlijlaag, filterlaag, kleilaag en/of geotextiel.
Toetspeil yyyy	<p>De waterstand met een overschrijdingsfrequentie conform bijlage II bij de Wet op de waterkering die gebruikt wordt voor het beoordelen van de toestand van de waterkeringen, waarover in het jaar yyyy aan de minister van Verkeer en Waterstaat wordt gerapporteerd. In het Toetspeil is de verwachte hoogwaterstijging (inclusief NAP-daling) tot en met het jaar yyyy verwerkt.</p> <p>De Toetspeilen voor rivieren zijn gegeven op de as van de rivier; voor meren op enige afstand uit de teen van de waterkering (meestal 200m), voor duinen op de NAP -20m dieptelijn en voor de overige waterkeringen langs de kust en estuaria meestal nabij de teen van de waterkering.</p>
Uiterwaard	Zie "winterbed".
Uittreepunt	De locatie aan de landzijde waar kwelwater het eerst aan het oppervlak treedt.
Uittreeverhang	Het verhang in het grondwater ter plaatse van het uittreepunt.
Variatiecoëfficiënt (V)	De relatieve waarde van de standaardafwijking (σ) ten opzichte van de verwachtingswaarde (μ), dus $V = \sigma/\mu$.
Veiligheidsnorm	De eis waaraan een primaire waterkering moet voldoen, aangegeven als de gemiddelde overschrijdingskans - per jaar - van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren.
Verhang	De verhouding tussen het verschil in stijghoogte tussen twee punten en de afstand tussen die punten; wordt ook gradiënt genoemd.
Verval	Het verschil in stijghoogte tussen twee punten, bijvoorbeeld de twee zijden van een waterkering.
Verwachtingswaarde	Het gewogen gemiddelde van een stochast, ook wel het eerste moment genoemd.
Verweking	Het verlies aan samenhang van het korrelskelet als gevolg van toename van de waterspanning (in de poriën).

Vijfjaarlijkse toetsing	Periodieke beoordeling van de veiligheid en sterkte van een dijkkring. Dat wil zeggen het controleren of de momentane toestand van de constructie nog voldoet aan de vigerende functionele en wettelijke eisen. De Leidraad Toetsen op Veiligheid geeft aan hoe een toetsing kan worden uitgevoerd en is gericht op een uniforme maatstaf voor de beoordeling van de kwaliteit van de waterkeringen.
Voorland	Het buitendijks gebied.
Waakhoogte	De waakhoogte op enige moment is het verschil tussen de gemeten of verwachte kruinhoogte op dat moment en een stilwaterstand op dat zelfde moment.
Waterkering	Kunstmatige hoogten en die (gedeelten van) natuurlijke hoogten of hooggelegen gronden, met inbegrip van daarin of daaraan aangebrachte werken, die een waterkerende of mede een waterkerende functie hebben, en die als zodanig in de legger zijn aangegeven.
Waterover- /onderspanning	Verschil tussen de aanwezige waterspanning en de hydrostatische waterspanning.
Waterspanning	De druk in het grondwater.
Wel	Geconcentreerde uitstroming van kwelwater.
Werklijn	De relatie tussen de rivierafvoer en de statistisch bepaalde overschrijdingsfrequentie van de rivierafvoer, zoals deze door de Minister van Verkeer en Waterstaat wordt gehanteerd voor het bepalen van de ontwerpafvoer voor de versterking van dijken.
Windopzet	De lokale waterstandverhoging ten gevolge van de door de wind op een watermassa uitgeoefende kracht.
Winterbed	Het deel van de rivierbedding tussen zomerbed en bandijk.
Zandmeevoerende wel	Een wel die zand meevoert uit de ondergrond.
Zeedijk	Een primaire waterkering van de categorie a, die zout water keert.
Zeespiegelstijging	De stijging van de gemiddelde zeestand ten opzichte van NAP.
Zetting	De verticale vervorming van grondlagen, hoofdzakelijk ten gevolge van een bovenbelasting.
Zomerbed	Het dwarsprofiel van de rivier waar bij normale en lagere waterstanden de rivierafvoer plaatsvindt.
Zomerdijk	Zie "zomerkade".
Zomerkade	Begrenzing van zomer- en winterbed van de rivier.

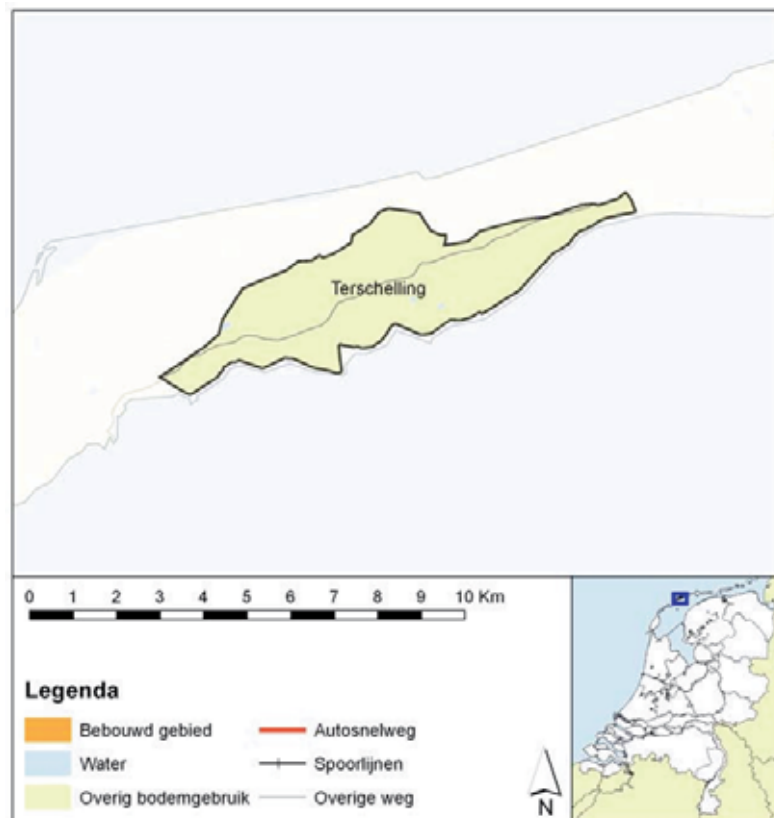
Bijlage B. Gebiedsbeschrijving en resultaten van de 16 dijkringen

In deze bijlage is voor de beschouwde dijkringen de gebiedsbeschrijving opgenomen gevolgd door de resultaten van de berekeningen met een toelichting.

Dijkring 3: Terschelling

Gebiedsbeschrijving

Dijkringgebied 3 Terschelling ligt in de provincie Friesland en is één van de vijf dijkringen in Nederland dat tevens een eiland is. Aan de zuidzijde wordt het gebied door dijken beschermd tegen de Waddenzee. Aan de noord-, west- en oostzijde beschermen duinen het gebied tegen de Noordzee. De oppervlakte van de dijkring is ca. 1900 ha. De dijkring heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/2000 per jaar.



Figuur B-1 Ligging dijkring 3

De dijken zijn van de categorie a en hebben een gezamenlijke lengte van ca. 26 km: 12 km duin en 14 km dijk. In de dijk liggen twee kunstwerken, te weten twee uitwateringssluizen: de "Nieuwe Sluis" en de "Liessluis"

De hoogte van het maaiveld aan de zijde van de Waddenzee is ongeveer NAP +0 m en loopt snel op in de richting van de Noordzee tot een hoogte van meer dan NAP +5 m. Het dijkkringgebied heeft ca. 1900 inwoners. In het gebied ligt een aantal dorpjes, omringd door voornamelijk grasland. Er is geen industrie of andere intensieve vormen van landgebruik.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

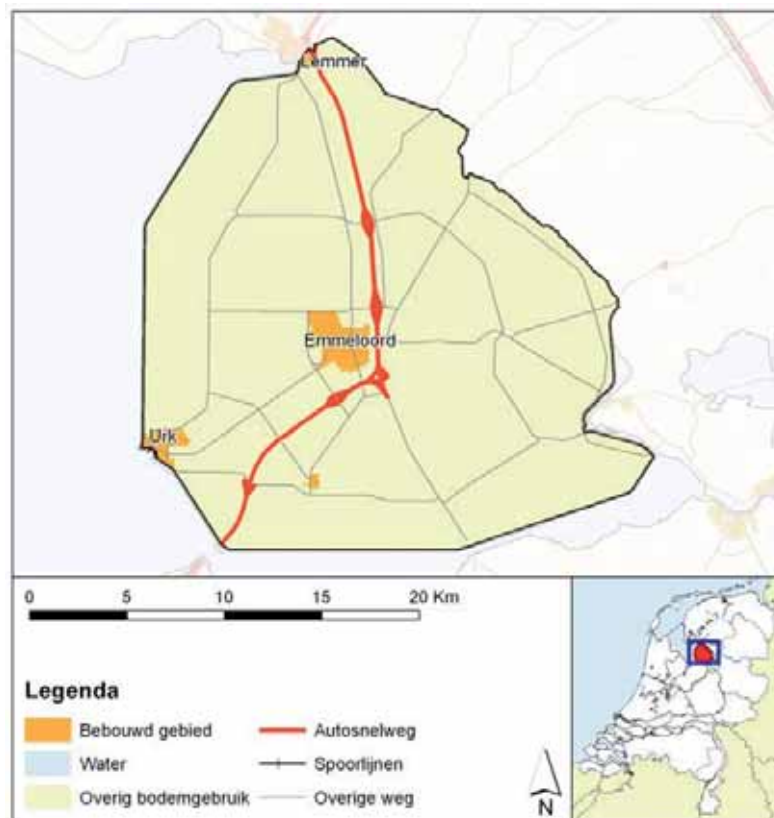
Het economisch risico van dijkkring 3 bedraagt € 0,1 miljoen per jaar. De schade in de dijkkring, berekend met de globale methode, bedraagt € 160 miljoen. Dit is een bovengrens voor de maximale schade in het dijkkringgebied. Het oppervlak van de dijkkring is relatief klein en de Waddenzee bevat voldoende water om de gehele dijkkring te laten overstromen. De berekende overstromingskans van dijkkring 3 bedraagt 1/1500 per jaar. De berekende overstromingskans geldt onder de aanname dat het Wad bijdraagt aan de kwelweglengte. Het belangrijkste faalmechanisme is het 'niet-sluiten' van de twee kunstwerken. De beheerder herkent dit beeld.

Meer inzicht in de betrouwbaarheid van de sluitingsprocedures kan ertoe leiden dat de berekende overstromingskans afneemt, mogelijk tot 1/10.000 per jaar. Het economisch risico neemt dan af tot € 0,016 miljoen per jaar.

Dijkkring 7 Noordoostpolder

Gebiedsbeschrijving

Dijkkringgebied 7 omvat globaal de Noordoostpolder en ligt in de provincie Flevoland en voor een klein gedeelte in de provincies Overijssel en Friesland. Het dijkkringgebied wordt aan de zuidzijde begrensd door het Zwarte Meer en het Ketelmeer met de Ramspolkering en aan de westzijde ligt het IJsselmeer. Aan de oostzijde wordt het gebied begrensd door de dijken langs het Vollenhoverkanaal en de voormalige zeedijken van het oude land. De oppervlakte van het dijkkringgebied is ca. 49.000 ha. Het dijkkringgebied heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/4000 per jaar.



Figuur B-2 Ligging dijkkring 7

Het voormalig eiland Urk vervult een bijzondere functie in de waterkeringen van het dijkkringgebied. Het oude deel van Urk is gebouwd op een keileembult en maakt onderdeel uit van de waterkering. Omdat de hoogte van de keileembult vanuit waterstaatkundig oogpunt gezien ruim voldoende is wordt de waterkerende functie hiervan in de berekeningen niet meegenomen.

De dijken categorie a hebben een gezamenlijke lengte van ca. 55 km. De dijken aan de oostzijde van de polder zijn primaire waterkeringen van het type c. Door middel van de keersluis Kadoelersluis kunnen deze dijken afgesloten worden van het buitenwater (Zwarte Meer).

Er zitten 10 kunstwerken in deze dijkkring: drie coupures, drie inlaatsuizen, twee gemalen en twee schutsluizen.

De Noordoostpolder is een overwegend vlak gebied dat gemiddeld 4 meter onder N.A.P. ligt. In het dijkkringgebied wonen ruim 60.000 mensen. De belangrijkste woonkernen in het gebied zijn Emmeloord en Urk. Een groot deel van het dijkkringgebied heeft een agrarische bestemming.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

Voor dijkkring 7 zijn de gevolgen zowel met de globale methode als met de gedetailleerde methode bepaald. Het economische risico voor dijkkring 7 is met de **gedetailleerde gevolgmethode** bepaald op € 2,1 miljoen per jaar. De economische schade bedraagt € 170 miljoen tot € 4000 miljoen, afhankelijk van de locatie van doorbraak. Het slachtoffer risico is afhankelijk van de locatie van de doorbraak en varieert van 0,006 tot 1,6 per jaar. Voor de ondergrens is uitgegaan van een onverwachte overstroming waarbij geen evacuatie plaatsvindt. Voor de bovengrens is uitgegaan van een voorziene overstroming waarbij een georganiseerde evacuatie plaatsvindt. Met de gedetailleerde gevolgmethode zijn voor de dijkkring verschillende overstromingsscenario's doorgerekend. Hieruit blijkt dat in veel gevallen de dijkkring niet helemaal vol water zal komen te staan, omdat het waterpeil niet hoger wordt dan het waterpeil in het IJsselmeer. Met de **globale gevolgmethode** is de economische schade bepaald op € 9000 miljoen. Het economisch risico bedraagt dan € 10 miljoen.

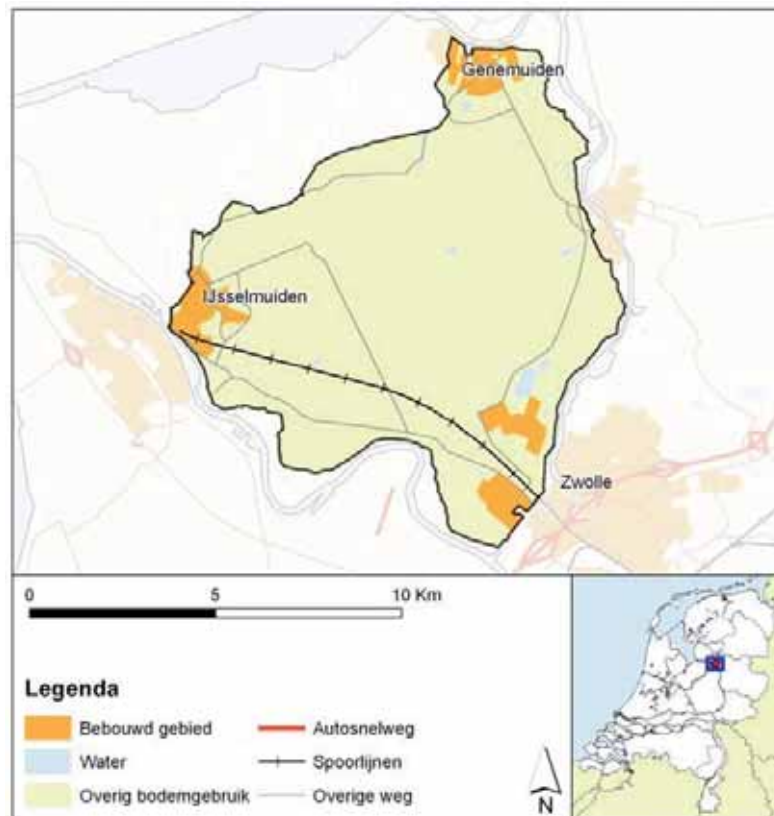
De overstromingskans van dijkkring 7 wordt met name bepaald door de kans op constructief falen van twee kunstwerken en bedraagt 1/900 per jaar. In de wetenschap dat de resultaten van de geavanceerde toetsing van deze kunstwerken niet zijn meegenomen herkent ook hier de beheerder het beeld.

De berekende overstromingskans is klein in vergelijking met andere dijkkringen. Nader onderzoek én het aanbrengen van een aanvaarbalk bij één van de kunstwerken kunnen eraan bijdragen dat de overstromingskans verder afneemt tot 1/3100 per jaar. Hierbij is geen sprake van (significante) investeringskosten. Het economisch risico, uitgaande van de resultaten van de gedetailleerde gevolgbepaling, bedraagt € 0,6 miljoen per jaar.

Dijkkring 10 Mastenbroek

Gebiedsbeschrijving

Dijkkring 10 ligt in de provincie Overijssel. Het dijkkringgebied wordt door drie verschillende wateren omringd. Het traject tussen Zwolle en IJsselmuiden ligt langs de IJssel, het traject tussen IJsselmuiden en Genemuiden langs het Zwarte Meer en het traject tussen Genemuiden en Zwolle langs het Zwarte Water. De dijkkring grenst aan twee verbindende waterkeringen, de Spooldersluis en de keersluis Ramspol. De oppervlakte is ca. 9400 ha. De dijkkring heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/2000 per jaar.



Figuur B-3 Ligging dijkkring 10

Dijkkring 10 wordt omringd door waterkeringen van de categorie a. De dijken zijn zanddijken begroeid met gras. De totale lengte van de dijken bedraagt ca. 40km. In dijkkring 10 zitten 10 kunstwerken: 2 gemalen, 3 sluisen en 2 inlaatduikers.

Het diepste punt van dijkkring 10 ligt ten noordoosten van IJsselmuiden. Het maaiveld ligt daar op NAP -3 m. De oost en zuidrand liggen op ongeveer NAP.

Het dijkkringgebied is voornamelijk in gebruik als agrarische grond (grasland) en heeft ca. 29.000 inwoners. De voornaamste woonkernen zijn IJsselmuiden, Genemuiden en het deel van Zwolle dat binnen de dijkkring valt.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

Het economisch risico voor dijkkring 10 bedraagt in de huidige situatie meer dan € 12 miljoen per jaar. De schade is berekend met de globale methode en bedraagt maximaal € 1.200 miljoen. Voor dijkkring 10 is een overstromingskans berekend die groter is dan 1/100 per jaar.

Zwakke plekken analyse

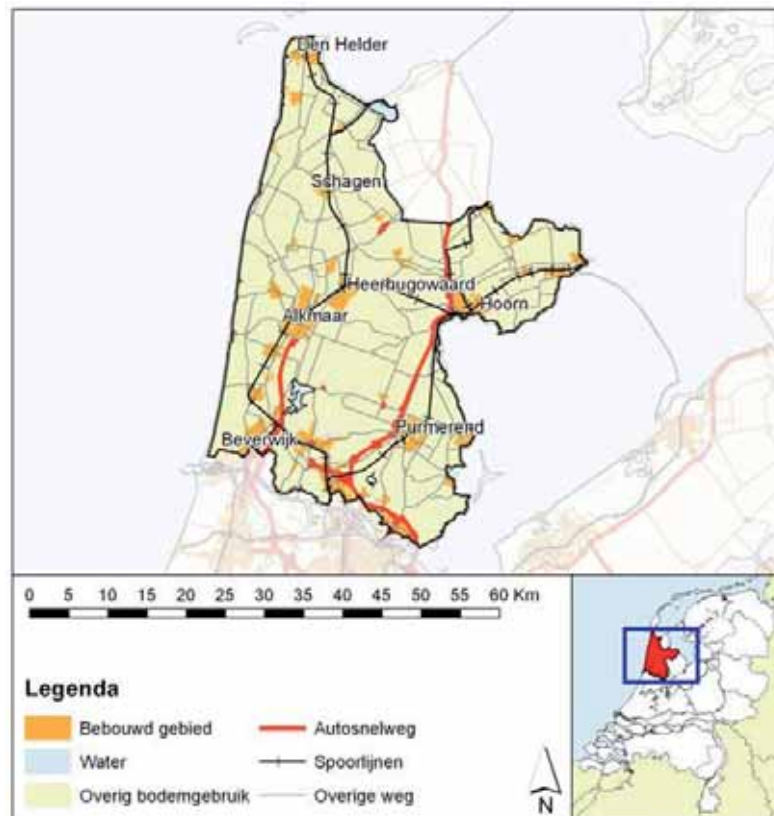
De overstromingskans wordt vooral bepaald door twee dominant zwakke plekken: twee dijkvakken waar opbarsten en piping speelt. Daarnaast zijn er zes overig zwakke dijkvakken waar opbarsten en piping speelt en één overig zwak dijkvak waar overloop en golfoverslag speelt. De beheerder herkent de grote kans op opbarsten en piping, dit is ook in de toetsing geconstateerd. Wel bestaat het gevoel dat door gebrek aan goede gegevens en de gevolgde conservatieve benadering de problemen behoorlijk overschat kunnen zijn. De grote kans op overloop en golfoverslag herkent de beheerder echter niet.

Met nader onderzoek en zo nodig versterkingsmaatregelen voor de twee dominant zwakke plekken kan de overstromingskans afnemen tot 1/100 per jaar. Een bovengrens voor de kosten om de eventuele versterkingsmaatregelen te realiseren is € 4,3 miljoen. Om de overstromingskans verder te verkleinen tot 1/400 per jaar is het noodzakelijk ook de overig zwakke plekken aan te passen. Het economisch risico neemt dan af tot € 3 miljoen per jaar. De bovengrens voor de kosten bedraagt in dit geval € 17,7 miljoen. Aanname bij de kosten is dat maatregelen over de gehele lengte van de dijkvakken wordt uitgevoerd. Ook is geen rekening gehouden met de mogelijkheid dat de problemen met piping als gevolg van de conservatieve benadering behoorlijk overschat kunnen zijn.

Dijkkring 13 Noord-Holland

Gebiedsbeschrijving

Dijkkring 13, Noord-Holland, ligt in de provincie Noord-Holland. Deze dijkkring grenst in het westen aan de Noordzee, in het noorden aan de Waddenzee en in het oosten aan de IJsselmeer en het Markermeer. Waar de dijkkring grenst aan het Wieringenmeer (dijkkring 12) en het Noordzeekanaal (dijkkring 44) liggen indirecte primaire keringen. Op deze plaatsen grenst de dijkkring aan dijkkringen met een ander veiligheidsniveau. De dijkkring heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar.



Figuur B-4 Ligging dijkkring 13

De totale lengte van de primaire waterkeringen van dijkkring 13 is ca. 250 km. De waterkering aan de Noordzeekust bestaat grotendeels uit duinen (48 km). In de duinen liggen de Pettemer- en de Hondschbossche zeeweringen. De andere waterkeringen bestaan uit dijken en enkele kunstwerken. Van de in totaal ca. 200 km dijken is ca. 55 km van categorie a en ca. 150 km van categorie c. Bij Westerland maakt ca. 1 km hoge grond deel uit van de waterkering. Deze hoge gronden zijn van categorie c. In de waterkering liggen ca. 110 kunstwerken. Van die kunstwerken zijn er 38 van categorie a en 72 van categorie c. Twee tunnels kruisen de waterkering. De oppervlakte van de dijkkring is ca. 153.000 ha.

De hoogte van het maaiveld varieert sterk. In het westen en noordwesten ligt het maaiveld rond NAP +0 m. In het midden ligt het maaiveld soms lager dan NAP -4 m. In het oosten, bij Hoorn en Enkhuizen, ligt het maaiveld rond NAP -1,5 m.

Het dijkkringgebied heeft ca. 959.000 inwoners en een grote economische waarde. Delen van Amsterdam, Zaandam, Alkmaar, Heerhugowaard en andere grote plaatsen liggen in de dijkkring. In het gebied rond het Noordzeekanaal is veel industrie aanwezig, evenals aan de rand van de grote plaatsen. In het noorden en oosten is er veel landbouw.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

Het economisch risico voor dijkkring 13 bedraagt in de huidige situatie € 116 miljoen per jaar. De schade, berekend met de globale methode, bedraagt € 58.000 miljoen. Dit bedrag kan worden gezien als een bovengrens. Met de globale methode wordt er vanuit gegaan dat de hele dijkkring overstroomt. Dat is een conservatieve aanname. Naar aanleiding van de resultaten van gedetailleerde overstromingsberekeningen van Zuid-Holland (dijkkring 14), kan worden verondersteld dat niet de hele dijkkring zal overstromen. Hiervoor zijn twee redenen aan te voeren:

- Het instromende volume ten gevolge van een enkele doorbraak zal te weinig zijn om de hele dijkkring te vullen tot de laagste kruinhoogte (NAP +1,9 m). De duur van de windopzet is hiervoor te kort. Dit geldt zowel vanuit het IJsselmeer, Markermeer als vanuit de Noordzee. Bij de globale methode wordt de waterdiepte en daarmee de schade dus overschat.
- In het gebied liggen verschillende elementen die water kunnen keren. Bijvoorbeeld oude secundaire keringen, boezems en spoordijken. Deze elementen delen de dijkkring in compartimenten en zullen voor een schadereductie zorgen. Over mogelijke overstromingspatronen is op voorhand weinig te zeggen, omdat overstromingsberekeningen ontbreken voor dit dijkkringgebied. Waarschijnlijk zal bij een overstroming compartiment voor compartiment worden gevuld. Hierdoor zal een deel van het dijkkringgebied droog blijven.

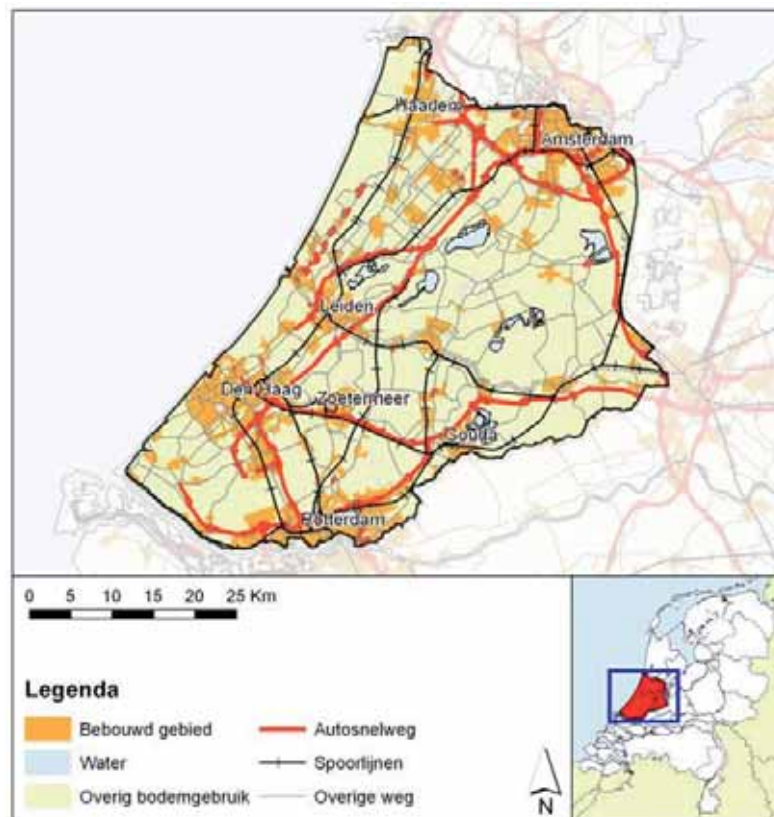
De berekende schade is dus een bovengrens. Op basis van resultaten van dijkkring 14 (Zuid-Holland) lijkt het reëel om ervan uit te gaan dat dit een overschatting met een factor 10 is. Het wordt aanbevolen om voor deze dijkkring gebruik te maken van meer gedetailleerde overstromingsberekeningen.

Voor dijkkring 13 is de berekende overstromingskans kleiner dan 1/500 per jaar. De beheerder herkent het beeld dat de dijken die grenzen aan het Markermeer stabiliteitsproblemen hebben en dat op enkele plaatsen de duinen een grote overstromingskans geven. Op enkele plaatsen vinden al herstelwerkzaamheden plaats aan de dijken; hiervan worden de kansen niet meegenomen. De grootste bijdrage geeft de Sas-sluis bij Enkhuizen door het niet-sluiten van dit kunstwerk.

Dijkkring 14 Zuid-Holland

Gebiedsbeschrijving

Dijkkringgebied 14 Zuid-Holland ligt in de provincies Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht. Aan de westzijde wordt het gebied door de duinen beschermd tegen de Noordzee. In deze duinen liggen op enkele plaatsen harde verdedigingen zoals de duinvoetverdediging bij Ter Heijde, de strandvoetverdediging bij Scheveningen en de dijk bij Katwijk. Het gebied wordt aan de noordzijde begrensd door het Noordzeekanaal, aan de zuidzijde door de Nieuwe Waterweg, de Nieuwe Maas en de Hollandse IJssel en aan de oostzijde door het Amsterdam Rijnkanaal. De oppervlakte bedraagt ca 223.000 ha. Het dijkkringgebied heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar.



Figuur B-5 Ligging dijkkring 14

De dijken en kunstwerken langs de Hollandse IJssel, het Amsterdam Rijnkanaal en het Noordzeekanaal behoren tot de primaire waterkering categorie c. De totale lengte van de primaire waterkering categorie a van dijkkring 14 is ca. 95km. In totaal zijn er 19 kunstwerken categorie a.

De hoogteligging in dijkkring 14 varieert sterk. De kuststrook heeft een hoogte van NAP +0 m. De Alexanderpolder, juist ten noorden van Rotterdam ligt lokaal lager dan NAP-6 m. Ook de Haarlemmermeerpolder, waar Schiphol in ligt, ligt lager dan NAP -5 m. Het dijkkringgebied heeft ruim 3,2 miljoen inwoners. De belangrijkste woonkernen in het gebied zijn Amsterdam, Rotterdam, Den Haag,

Haarlem, Leiden en Delft. Daarnaast is er veel industrie aanwezig en ligt Schiphol in deze dijkkring.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

Voor dijkkring 14 zijn de gevolgen zowel met de globale methode als met de gedetailleerde methode bepaald. Het economische risico voor dijkkring 14 is met de **gedetailleerde gevolgmethode** bepaald op € 2,3 miljoen per jaar. De economische schade bedraagt € 280 miljoen tot € 37.000 miljoen, afhankelijk van de locatie van doorbraak. Het slachtofferrisico is afhankelijk van de locatie van de doorbraak en varieert van 0,012 tot 2,44 per jaar. Voor de bovengrens is uitgegaan van een onverwachte overstroming waarbij geen evacuatie plaatsvindt. Voor de ondergrens is uitgegaan van een voorziene overstroming waarbij een georganiseerde evacuatie plaatsvindt. In het geval van Zuid-Holland zal de doorbraak waarschijnlijk plaatsvinden aan de kust. De situatie op zee is over het algemeen niet langer dan een dag van tevoren te voorspellen en dat biedt onvoldoende tijd voor volledige evacuatie van het bedreigde gebied. Met name voor meervoudige doorbraken vanuit de kust kunnen grote gebieden met veel inwoners overstromen. De schade en het aantal slachtoffers zijn sterk afhankelijk van het doorbraakscenario dat het overstromd gebied en de kenmerken van de overstroming bepaalt; b) de mogelijkheden voor evacuatie. Obstakels in de dijkkring, zoals boezemkades en oude dijken, kunnen voorkomen dat grote delen van de dijkkring overstromen. Met de **globale gevolgmethode** is het economisch risico bepaald op € 116 miljoen per jaar. De economische schade bedraagt € 290.000 miljoen.

Voor dijkkring 14 komen de berekeningen uit op een overstromingskans van 1/2500 per jaar. Dit is een relatief kleine kans.

Zwakke plekken analyse

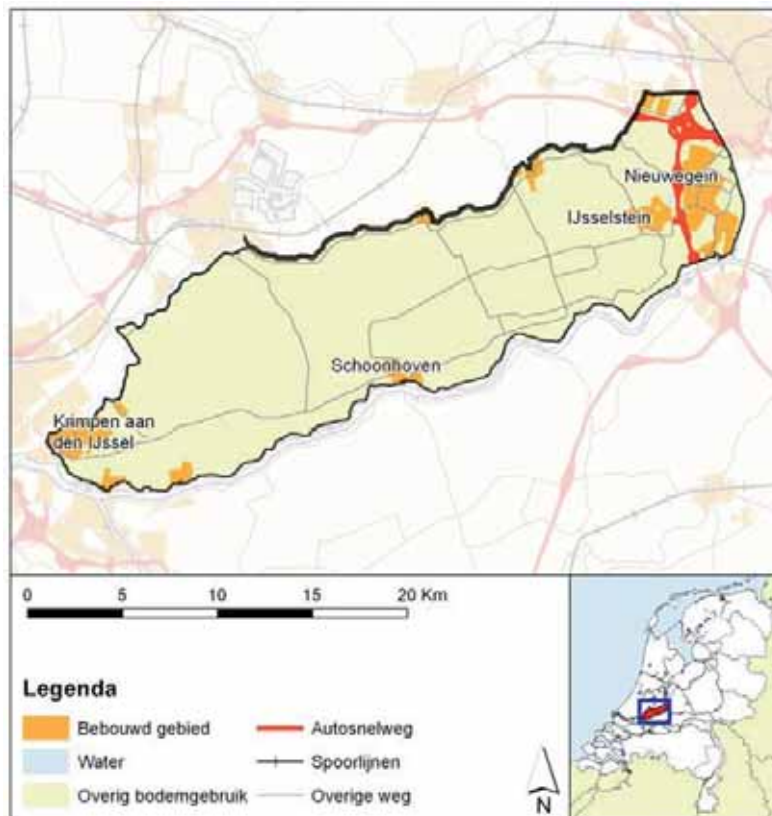
De dominant zwakke plekken zijn de Scheveningse boulevard waar 'duinafslag' speelt en een dijkvak met opbarsten en piping. Daarnaast is er een overige zwakke plek met 'duinafslag' en twee overige zwakke kunstwerken waar 'niet-sluiten' speelt. De beheerder herkent dit beeld.

Wanneer nader onderzoek plaatsvindt en zo nodig versterkingsmaatregelen worden genomen voor de dominant zwakke plekken kan de overstromingskans afnemen tot 1/5000 per jaar. Een bovengrens voor de kosten om de kwelweglengte te verlengen bedraagt € 3,7 miljoen. Uitgangspunt hierbij is dat het gehele dijkvak wordt aangepakt, ook daar waar het probleem misschien niet speelt. Hierbij moeten de kosten voor het aanpakken van de duinafslag bij de andere dominant zwakke plek nog worden opgeteld: Voor de twee overige zwakke kunstwerken waar 'niet-sluiten' speelt kan worden volstaan met het treffen van procedurele maatregelen. Hierbij is geen sprake van (significante) investeringskosten. Wel kan de overstromingskans na het treffen van de procedurele maatregelen verder afnemen naar 1/7000 per jaar. Het economisch risico bedraagt dan € 0,8 miljoen per jaar en het slachtofferrisico varieert, afhankelijk van de locatie van doorbraak, van 0,004 tot 0,9 per jaar.

Dijkkring 15 Lopiker- en Krimpenerwaard

Gebiedsbeschrijving

Dijkkringgebied 15, Lopiker- en Krimpenerwaard, ligt in de provincies Utrecht en Zuid-Holland. Het dijkkringgebied grenst aan de Lek en de Nieuwe Maas aan de zuidzijde. Aan de westzijde grenst het gebied aan de Hollandsche IJssel. Aan de oostzijde aan het Amsterdam - Rijnkanaal en het Lekkanaal. Aan de noordzijde grenst het gebied ten oosten van Gouda aan dijkkringgebied 14, Centraal Holland. Het dijkkringgebied heeft een oppervlak van ca. 32.000 ha. De dijkkring heeft volgens de Wet op de waterkering een overschrijdingskans van 1/2000 per jaar.



Figuur B-6 Ligging dijkkring 15

Alleen de waterkeringen langs de Nieuwe Maas en de Lek zijn van categorie a. De Hollandsche IJssel wordt afgesloten van buitenwater door de stormvloedkering Hollandsche IJssel, de achterliggende waterkeringen zijn daarom van categorie c. De lengte van de waterkeringen van categorie a is ongeveer 47,5 km. De lengte van de waterkeringen van categorie c is circa 48,8 km. In het gebied bevinden zich 20 kunstwerken van categorie a en voor zover bekend 5 kunstwerken van categorie c.

De hoogteligging varieert van NAP +0 m in het oosten, tot NAP -5 m in het westen.

De dijkkring heeft ca. 196.000 inwoners. De voornaamste woonkernen zijn Nieuwegein, IJsselstein, Krimpen aan de Lek en Krimpen aan de IJssel. In het gebied verspreid liggen nog enkele kleinere plaatsen. Het landgebruik is voornamelijk agrarisch. In het uiterste westen en oosten ligt de bebouwing.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

Het economisch risico voor dijkkring 15 bedraagt in de huidige situatie meer dan € 100 miljoen per jaar. De economische schade is berekend met de globale methode en bedraagt € 10.000 miljoen. De overstromingskans van dijkkring 15 is groter dan 1/100 per jaar.

Zwakke plekken analyse

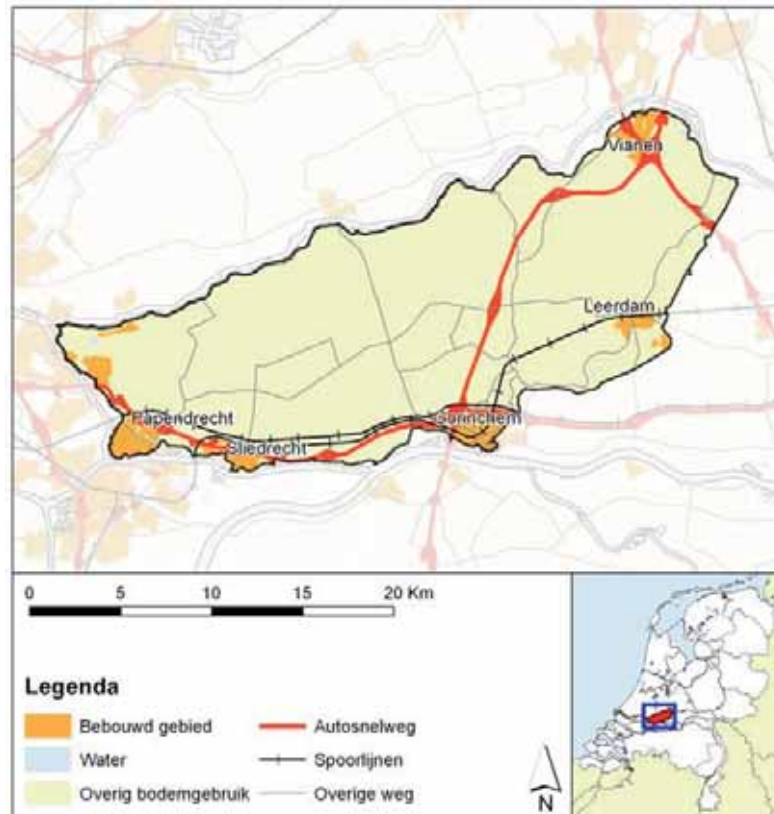
De oorzaak van deze grote kans zijn met name de dominant zwakke plekken: niet-sluiten van de Koninginnesluis en afschuiven voor één dijkvak. Daarnaast zijn er zeven overig zwakke plekken. Het aantal vastgestelde dominant zwakke plekken en overige zwakke plekken is vrij arbitrair. In deze dijkkring is een bijna continue verdeling van kansen per dijkvak. Het bleek niet mogelijk om een duidelijke grens in de overstromingskans per dijkvak aan te geven waarbij een niveau gehaald zou worden waarop verdere verlaging van de overstromingskans alleen nog door integrale maatregelen bewerkstelligt zou kunnen worden.

Met nader onderzoek en zo nodig versterkingsmaatregelen voor de twee dominant zwakke plekken neemt de overstromingskans af maar blijft groter dan 1/100 per jaar. Wanneer alle zwakke plekken worden aangepast neemt de overstromingskans af tot 1/900 per jaar. De kosten die hiermee gemoeid zijn worden geraamd tussen € 9 miljoen en € 12 miljoen. Aanname is dat de maatregelen over de gehele lengte van de dijkvakken wordt uitgevoerd.

Dijkring 16 Alblasserwaard en Vijfheerenlanden

Gebiedsbeschrijving

Dijkringgebied 16, Alblasserwaard en Vijfheerenlanden, ligt in de provincie Zuid-Holland. Het gebied ligt in de overgang van het rivieren- naar het deltagebied. Het dijkkringgebied wordt begrensd aan de noordzijde door de Lek, aan de zuidzijde door de Boven en Beneden Merwede en aan de westzijde door de Noord. De dijkkring wordt gesloten door de Diefdijklinie. De oppervlakte van de dijkkring is ca. 39.000 ha. De dijkkring heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/2000 per jaar.



Figuur B-7 Ligging dijkkring 16

Van de primaire waterkeringen valt 84 km onder categorie a. In het oosten wordt de dijkkring begrensd door een categorie c kering. Deze categorie c kering zal alleen water keren als dijkkring 43 is overstroomd. In het dijkkringgebied bevinden zich 9 waterkerende kunstwerken van categorie a.

Het maaiveld van de dijkkring loopt van NAP +0,5 m in het oosten naar NAP -2 m in het westen.

Met uitzondering van de steden aan de rand van deze dijkkring is het voornamelijk agrarisch landgebruik. Het dijkkringgebied heeft ca. 197.000 inwoners. In de dijkkring ligt een aantal grote woonplaatsen, zoals Gorinchem, Leerdam, Papendrecht en Alblasserdam. Verspreid in het gebied liggen nog enkele kleinere plaatsen.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

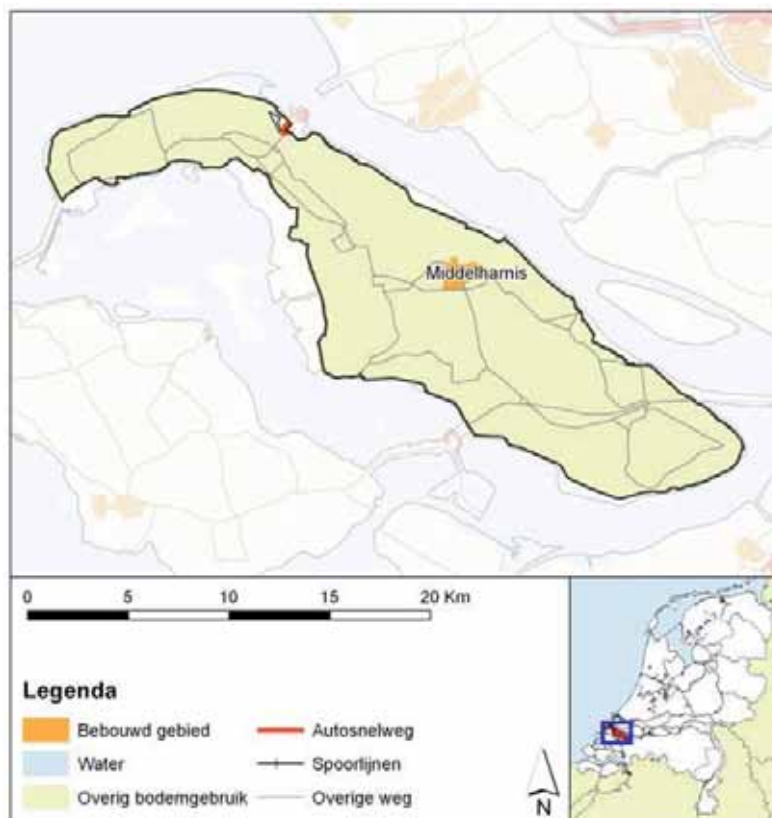
Het economisch risico van dijkkring 16 bedraagt € 48 miljoen per jaar. De maximale schade is berekend met de globale methode en bedraagt €19.000 miljoen. Het dijkkringgebied heeft geen compartimenten en een overstroming vanuit de rivieren duurt lang genoeg om de hele dijkkring daadwerkelijk te vullen met water. De waterdiepte die zo kan ontstaan is erg groot. Er zijn geen aanwijzingen dat het berekende schadebedrag lager zou kunnen worden.

De overstromingskans van dijkkring 16 is volgens de berekeningen 1/400 per jaar. De belangrijkste oorzaken van de grote overstromingskans zijn de grote kansen die berekend zijn voor opbarsten en piping, opdrijven en constructief falen van één van de sluisen. De grote kans op opbarsten en piping herkent de beheerder niet. Bij hoogwater is echter kwel geconstateerd. Nader onderzoek kan uitwijzen of de kans hierop overschat is. De beheerder onderschrijft wel de uitkomst dat dijken onderhevig zijn aan stabiliteitsproblemen door opdrijven.

Dijkkring 25 Goeree-Overflakkee

Gebiedsbeschrijving

Dijkkring 25 Goeree-Overflakkee is één van de Zuid-Hollandse eilanden en ligt in de provincie Zuid-Holland. Het dijkkringgebied grenst aan de westzijde aan de Noordzee. Aan de noordzijde ligt het Haringvliet, aan de oostzijde het Zoommeer en aan de zuidzijde de Grevelingen. De totale lengte van de primaire waterkering is ca. 96 km. De waterkering bestaat voor ca. 26 km uit dijken van de categorie a, voor ca. 52 km uit dijken van de categorie c en ca. 18 km uit duinen. In de dijkkring zitten 15 kunstwerken: 6 gemalen, 7 sluizen en 2 coupures. De oppervlakte van de dijkkring is ca. 22.000 ha. De dijkkring heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/4000 per jaar.



Figuur B-8 Ligging dijkkring 25

De hoogteligging van het maaiveld varieert rond NAP 0 m. In het duingebied in het westen is het maaiveld hoger.

Het dijkkringgebied heeft ca. 46.000 inwoners. Er zijn geen grote woonkernen. De inwoners wonen verspreid over het eiland in kleine dorpjes of bijvoorbeeld in het wat grotere Goedereede, Middelharnis en Oostflakkee. Het dijkkringgebied heeft voornamelijk een agrarisch grondgebruik.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

Het economisch risico voor dijkkring 25 bedraagt € 3 miljoen per jaar. De maximale schade, berekend met de globale methode, bedraagt € 3.700 miljoen. Dit bedrag is een ruime bovengrens. Bij het berekenen van de schade is ervan uitgegaan dat de dijkkring tot aan de laagste kruinhoogte overstromd is. Deze aanname is voor Goeree-Overflakkee niet juist omdat in de dijkkring compartimenten aanwezig zijn waardoor slechts enkele compartimenten vol stromen. Bovendien grenst een groot deel van Goeree-Overflakkee niet meer aan zee maar aan het Haringvliet en het Grevelingenmeer. Het Haringvliet en het Grevelingenmeer zijn door de Deltawerken beschermd tegen hoge zeewaterstanden. Hierdoor is de maatgevende waterstand soms meters gedaald. De dijkkring zal waarschijnlijk niet in zijn geheel kunnen overstromen. De berekende schade en het economische risico zijn dus een ruime bovengrens.

De berekende overstromingskans van dijkkring 25 bedraagt 1/1200 per jaar. De belangrijkste oorzaken zijn de grote kans op opbarsten en piping, beschadiging van de asfaltbekleding van dijken, de hoogte van het Flaauwe Werk en in mindere mate het 'niet-sluiten' van enkele kunstwerken. Het is niet duidelijk of het daadwerkelijk om zwakke plekken gaat, omdat onzekerheid over de gegevens groot is. Op plaatsen waar de beheerder de grote kans op opbarsten en piping niet herkende, zijn die kansen niet verwerkt in de berekening van de overstromingskans. Voor twee dijkvakken kwamen de berekeningen uit op grote kans op instabiliteit van dijken. Deze dijkvakken zijn bij de toetsing om deze reden niet goedgekeurd en inmiddels zijn herstelmaatregelen in uitvoering. Bij de berekening van de overstromingskans is ervan uitgegaan dat deze maatregelen gereed zijn.

Zwakke plekken analyse

De overstromingskans wordt vooral bepaald door twee zwakke dijkvakken waar opbarsten en piping een grote bijdrage leveren aan de overstromingskans.

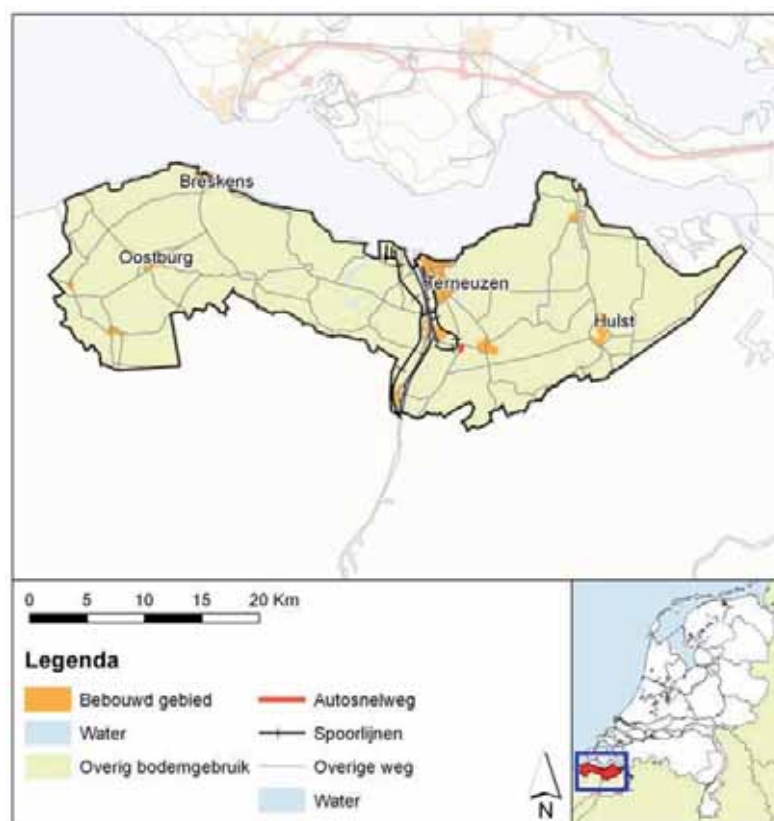
Dijkring 32 Zeeuwsch Vlaanderen

Gebiedsbeschrijving

Dijkringgebied 32, Zeeuwsch Vlaanderen, ligt in de provincie Zeeland. De aangrenzende wateren zijn de Noordzee en de Westerschelde. Het dijkkringgebied is landgrensoverschrijdend en wordt begrensd door de volgende waterkeringen:

- De dijk langs de Westerschelde.
- De dijk langs de Schelde.
- De hoge gronden in België en Noord-Frankrijk.
- De zeeerende duinen of dijken van België, Noord-Frankrijk en Nederland.

Het dijkkringgebied heeft een oppervlakte van ca. 72.000 ha. De dijkkring heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/4000 per jaar.



Figuur B-9 Ligging dijkkring 32

De lengte aan primaire waterkeringen van de categorie a bedraagt 85 kilometer, waarvan ca. 6 kilometer duinenkust.

Het maaiveld ligt rond NAP +1 m en verloopt nauwelijks over het hele gebied.

De dijkkring heeft ca. 106.000 inwoners. De voornaamste plaatsen in dit gebied zijn Terneuzen, Sluis en Hulst. In het gebied wordt voornamelijk landbouw bedreven. Bij Terneuzen zit bovendien industriegebied.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

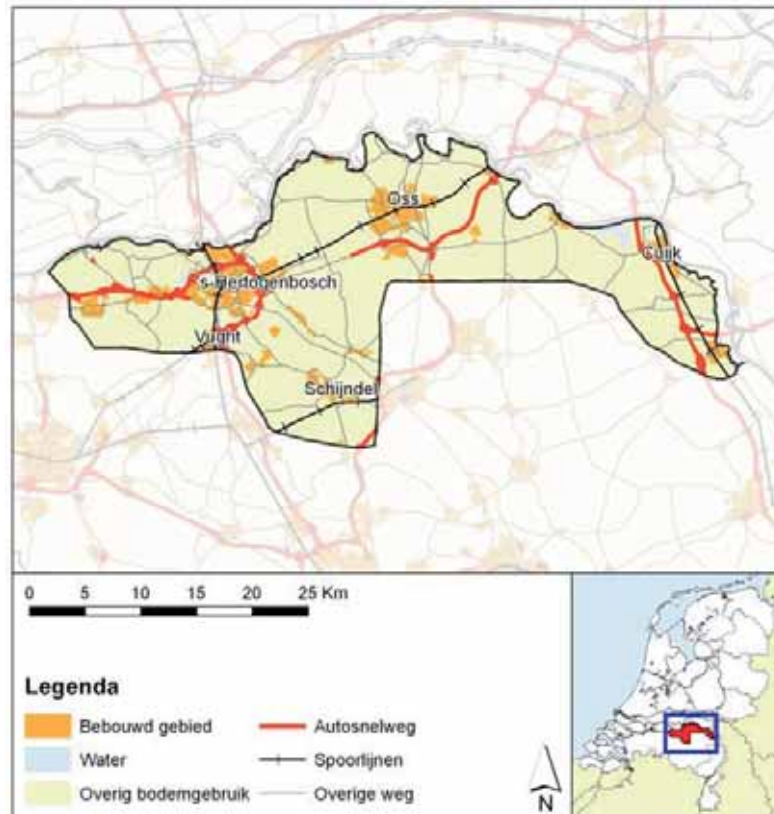
Het economisch risico voor dijkkring 32 is groter dan € 140 miljoen per jaar. De schade, berekend met de globale methode bedraagt € 14.000 miljoen. Dit is een bovengrens. Zeeuwsch Vlaanderen wordt gekenmerkt door vele secundaire waterkeringen. Bij een dijkdoorbraak van een primaire waterkering zal het achterliggende land per compartiment overstromen. De aanneme bij de globale methode dat de dijkkring gevuld wordt met en vlakke waterspiegel tot aan de laagste kruin is daarmee onmogelijk. Bovendien wordt de duur van een overstroming voornamelijk bepaald door de duur van de windopzet op zee. Dit is vaak zo kort dat één enkele dijkdoorbraak er niet voor kan zorgen dat de hele dijkkring overstroomt. De berekende schade en het economisch risico zijn ruim overschat.

De overstromingskans voor dijkkring 32 is groter dan 1/100 per jaar. Voor dijkkring 32 bleek het moeilijk te zijn om goede berekeningen te maken door de variatie in de belastingen en de complexiteit van de dijkprofielen. De overstromingskans wordt vooral bepaald door stabiliteitsproblemen bij een gemaal en bij de dijken. In het lopende proces van de toetsing verzamelt het waterschap meer informatie. Recentelijk is gebleken dat het gemaal binnen de toetsing goedgekeurd kan worden. Voor de dijken zijn de gegevens nog niet beschikbaar. De berekende kans kan dus overschat zijn. Het is wel duidelijk dat het hier een reëel risico betreft, gezien de steile dijken op slappe lagen in de ondergrond.

Dijkring 36 Land van Heusden / De Maaskant

Gebiedsbeschrijving

Dijkring 36 Land van Heusden/De Maaskant ligt in de provincie Noord-Brabant. Dijkring 36 ligt langs de Maas tussen Boxmeer en Waalwijk. Aan de zuid-oostzijde van Noord-Brabant, waar de bedijkte Maas overgaat in de onbedijkte Maas, sluit de waterkering aan op de hoge gronden. De oppervlakte van dijkringgebied 36 is ca. 74.000 ha. De dijkring heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/1250 per jaar.



Figuur B-10 Ligging dijkring 36

Alle dijkringen en kunstwerken in dijkring 36 zijn van de categorie a. De totale lengte van de waterkering van dijkring 36 bedraagt ca. 100km. In dijkring 36 zitten 40 kunstwerken.

Het voornaamste grondgebruik in de dijkring is landbouw voor ca. 80%. Natuur/recreatie en stedelijk gebied dragen beide voor 10% bij aan het grondgebruik. Dijkring 36 heeft ca. 407.000 inwoners. De voornaamste woonkernen zijn 's-Hertogenbosch en Oss.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

Voor dijkkring 36 zijn de gevolgen zowel met de globale methode als met de gedetailleerde methode bepaald. Het economische risico voor dijkkring 36 is met de **gedetailleerde gevolgmethode** bepaald op € 37 miljoen per jaar. De economische schade bedraagt € 60 miljoen tot € 7500 miljoen, afhankelijk van de locatie van doorbraak. Het slachtofferrisico is afhankelijk van de locatie van de doorbraak en varieert van 0,05 tot 8 slachtoffers per jaar. Voor de ondergrens is uitgegaan van een onverwachte overstroming waarbij geen evacuatie plaatsvindt. Voor de bovengrens is uitgegaan van een voorziene overstroming waarbij een georganiseerde evacuatie plaatsvindt.

Voor dijkkring 36 komen de berekeningen uit op een overstromingskans groter dan 1/100 per jaar.

Zwakke plekken analyse

De overstromingskans wordt vooral bepaald door twee dominant zwakke plekken met een grote kans op opbarsten en piping. Daarnaast speelt opbarsten en piping voor tweeëntwintig overig zwakke dijkvakken, het niet tijdig sluiten van twee overig zwakke kunstwerken, "Raamsluis Grave" en "Uitwateringssluis Henriëttewaard", en de kerende hoogte van "Keersluis Cuyck". De beheerder onderschrijft de uitkomsten. Wel bestaat het gevoel dat door gebrek aan goede gegevens en de gevolgde conservatieve benadering de problemen met opbarsten en piping zijn overschat.

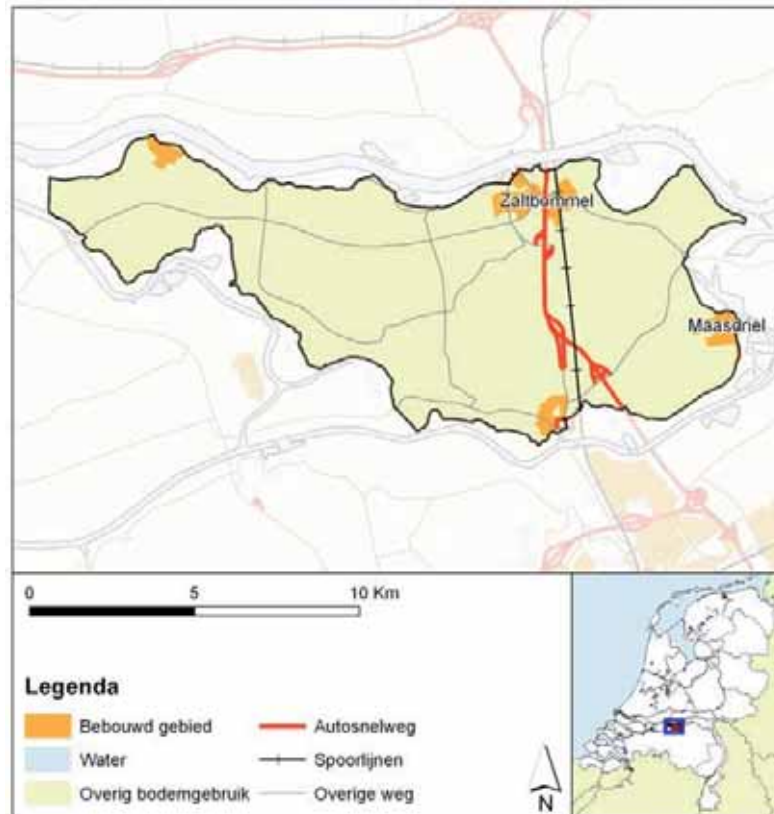
De oorzaak van het grote economische risico is het feit dat bij de meeste dijkdoorbraken een groot deel van de dijkkring overstroomt. Wanneer nader onderzoek plaatsvindt naar opbarsten en piping van de twee meest zwakke plekken en zo nodig versterkingmaatregelen worden genomen, kan de overstromingskans afnemen tot 1/150 per jaar. Een bovengrens voor de kosten om dit te realiseren is € 7,9 miljoen. Om een nog kleinere overstromingskans van 1/220 te bereiken is het noodzakelijk alle genoemde zwakke plekken aan te pakken. De bovengrens voor de kosten bedraagt dan € 35,6 miljoen.

Aanname bij de kosten is dat voor de beide dijkvakken waar opbarsten en piping speelt de kwelweglengte over de gehele dijkvaklengte wordt aangepast. Ook is bij deze bovengrens geen rekening gehouden met het gevoel dat door gebrek aan goede gegevens en de gevolgde conservatieve benadering de problemen met opbarsten en piping zijn overschat. Deze aannames hebben grote invloed op de kosten. De kosten van € 35,6 miljoen kunnen afhankelijk van de aannames met ca. 80% afnemen. Het economisch risico bij een overstromingskans van 1/220 per jaar bedraagt € 15 miljoen per jaar.

Dijkring 38 Bommelerwaard

Gebiedsbeschrijving

Dijkringgebied 38, Bommelerwaard, ligt in de provincie Gelderland. Het dijkkringgebied ligt tussen de Maas en de Waal en wordt aan de westkant begrensd door de Afgedamde Maas. De primaire waterkeringen die het gebied omsluiten hebben een gezamenlijke lengte van 65,6 km. Het dijkkringgebied heeft een oppervlakte van ca. 11.000 ha. De dijkkring heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/1250 per jaar.



Figuur B-11 Ligging dijkkring 38

De gehele primaire waterkering is van de categorie a. Het dijkkringgebied heeft ca. 45.000 inwoners. De voornaamste woonkern is Zaltbommel. Verspreid in het gebied ligt nog een aantal dorpen

De hoogteligging van het gebied loopt van NAP +3m in het oosten naar NAP +2m in het westen. In dit gebied zijn verder geen grote terreinhoogteverschillen aanwezig. Het landgebruik is voornamelijk landbouw.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

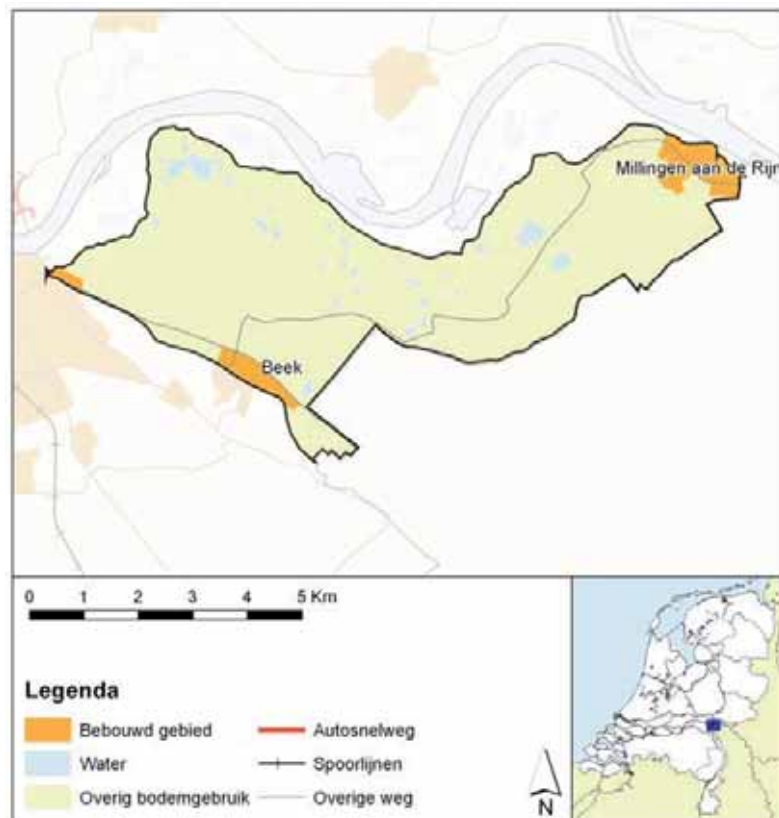
Het economisch risico voor dijkkring 38 bedraagt € 10 miljoen per jaar. De maximale schade, berekend met de globale methode, bedraagt € 2.600 miljoen. Dit is geen bovengrens. Het gebied wordt begrensd door de Maas en de Waal. De dijken langs de Waal zijn 2 tot 3 meter hoger dan langs de Maas. Bij de bepaling van de globale gevolgen is aangenomen dat de dijkkring vol water staat tot aan de laagste kruinhoogte, dus van de dijken langs de Maas. Bij een dijkdoorbraak langs de Waal is de waterstand echter 2 tot 3 meter hoger dan voor een dijkdoorbraak langs de Maas. Het water stroomt dan door het dijkkringgebied en zal uiteindelijk, wanneer de dijkkring gevuld is, bij het laagste punt in de dijken langs de Maas weer de Maas instromen. Het kan dus veel uitmaken of de overstroming vanuit de Waal of vanuit de Maas komt. Het berekende schadebedrag en het economische risico zijn geen bovengrens. Voor deze dijkkring is het aan te bevelen meer gedetailleerd naar de gevolgen te kijken.

Voor dijkkring 38 is een overstromingskans berekend van 1/260 per jaar. De oorzaken zijn grote kans op opbarsten en piping (met name op twee locaties waar zandbanen onder de waterkering liggen) en het 'niet-sluiten' en instabiliteit van kunstwerken. De beheerder herkent dit beeld en gaat nader onderzoeken of de toestand bij de kunstwerken verbetering vraagt en welke maatregelen daarvoor noodzakelijk zijn.

Dijkkring 41 Land van Maas en Waal

Gebiedsbeschrijving

Dijkkringgebied 41, Land van Maas en Waal, ligt in de provincie Gelderland. Een heel klein deel van het dijkkringgebied ligt in de provincie Limburg. Aan de zuidzijde grenst het gebied aan de Maas, aan de noordzijde aan de Waal. De hoge gronden van de stuwwal Nijmegen vormen de oostelijke begrenzing. Aan de westzijde komen de Maas en Waal dicht bij elkaar maar ze blijven gescheiden door de verbindende waterkeringen. Het dijkkringgebied heeft een oppervlakte van ca. 28.000 ha. De dijkkring heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/1250 per jaar.



Figuur B-12 Ligging dijkkring 41

Het dijkkringgebied heeft 85 km primaire waterkeringen van de categorie a en telt 8 kunstwerken: 4 sluizen, een gemaal en een effluentleiding.

Het dijkkringgebied heeft ca. 242.000 inwoners. In het oosten ligt verstedelijkt gebied met delen van Nijmegen en Wijchen. Daarnaast ligt in het hele dijkkringgebied nog een aantal plaatsen met een redelijke omvang.

De hoogte van het maaiveld verloopt van NAP +4m in het westen naar NAP +10m bij Nijmegen. De stuwwal ligt op meer dan NAP +30m hoog. Het oosten van de dijkkring is sterk verstedelijkt. In het westen is voornamelijk landbouw aanwezig.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

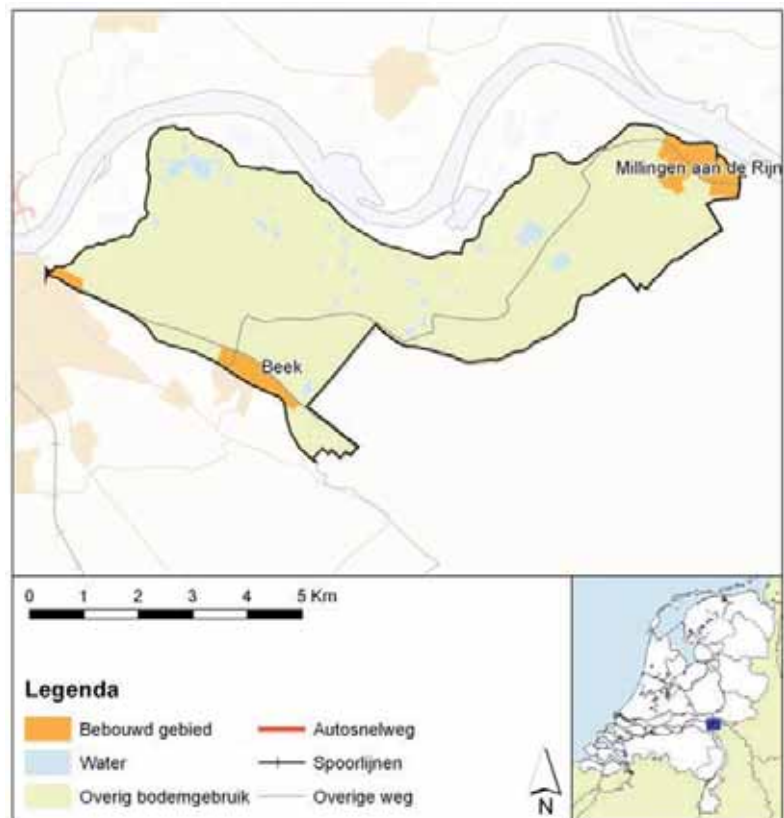
Het economisch risico voor dijkkring 41 bedraagt meer dan € 64 miljoen per jaar. De maximale schade, berekend met de globale methode, bedraagt € 6.400 miljoen. Dit is geen bovengrens. Het gebied wordt begrensd door de Maas en de Waal. De dijken langs de Waal zijn 2 tot 3 meter hoger dan langs de Maas. Bij de bepaling van de globale gevolgen is aangenomen dat de dijkkring vol water staat tot aan de laagste kruinhoogte, dus van de dijken langs de Maas. Bij een dijkdoorbraak langs de Waal is de waterstand echter 2 tot 3 meter hoger dan voor een dijkdoorbraak langs de Maas. Het water stroomt dan door het dijkkringgebied en zal uiteindelijk, wanneer de dijkkring gevuld is, bij het laagste punt in de dijken langs de Maas weer de Maas instromen. Het kan dus veel uitmaken of de overstroming vanuit de Waal of vanuit de Maas komt. Het berekende schadebedrag en het economische risico zijn geen bovengrens. Voor deze dijkkring is het aan te bevelen meer gedetailleerd naar de gevolgen te kijken.

Voor dijkkring 41 is een overstromingskans groter dan 1/100 per jaar berekend. De oorzaak zijn grote kansen voor opbarsten en piping en het niet-sluiten en constructief falen van kunstwerken. De beheerder herkent het beeld.

Dijkkring 42 Ooij en Millingen

Gebiedsbeschrijving

Dijkkringgebied 42, Ooij en Millingen, ligt in de provincie Gelderland en deels in het Duitse Nordrhein-Westfalen. Het dijkkringgebied ligt aan de Waal en de Rijn. Aan de zuid- en westzijde sluit het dijkkringgebied aan op de hoge gronden van Nijmegen. De oppervlakte van de dijkkring is ca. 3400 ha. De dijkkring heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/1250 per jaar.



Figuur B-13 Ligging dijkkring 42

De waterkering in het Nederlandse deel heeft een lengte van ca. 18 km en is van de categorie a. Eén kunstwerk maakt deel uit van de waterkering, het Hollandsch-Duitsch gemaal. Dit gemaal ligt aan de westpunt van dijkkringgebied Ooij en Millingen.

Het oosten van de dijkkring ligt op NAP +11,5m. Nabij Nijmegen ligt het maaiveld op NAP +10m. In het zuidenwesten wordt de dijkkring begrensd door hoge grond van een stuwwal. In het gebied ligt verder geen verhoging of kom.

Het landgebruik is voornamelijk agrarisch. In het westen ligt in een kleine mate natuurgebied. Het dijkkringgebied heeft ca. 14.000 inwoners verspreid over het gebied. Er zijn geen grote woonkernen.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

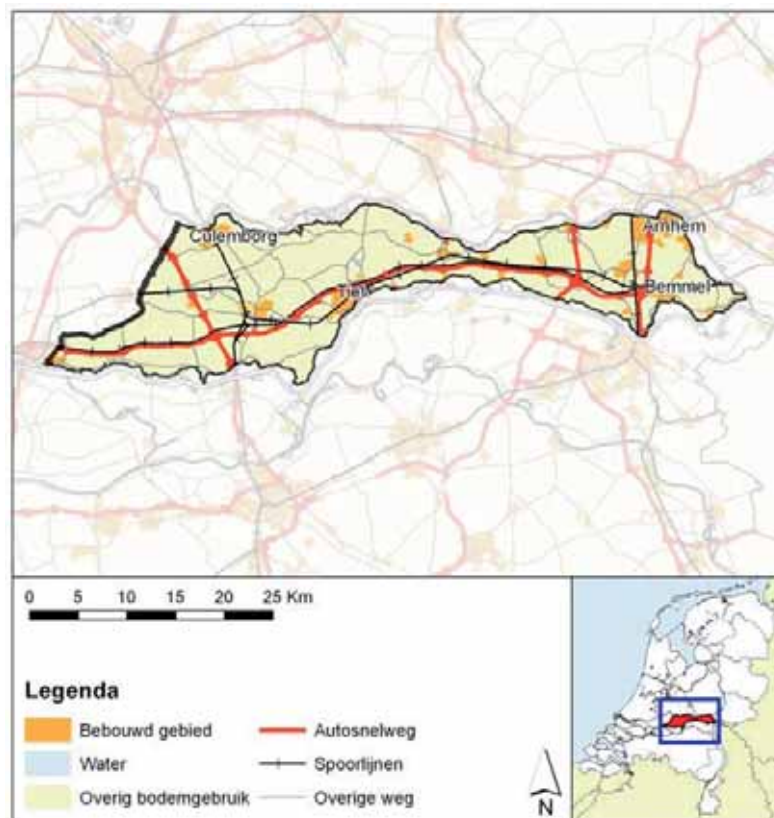
Het economisch risico voor dijkkring 42 bedraagt € 0,7 miljoen per jaar. De schade, berekend met de globale methode bedraagt € 1.000 miljoen. Dit is een geringe onderschatting van de werkelijke schade die kan optreden. De oorzaak ligt in het feit dat deze dijkkring, de Ooijpolder, gaat meestromen als een soort uiterwaard met de Waal als deze bovenstrooms instroomt. De uiterwaard stroomt vol waarna de waterstand gelijk wordt aan de waterstand op de rivier. De waterstanden worden dan hoger dan de dijkhoogtes. De waterdieptes zullen dus groter zijn dan berekend met de globale methode.

Voor dijkkring 42 is een relatief kleine overstromingskans berekend van 1/1.400 per jaar. In deze dijkkring is overloop en golfoverslag het maatgevende mechanisme. De beheerder herkent het beeld.

Dijkring 43 Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden

Gebiedsbeschrijving

Dijkringgebied 43, Betuwe en Tieler- en Culemborgerwaarden, ligt in de provincie Gelderland en de provincie Zuid-Holland. Aan de noordzijde wordt het dijkkringgebied begrensd door de Nederrijn en Lek, aan de oostzijde door het Pannerdensch Kanaal, aan de zuidzijde door de Waal en Boven Merwede en aan de westzijde door de Diefdijklinie. De Diefdijklinie is onderdeel van dijkkringgebied 43, maar ook van dijkkringgebied 16, Alblasserwaard en Vijfheerenlanden. De oppervlakte van de dijkkring is ca. 63.000 ha. De dijkkring heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/1250 per jaar.



Figuur B-14 Ligging dijkkring 43

De waterkeringen zijn van de categorie a en hebben een lengte van ca. 168,5 km. De Diefdijklinie (ca. 24 km) vormt een uitzondering hierop en is van de categorie c. Binnen het dijkkringgebied zijn in totaal 15 waterkerende kunstwerken van de categorie a aanwezig.

Het maaiveld verloopt van NAP +11m bij de Pannerdense kop tot NAP +0 m bij Gorinchem.

Het landgebruik in de dijkkring is overwegend landbouw en fruitteelt. Het aantal inwoners van deze dijkkring bedraagt 299.000. In de dijkkring liggen enkele grotere woonkernen zoals een deel van Arnhem, Lent en Geldermalsen. Daarnaast liggen er nog vele kleinere plaatsen.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

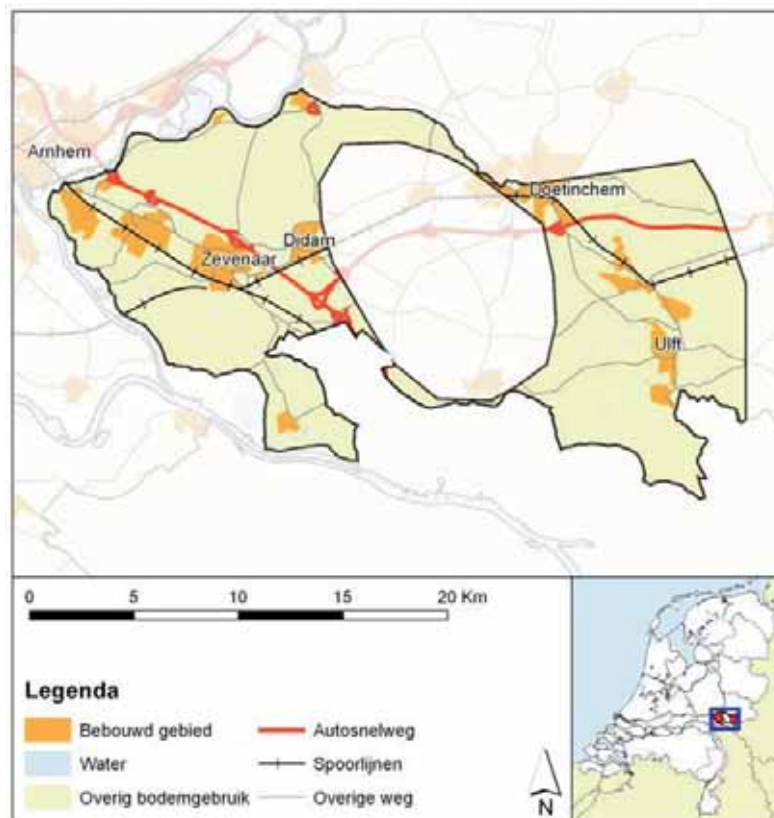
Het economisch risico voor dijkkring 43 bedraagt meer dan € 180 miljoen per jaar. De schade, berekend met de globale methode, bedraagt € 18.000 miljoen. Dit is een conservatieve waarde. De dijkkring is lang waardoor bij een overstroming halverwege het water niet meer volledig het gebied bovenstrooms zal bereiken. Hiervoor is te weinig water aanwezig. Ook zitten er compartimenten in de dijkkring die de schade verminderen.

Voor dijkkring 43 is een overstromingskans berekend die groter is dan 1/100 per jaar. Oorspronkelijk werden relatief grote kansen voor opbarsten en piping berekend. De oorzaak was grote onzekerheid in de gegevens. Na overleg met de beheerder, die voor de betreffende locaties niet bekend was met de problemen, is besloten om dit buiten de berekende overstromingskans te laten. Andere oorzaken voor de relatief grote kans zijn constructief falen en niet-sluiten van enkele kunstwerken. Dit herkent de beheerder. Onderzoek naar bodemgegevens kan uitwijzen of hier toch sprake is van een risico door opbarsten en piping. De beheerder is inmiddels onderzoek gestart naar het genoemde kunstwerk met stabiliteitsproblemen.

Dijkring 48 Rijn en IJssel

Gebiedsbeschrijving

Dijkringgebied 48 Rijn en IJssel ligt in de provincie Gelderland. De waterkering heeft een lengte van ca. 52 km en keert het water van de Rijn, het Pannerdens Kanaal en de IJssel. De noordgrens wordt gevormd door de Oude IJssel. In de dijkkring ligt het Montferland. Dit is een stuwwal die ver boven het maatgevende waterpeil uitsteekt. Aan de oostgrens van deze dijkkring ligt Duitsland, waar nog ca. 38 km categorie d kering ligt. Deze waterkering heeft VNK niet in beschouwing genomen. Het dijkkringgebied heeft een oppervlakte van ca. 29.000 ha. De dijkkring heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/1250 per jaar.



Figuur B-15 Ligging dijkkring 48

De gehele waterkering is van de categorie a. Er zitten 8 kunstwerken in de waterkering: 3 gemalen, 3 duikers, een coupure en een voormalig defensie kunstwerk.

De hoogteligging varieert van NAP 12,5m bij Lobith tot NAP 8,5m bij Giesbeek. Het Montferland heeft als hoogste punt NAP +80m.

De dijkkring heeft 156.000 inwoners. De grootste woonkern is Zevenaar. In het noorden, in de omgeving van de lager gelegen delen van de dijkkring, is het landgebruik overwegend agrarisch.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

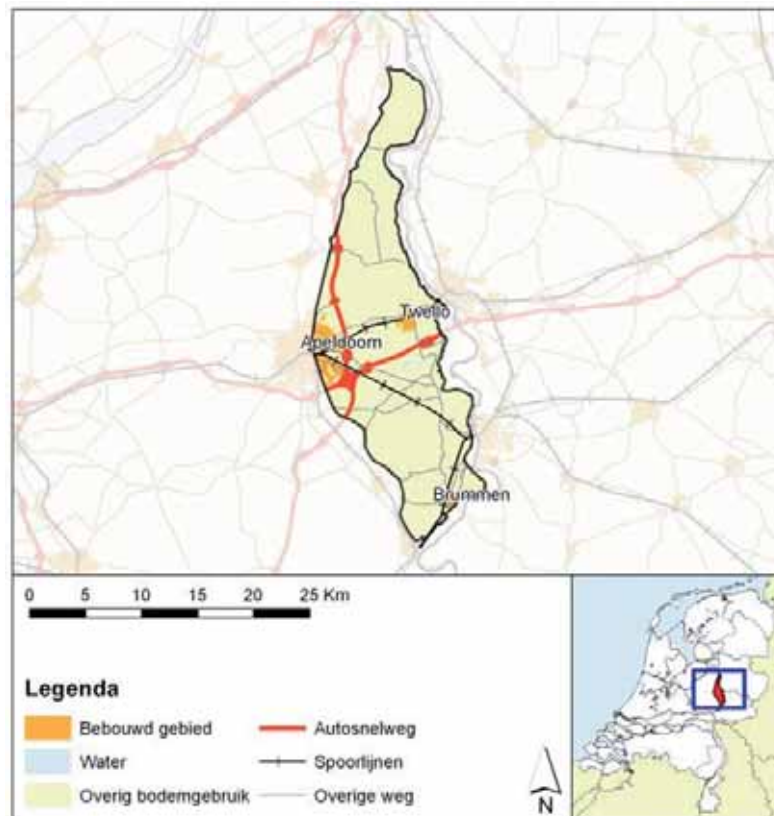
Het economisch risico voor dijkkring 48 bedraagt € 34 miljoen per jaar. De schade is berekend met de globale methode en bedraagt € 6.800 miljoen. Dit is een bovengrens. Zeer waarschijnlijk zal bij overstroming niet de hele dijkkring vollopen. Er zitten compartimenten in de dijkkring.

De berekende overstromingskans van dijkkring 48 bedraagt 1/200 per jaar. De oorzaak is vooral de grote kans op opbarsten en piping. In dit geval lijkt de grote kans niet te wijten aan onzekerheid over de bodemgegevens. Andere oorzaken voor de relatief hoge overstromingskans zijn constructief falen van drie kunstwerken en niet-sluiten van twee kunstwerken.

Dijkkring 52 Oost-Veluwe

Gebiedsbeschrijving

Dijkkring 52, Oost-Veluwe ligt in de provincie Gelderland en deels in de provincie Overijssel. Het gebied ligt op de westoever van de rivier de IJssel. Aan de noord-, west- en zuidzijde wordt het dijkkringgebied begrensd door de hoge gronden van de Veluwe. De oppervlakte van de dijkkring bedraagt ca. 31.000 ha. De dijkkring heeft volgens de Wet op de waterkering een gemiddelde overschrijdingskans van 1/1250 per jaar.



Figuur B-16 Ligging dijkkring 52

De primaire waterkeringen van dijkkringgebied 52 zijn allemaal van de categorie a en hebben een totale lengte van ca. 65 km. Twaalf kunstwerken maken onderdeel uit van de primaire waterkeringen: 6 gemalen, 4 sluizen en 2 coupures.

Het maaiveldniveau in het zuiden bedraagt ca. NAP +10m. In het noorden van de dijkkring bedraagt het maaiveldniveau NAP +1,5m. Ten noorden van Apeldoorn vormt de dijkkring een kom. Het maaiveld ligt in het midden van de dijkkring lager dan nabij de IJssel.

Het landgebruik is overwegend agrarisch. Het dijkkringgebied heeft ca. 105.000 inwoners. De grootste woonkern is Apeldoorn.

Resultaten risico's, gevolgen en kansen

Het economisch risico is groter dan € 31 miljoen per jaar. De maximale schade, berekend met de globale methode, bedraagt € 3.100 miljoen. Dit is een bovengrens.

De berekende overstromingskans van dijkkring 52 is groter dan 1/100 per jaar.

Zwakke plekken analyse

De belangrijkste bijdrage aan de overstromingskans leveren opbarsten en piping voor twee dominant zwakke dijkvakken. Daarnaast speelt voor veertien overig zwakke dijkvakken opbarsten en piping, voor drie overige zwakke dijkvakken overloop en golfoverslag en voor één overig zwak kunstwerk 'niet-sluiten'. De beheerder herkent opbarsten en piping gedeeltelijk. Bij hoogwater is weliswaar kwel geconstateerd maar bij de tweede toetsing zijn de dijkvakken wel goedgekeurd voor het opbarsten en piping. Bij de toetsing wordt een andere berekeningswijze gebruikt dan in Veiligheid van Nederland in Kaart

Wanneer onderzoek plaatsvindt naar de twee dominant zwakke dijkvakken aan de overstromingskans en zonodig de kwelweglengte wordt verlengd neemt de overstromingskans af tot 1/100 per jaar. Een bovengrens voor de kosten om de kwelweglengte te verlengen bedraagt € 5,3 miljoen. Uitgangspunt hierbij is dat het gehele vak wordt aangepakt, ook daar waar het probleem misschien niet speelt. Om de overstromingskans verder te verkleinen tot 1/250 per jaar moet ook voor de veertien overig zwakke dijkvakken met opbarsten en piping, de drie overig zwakke dijkvakken met overloop en golfoverslag en het overig zwak kunstwerk met 'niet-sluiten' nader onderzoek plaatsvinden en zonodig de kwelweglengte verlengd en de dijk verhoogd worden. Een bovengrens voor de kosten is € 31,3 miljoen. Het economisch risico wanneer de overstromingskans verkleind wordt tot 1/250 per jaar bedraagt € 12,4 miljoen per jaar

Bijlage C. Toelichting projecten gericht op overstromingsrisico's

Deze bijlage geeft een overzicht van studies gericht op overstromingsrisico's. Deze studies zijn veelal op andere uitgangspunten gebaseerd dan in VNK en verkeren in een ander stadium in de beleidscyclus. Hier wordt ingegaan op het verschil in aanpak tussen een aantal andere studies en projecten en de relatie met VNK.

Ruimte voor de Rivier

Het project Ruimte voor de Rivier heeft twee doelen: het op het wettelijk vereiste niveau brengen van de bescherming van het rivierengebied tegen overstromingen (met als taakstelling een reductie van de hoogwaterstanden met circa 0,3 m) en een bijdrage leveren aan het verbeteren van de ruimtelijke kwaliteit van het rivierengebied. In het project vindt implementatie van beleid plaats. De achtergrond van de taakstelling is de verhoging van de maatgevende afvoer voor Rijn en Maas, welke opgenomen is in de Hydraulische Randvoorwaarden 2001. Inmiddels is de Ontwerp Planologische Kernbeslissing verschenen met de maatregelen die noodzakelijk zijn om aan het wettelijk vastgelegde beschermingsniveau te voldoen.

In VNK is uitgegaan van de Hydraulische Randvoorwaarden 2001. Er is dus geen rekening gehouden met de maatregelen die in het kader van Ruimte voor de rivier worden getroffen.

In kader van het project Ruimte voor de Rivier is ook een kosten-baten analyse uitgevoerd door het Centraal Plan Bureau. In deze analyse is als benadering van de overstromingskans uitgegaan van de overschrijdingskans van waterstanden. Geconcludeerd is dat voor de meeste dijkkringen in het rivierengebied meer geïnvesteerd mag worden in veiligheid dan nu wettelijk wordt vereist. Daarnaast is geconcludeerd dat periodieke investeringen in bescherming noodzakelijk zijn vanwege klimaatverandering en economische groei in de dijkkringgebieden.

Zwakke Schakels langs de kust

Het project "Zwakke Schakels" heeft als doel om de effecten van de nieuwe inzichten in golfbelastingen langs de Hollandse en Zeeuwse kust inzichtelijk te maken en op basis daarvan een maatregelenpakket te implementeren. Zo wordt de veiligheid tegen grootschalige overstromingen voor de korte en lange termijn hersteld. Aanleiding van dit project waren sterke aanwijzingen dat de golfbrandvoorwaarden op diep water langs de kust hoger zijn dan tot nu toe aangenomen. Deze zwaardere golfbelastingen zijn niet opgenomen in de Hydraulische Randvoorwaarden 2001, omdat deze inzichten destijds nog niet algemeen geaccepteerd waren. Na het verschijnen van de Hydraulische Randvoorwaarden 2001 is een onderzoek uitgevoerd om inzicht te krijgen in de ernst van de situatie. De resultaten geven aan dat er geen sprake is van aantoonbare onveiligheid. Wel kunnen de hoge randvoorwaarden over een periode van 20 jaar leiden tot het niet meer

aan de norm voldoen van enkele zwakke schakels. Op dit moment worden planstudies uitgevoerd om de maatregelen verder uit te werken. In het project "Zwakke Schakels" vindt dus implementatie van beleid plaats. In het VNK onderzoek is uitgegaan van de Hydraulische Randvoorwaarden 2001. Er is dus geen rekening gehouden met de nieuwe inzichten over de zwaardere golfcondities.

Rampenbeheersing Strategie Overstromingen Rijn en Maas (RBSO)

In december 2003 heeft het kabinet met het uitbrengen van het Kabinetsstandpunt Rampenbeheersing strategie Overstromingen Rijn en Maas (RBSO) besloten tot verder onderzoek naar vijf opties voor rampenbeheersing. De resultaten van dit onderzoek zijn nodig om te komen tot een afgewogen strategie bij een dreigende overstromingsramp.

Ook na de uitvoering van de nu lopende veiligheidsprogramma's, zoals Ruimte voor de Rivier en de Maaswerken, kent Nederland geen absolute veiligheid. Deze programma's zijn er op gericht om in 2015 te voldoen aan de veiligheidsnormen uit de Wet op de waterkering. Een kans op een overstroming van het riviereengebied blijft echter altijd bestaan, zowel door bovenmaatgevende waterstanden als door andere faalmechanismen.

Bij het onderzoek naar de opties voor rampenbeheersing is overgestapt van de benadering die uitgaat van overschrijdingskansen naar een benadering die uitgaat van overstromingskansen. In de eerste plaats is dit gedaan omdat het gaat over rampenbeheersing en een overstroming niet alleen als gevolg van een bovenmaatgevende afvoer met bijbehorende bovenmaatgevende waterstand kan plaatsvinden. Een overstroming kan ook plaatsvinden als gevolg van andere onzekerheidsbronnen zoals een verandering in de afvoerverdeling op de splitsingspunten, wind en afschuiven. Daarnaast kennen dijken nog een reststerkte waardoor overbelasting niet direct tot falen hoeft te leiden.

In de tweede plaats is de overstap naar overstromingskansen gemaakt omdat alleen de mogelijke maatregelen die de maatgevende afvoer beïnvloeden een verandering van de overschrijdingskans tot gevolg hebben. De effecten van de andere opties kunnen niet in beeld gebracht worden.

Risico's in bedijkte termen

In mei 2004 is in opdracht van DG Water het onderzoek "Risico's in bedijkte termen, een evaluatie van het beleid inzake de veiligheid tegen overstromen" uitgevoerd (RIVM, 2004). In de evaluatie is geconcludeerd dat het huidige veiligheidsbeleid niet leidt tot het veilige en bewoonbare Nederland zoals dat met de vaststelling van de veiligheidsnormen van 1960 werd beoogd. De aandacht was destijds wel in aanleg gericht op kansen en gevolgen, maar uit pragmatische overwegingen is gekozen voor een beleid van versterken en handhaven van primaire waterkeringen die voorgeschreven maatgevende omstandigheden veilig kunnen keren. Volgens het RIVM zijn de veiligheidsnormen niet langer kosteneffectief afgestemd op de ruimtelijke verdeling van de economische waarde, en is de kans op veel slachtoffers (groepsrisico) door overstromingen veel groter dan voor alle onderkende externe veiligheidsrisico's bij elkaar. In het rapport zijn

ook expert schattingen in de vorm van bandbreedtes opgenomen van overstromingskansen, economische schade en aantallen slachtoffers.

Bijlage D. Lijst van betrokken instanties

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Water

Projectbureau VNK

Rijkswaterstaat (Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Bouwdienst)

Diverse andere onderdelen van Rijkswaterstaat

Beheerders

Waterschappen

Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Hoogheemraadschap van Delfland

Hoogheemraadschap van Rijnland

Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimperwaard

Waterschap Aa en Maas

Waterschap Brabantse Delta

Waterschap Groot Salland

Waterschap Hollandse Delta

Waterschap Hunze en Aa's

Waterschap Noorderzijlvest

Waterschap Reest en Wieden

Waterschap Rijn en IJssel

Waterschap Rivierenland

Waterschap Vallei & Eem

Waterschap Veluwe

Waterschap Zeeuws Vlaanderen

Waterschap Zeeuwse Eilanden

Waterschap Zuiderzeeland

Wetterskip Fryslân

Provincies

Provincie Flevoland

Provincie Friesland

Provincie Gelderland

Provincie Groningen

Provincie Noord-Brabant

Provincie Overijssel

Provincie Utrecht

Provincie Zeeland

Provincie Zuid-Holland

Ingenieursbureaus betrokken bij doorrekenen dijkringen

Alkyon
Arcadis
DHV
Fugro Ingenieursbureau
Grontmij
Infram
Ingenieursbureau BCC
Iv-Infra
Lievense raadgevend adviesbureau
Oranjewoud
Royal Haskoning
TAUW
Witteveen en Bos

Overig

Alterra
Axtention
B&A Groep
BB&C Baarse Beleidsondersteuning & Consult
Demis
Erasmus Universiteit
Expertise Netwerk Waterkeringen
(voorheen Technische adviescommissie voor de Waterkeringen)
Geodan
GeoDelft
HKV LJN IN WATER
Infocus
Inter Provinciaal Overleg
Met andere woorden
QQQ Delft
Resource Analysis
Tebodin
Technische Universiteit Delft
Technische Universiteit Twente
TNO
Twiynstra Gudde
Unie van Waterschappen
WLI Delft Hydraulics