

**Maatschappelijke  
kosten-batenanalyse  
Waterveiligheid 21<sup>e</sup> eeuw**





## Samenvatting en conclusies

### Aanleiding en doel

Voor de actualisering van de waterveiligheidsnormen is een aantal jaren terug het beleidstraject 'Waterveiligheid 21<sup>e</sup> eeuw' (WV21) in gang gezet. Inmiddels maakt de actualisering deel uit van het generieke deelprogramma 'Veiligheid' van het Deltaprogramma. Dit deelprogramma onderzoekt in hoeverre het huidige beschermingsniveau tegen overstromingen nog voldoende aansluit bij de economische waarden en mogelijke slachtofferaantallen achter de waterkeringen. Door Deltares zijn in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) en analyses van slachtofferrisico uitgevoerd ten behoeve van de onderbouwing van waterveiligheidsnormen.

### Opzet van de maatschappelijke kosten-batenanalyse

De MKBA richt zich op de kosten en baten van maatregelen die tot doel hebben om de kans op een overstroming te reduceren. Voor de dijken die het achterland direct beschermen tegen grootschalige overstromingen vanuit de kust, rivieren en meren (de zgn. A-keringen) zijn economisch optimale beschermingsniveaus berekend. Daarnaast zijn de kosten in beeld gebracht die nodig zijn om de economisch optimale beschermingsniveaus te realiseren. In het onderzoek is uitgegaan van dijkversterking als maatregel. Maatregelen die er op gericht zijn om, in plaats van de overstromingskansen te reduceren, de gevolgen te beperken, zijn niet in de MKBA meegenomen.

In de MKBA is gebruik gemaakt van een economisch model dat een optimale, lange termijn investeringsstrategie in dijkverhogingen beschrijft. 'Optimaal' wil zeggen dat de totale kosten van investeringen in dijkverhoging en verwachte schade (kans maal schade) over een langere periode worden geminimaliseerd. Daarbij is rekening gehouden met economische groei (waardoor de schade bij overstromen in de tijd stijgt) en met klimaatverandering en bodemdaling (waardoor de overstromingskansen in de tijd toenemen). Het model rekent een optimale investeringsstrategie uit met optimale tijdstippen en optimale omvang van dijkverhogingen. Vervolgens zijn uit deze strategie economisch optimale overstromingskansen afgeleid.

Omdat is toegewerkt naar één getal (een economisch optimale overstromingskansen) zijn – ook al zitten daar lastige kanten aan – zo veel mogelijk aspecten van veiligheid monetair gewaardeerd. Dat geldt ook voor slachtoffergerelateerde schade en schade aan landschap, cultuur en natuur.

### De middenkans van 2050 als maat voor economisch optimaal beschermingsniveau

In de MKBA is aangesloten bij het concept van de 'middenkans' als indicator voor de economisch optimale toetsnorm zoals die ontwikkeld is door Eijgenraam (2009a). Dit houdt in dat als uit een toetsing blijkt dat de norm overschreden wordt, dit gezien zou moeten worden als een signaal om de waterkering te gaan verbeteren. In het concept van de middenkans is er rekening mee gehouden dat het uitvoeren van verbeteringsmaatregelen tot 20 jaar kan duren en dat gedurende deze periode de overstromingskansen verder kan toenemen. Het concept van de middenkans houdt dus in dat de norm geen getal is dat nooit overschreden zou mogen worden.

De economisch optimale overstromingskansen (middenkans) wordt in de loop der tijd steeds kleiner als gevolg van economische groei. Daarom is het noodzakelijk om een jaar te kiezen

waarvoor de middenkans in de MKBA wordt berekend en gepresenteerd. Gekozen is voor het jaar 2050. Deze keuze houdt verband met de wens vanuit het beleid dat de nieuwe normen in beginsel worden vastgesteld voor de periode tot 2050.

### **Economisch optimale beschermingsniveaus voor dijkeringen of dijkringdelen**

De economisch optimale beschermingsniveaus zijn berekend op het niveau van in de Waterwet gedefinieerde dijkeringen, of op het niveau van dijkringdelen. Vijftien dijkeringen zijn met het oog op verschillen in de gevolgen van een dijkdoorbraak of verschillende onafhankelijke bedreigingen in meerdere dijkringdelen opgedeeld.

### **Twee referentiesituaties in het onderzoek**

De referentiesituatie vervult binnen de MKBA WV21 twee verschillende functies: (1) als startpunt voor de berekeningen en (2) als situatie om de berekende economisch optimale beschermingsniveaus mee te kunnen vergelijken.

De referentiesituatie beschrijft in beginsel de verwachte situatie bij voortzetting van het huidige beleid; dus een ongewijzigd beleid. In WV21 is ervoor gekozen hier op twee verschillende manieren invulling aan te geven. Daarom zijn twee referentiesituaties onderscheiden. Het onderscheid tussen beide heeft met name betrekking op de wijze waarop wordt omgegaan met nieuwe inzichten bij het bepalen van overstromingskansen (de bijdrage van piping en de invloed van lengte-effecten):

- De **eerste referentiesituatie** sluit aan bij het uitgangspunt van de Commissies Becht (1977), Boertien (1993) en Veerman (2008). In deze referentiesituatie zijn de overstromingskansen van de dijkeringen of dijkringdelen getalsmatig gelijk gesteld aan de huidige wettelijke normfrequenties in termen van overschrijdingskansen. De referentiesituatie weerspiegelt de *(in de maatschappij) veronderstelde/gepercipieerde* beschermingsniveaus. Deze referentiesituatie wordt in dit rapport ook aangeduid als de **basisvariant**.
- De **tweede referentiesituatie** – rekening houdend met nieuwe inzichten – vormt een *schatting van de verwachte* overstromingskansen na uitvoering van de lopende verbeterprojecten en –programma's (in 2015/2020). De geschatte overstromingskans van de tweede referentiesituatie is groter, dan wel gelijk aan die van de eerste referentiesituatie.

De kosten van dijkversterking zijn voor de eerste referentiesituatie volledig gebaseerd op de huidige leidraden en voorschriften. Bij de tweede referentiesituatie wordt rekening gehouden met de grotere betekenis van piping bij de kostenraming. Hierdoor zijn met name in het rivierengebied maatregelen duurder.

### **Overige belangrijke uitgangspunten**

De analyses zijn uitgevoerd zonder eventueel aanwezige overhoogte en –sterkte van dijken mee te nemen. Hierover zijn nauwelijks betrouwbare gegevens voorhanden. Door het niet meenemen van overhoogte zijn de kosten voor bepaalde trajecten mogelijk te hoog geschat waardoor de economisch optimale overstromingskansen te groot worden berekend.

De overstromingskansen zullen in de tijd toenemen als gevolg van bodemdaling, zeespiegelstijging en stijging van rivierafvoeren. Voor het klimaat is van het Warm+ scenario van het KNMI uitgegaan. Voor het IJsselmeer is verondersteld dat het peil tot 2035

gehandhaafd kan blijven en dat het daarna met de zeespiegel meestijgt; het peil van het Markermeer blijft gehandhaafd. Voor de toekomstige Rijnafvoer is verondersteld dat de relatieve verschillen in beschermingsniveaus tussen Nederland en Duitsland blijven bestaan, waardoor in Duitsland eerder overstromingen optreden dan in Nederland. Hierdoor wordt de Rijnafvoer ter hoogte van Lobith 'afgetopt' op 16.500 m<sup>3</sup>/s in de huidige situatie, op 17.000 m<sup>3</sup>/s in 2050 en 18.000 m<sup>3</sup>/s in 2100.

De materiële overstromingsschade is berekend met de standaard schade- en slachtoffermodule (HIS-SSM). Op basis van internationale ervaringen en uit literatuurstudies blijkt dat sommige schadeposten in deze module onderschat zijn en anderen in zijn geheel ontbreken, zoals de indirecte schade of schade aan landschap, natuur en cultuur. Daarom is een in de MKBA onderbouwde opslag van 50% op de materiële schade gebruikt.

Van huishoudens en (kleine en middelgrote) bedrijven mag verwacht worden dat ze risicoavers zijn en bereid zijn om een groter bedrag te betalen voor hoogwaterbescherming dan het bedrag van de vermeden schade. Daardoor zijn de baten van hoogwaterbescherming in beginsel ook groter dan het bedrag van de vermeden schade. Risicoaversie wordt echter minder belangrijk naarmate de overheid zich bereid toont om een groter deel van de (materiële) schade te vergoeden. In de MKBA is er van uitgegaan dat de overheid een belangrijk deel van de materiële schade van huishoudens zal vergoeden. Onder die strikte voorwaarde kan risicoaversie meegenomen worden als een relatief bescheiden opslag van 10% op de materiële schade. De opslag voor risicoaversie is met behulp van nutsfuncties onderbouwd.

De immateriële schade bestaat uit het verlies aan mensenlevens, gewonden, getroffen en evacués. Hiervoor zijn met behulp van enquêtes financiële kengetallen afgeleid. Vervolgens is de immateriële schade bij de materiële schade opgeteld tot een totaal schadebedrag per dijkkring of dijkkringdeel.

Voor de toename van de schade is uitgegaan van het *Transatlantic Market* scenario van de WLO. Hierin groeit de economie met 1,9% reëel per jaar.

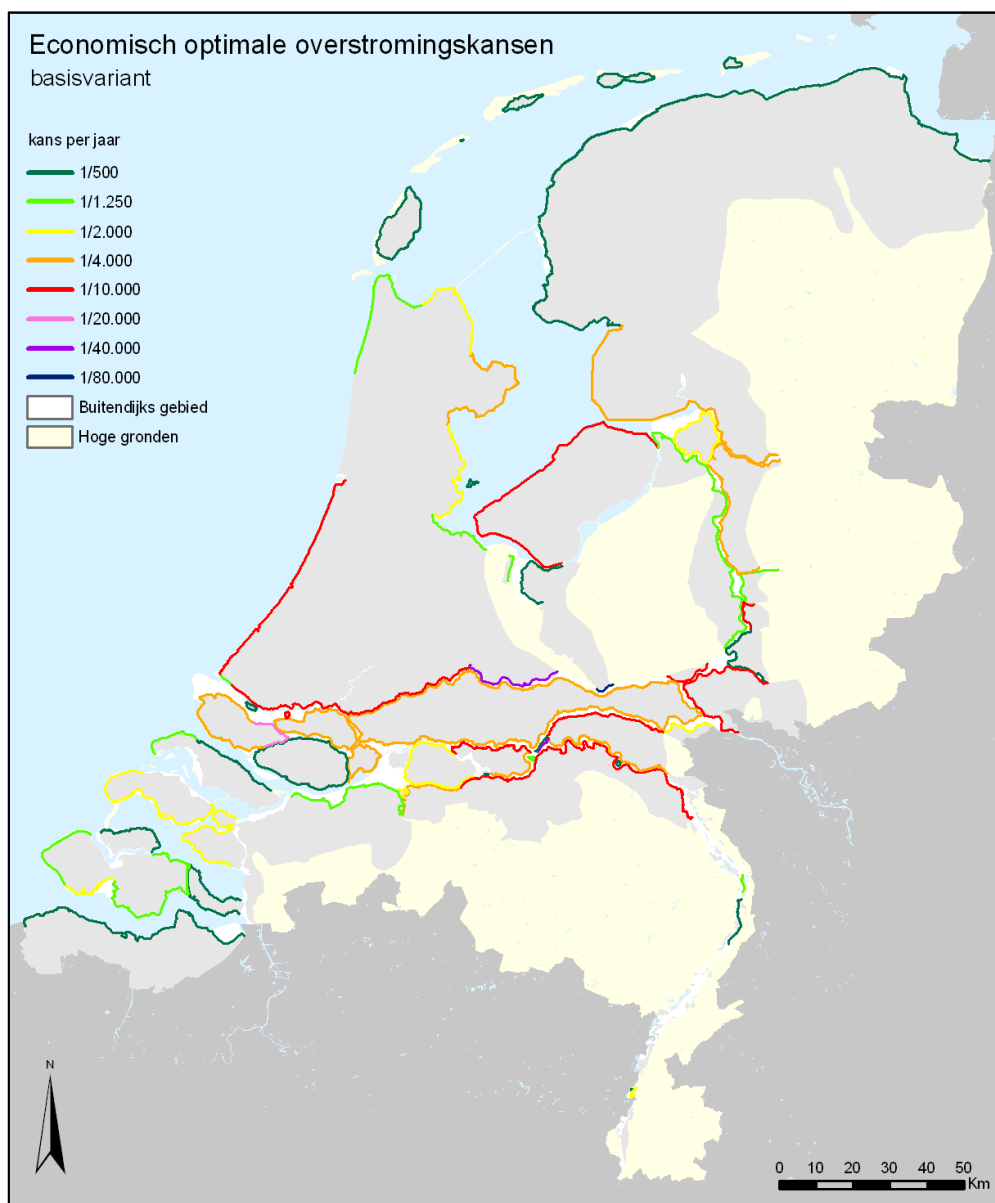
Voor de discontovoet is een percentage van 5,5% per jaar gebruikt, conform de thans geldende kabinetsvoorschriften.

### **Globaal beeld van de overstromingsscenario's**

De analyse van de overstromingsscenario's levert een beeld op waarin vooral in het rivierengebied en langs het IJsselmeer dijkkringen diep onder water kunnen komen te staan. Overstromingen van kustgebieden zijn veelal in omvang beperkter en de waterdieptes zijn hier beperkter. De gevolgen van een overstroming zijn hierdoor in het rivierengebied en in Flevoland het grootst.

### **Resultaat: economisch optimale beschermingsniveaus**

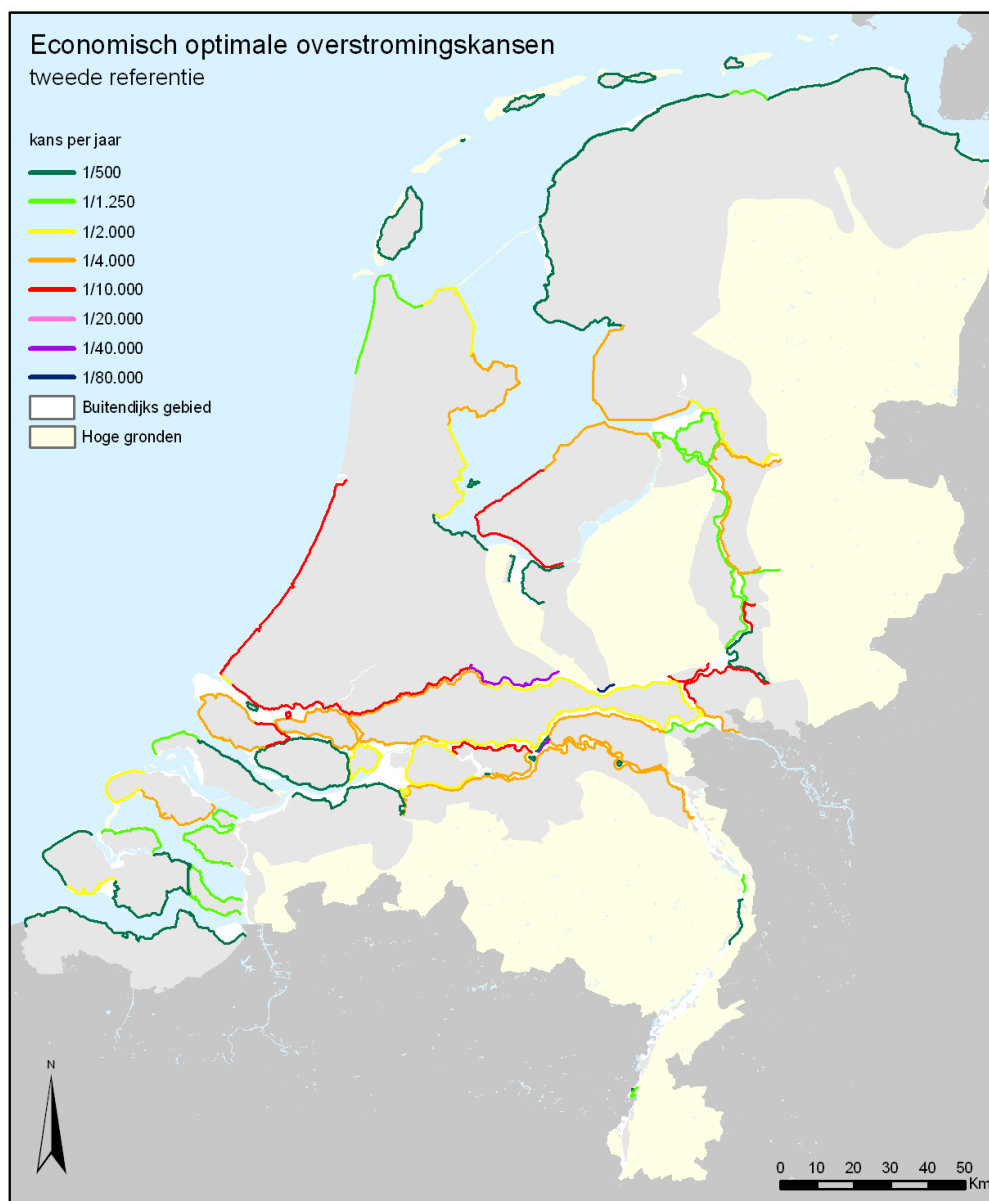
In de MKBA is de reductie van het overstromingsrisico afgezet tegen de kosten die daarvoor gemaakt moeten worden. Doordat in de tweede referentie de kosten van maatregelen in het centrale rivierengebied hoger zijn, zijn in dit gebied de economisch optimale overstromingskansen van de tweede referentie ook duidelijk groter dan die van de basisvariant. In de basisvariant liggen deze voor het centrale rivierengebied overwegend tussen circa 1/4000 en 1/10.000 per jaar en voor de tweede referentie tussen circa 1/2000 en 1/4000 per jaar.



Figuur S1 Economisch optimale overstromingskansen per dijkkringdeel, basisvariant

Langs de IJssel zijn de economisch optimale overstromingskansen in beide referenties over het algemeen groter dan die in het centrale rivierengebied (1/500 tot 1/10.000 per jaar), net als voor de onbedijkte Maas (1/500 tot 1/2000 per jaar). In het benedenrivierengebied en Centraal Holland zijn de economisch optimale overstromingskansen voor de meeste dijkringen tussen 1/4000 en 1/10.000 per jaar. In het IJsselmeergebied is de economisch optimale overstromingskans voor Flevoland het kleinst (circa 1/10.000 per jaar). Voor de overige dijkringen in het IJsselmeergebied lopen de economisch optimale overstromingskansen uiteen van 1/500 tot 1/4000 per jaar. Voor dijkringen aan de Waddenzee is de economisch optimale overstromingskans ca 1/500 per jaar en voor de kop van Noord-Holland 1/1250 per jaar. Voor Zeeland lopen de economisch optimale overstromingskansen uiteen van 1/500 tot 1/4000 per jaar.





Figuur S2 Economisch optimale overstromingskansen per dijkkringdeel, tweede referentie

De economisch optimale overstromingskansen zijn voor de meeste dijkringen in het rivierengebied van de Rijn en Maas (inclusief de Maaskades) en Flevoland duidelijk kleiner dan de overstromingskansen uit beide referentiesituaties. In economische zin is hier sprake van 'onderverzekering'. Voor de overige dijkringen geldt voor beide referentiesituaties dat er vanuit een economisch oogpunt geen sprake is van 'onderverzekering'.

De berekende economisch optimale overstromingskansen uit de MKBA zijn niet één op één vergelijkbaar met de huidige wettelijke normen in termen van overschrijdingskansen. Wel kan geconcludeerd worden dat de berekende economisch optimale beschermingsniveaus afwijken van die van de huidige wettelijke normering met relatief hoge beschermingsniveaus langs de kust en relatief lage beschermingsniveaus voor de rivieren. Redenen die hiervoor genoemd kunnen worden, zijn onder andere het ontbreken van een consistente economische onderbouwing van de huidige normen, sterk verbeterde inzichten in overstromingsrisico's en ruimtelijk economische ontwikkelingen sinds de tijd waarin de normen zijn vastgesteld.

De berekende economisch optimale beschermingsniveaus liggen in lijn met die van de kengetallen kosten-batenanalyse WV21 uit 2008 en met die van de KBA Ruimte voor de Rivier uit 2005.

### **Aandachtspunten met betrekking tot de Maaskades**

De economisch optimale overstromingskansen voor de Maaskades zijn relatief klein vergeleken met de referentiekansen. Daarom is geconcludeerd dat deze vanuit economisch oogpunt 'onderverzekerd' zijn. Tegelijkertijd gelden hier een aantal belangrijke voorbehouden en kanttekeningen. Het betreft de systeemwerking tussen de bedijkte en onbedijkte Maas (in de MKBA niet meegerekend), de eventuele noodzaak om de kades verder door te trekken als de norm wordt verhoogd (niet meegenomen in de MKBA) en de mate waarin de kades overstroombaar zijn dan wel doorbreken en het effect dat dat heeft op de mogelijkheden tot evacueren (in de MKBA is van doorbraak uitgegaan). Tenslotte is ook de extrapolatie van de resultaten van de vier Maaskades die zijn meegenomen in het onderzoek, naar de overige Maaskades, onzeker. Dat betekent dat enig voorbehoud met betrekking tot de economisch optimale beschermingsniveaus van de Maaskades op zijn plaats is.

### **Gevoeligheidsanalyse rondom de economisch optimale overstromingskans**

Gevoeligheidsanalyses tonen aan dat voor de dijkringen in het bovenrivierengebied de aanname dat de toekomstige beschermingsniveaus in Duitsland blijvend lager zullen zijn dan in Nederland, erg belangrijk is. Wanneer in Duitsland de beschermingsniveaus worden aangescherpt dan zijn meer en duurdere maatregelen in Nederland nodig. De economisch optimale overstromingskansen zijn dan groter. Verder zijn de economisch optimale beschermingsniveaus het meest gevoelig voor het gehanteerde economische scenario en de onzekerheden ten aanzien van de kosten en bestaande overhoogte. De overstromingskans in de referentiesituatie en het gehanteerde klimaatscenario zijn minder of niet van invloed op het economisch optimale beschermingsniveau (maar wel op de benodigde investeringen).

Uit de Monte Carlo-analyse rondom de economisch optimale overstromingskansen volgt dat de bandbreedte rondom de economisch optimale overstromingskansen vrij groot is (ca -60% tot +100%). Anders gezegd, rondom een economisch optimale overstromingskans van bijvoorbeeld 1/2000 per jaar zit een bandbreedte van 1/1000 (+100%) tot 1/5000 (-60%) per jaar. De onzekerheid in de raming van de totale (materiële en immateriële) schade is voor de meeste dijkringen de belangrijkste verklaring: onzekerheden over onder andere het overstromingsverloop, evacuatiefracties, schade- en mortaliteitsfuncties en economische groei stapelen zich hier op. De onzekerheid rondom veel onzekere variabelen is verder asymmetrisch. Hierdoor worden in de Monte Carlo-analyse economisch optimale overstromingskansen gevonden die gemiddeld zo'n 30% kleiner zijn dan die van de basisvariant en de tweede referentie.

Ondanks de vrij grote bandbreedtes zijn de geschetste relatieve verhoudingen van de economisch optimale overstromingskansen tussen de verschillende dijkringen robuust te noemen.

### **Effect van inrichtingsvarianten op de economisch optimale beschermingsniveaus**

In de berekeningen van de economisch optimale beschermingsniveaus is een aantal keuzes gemaakt over het systeem van waterkeringen waarvan uit gegaan is. In een aantal varianten zijn de economisch optimale overstromingskansen berekend bij een aantal andere keuzes over het systeem. Keuzes zijn het al dan niet versterken van de C-keringen in Centraal Holland (die een scheiding vormen tussen de dijkringen 14, 15 en 44), het al dan niet compartimenteren van dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) en de



verschillende (beleids-) scenario's voor de mogelijke opzet van het IJsselmeerpeil. Voor al deze varianten kan geconcludeerd worden dat het effect op het economisch optimale beschermingsniveau relatief beperkt is.

### **Maatregelen en kosten voor de economisch optimale beschermingsniveaus**

Voor het bereiken van de economisch optimale beschermingsniveau is de benodigde verhoging van de kruin van de dijken voor Flevoland gemiddeld 20 cm en voor het rivierengebied gemiddeld ongeveer 30 cm.

In het rivierengebied kunnen de hogere economisch optimale beschermingsniveaus ook worden gerealiseerd door rivierverruimende maatregelen uit te voeren. Om de economisch optimale beschermingsniveaus van de basisvariant te bereiken, zou een verlaging van de maatgevende hoogwaterstanden (MHW) nodig zijn van gemiddeld ongeveer 20 cm langs grote delen van de Maas, Waal, Nederrijn, Lek en IJssel.

De economisch optimale beschermingsniveaus van de tweede referentie zijn niet vertaald in termen van MHW en kruinhoogte, omdat hier in eerste instantie vaak maatregelen nodig zullen zijn om piping tegen te gaan (stabiliteitsmaatregelen als bermen, kwelschermen of damwanden).

Door de ingebouwde 'besteltijd' van 20 jaar in de middenkans leidt de mogelijke keuze voor de middenkans van 2050 tot maatregelen tot omstreeks het jaar 2070. Voor de basisvariant (waarin de referentiekansen per dijkkringdeel getalsmatig gelijk zijn genomen aan de huidige overschrijdingskansnormen) bedragen de kosten van dijkversterkingen voor het bereiken van de economisch optimale beschermingsniveaus in het rivierengebied en het zuidwesten van Flevoland tot 2070 in totaal 4,3 miljard euro (prijspeil 2009, inclusief BTW) met een bandbreedte (80% betrouwbaarheidsinterval) van 3,4 tot 6,4 miljard euro.

Wanneer uitgegaan wordt van de tweede referentie, met grotere referentiekansen in met name het rivierengebied en hogere kosten als gevolg van extra pipingbermen, dan bedragen de geschatte kosten tot 2070 in totaal 6,6 miljard euro (prijspeil 2009, inclusief BTW) met een bandbreedte (80% betrouwbaarheidsinterval) van 5,3 tot 9,9 miljard euro.

De kosten voor hoogwaterbescherming die tot 2070 nodig zijn om de waterkeringen aan de huidige normen te laten voldoen en de effecten van klimaatverandering op te vangen, zijn hierin niet opgenomen. Deze bedragen naar alle waarschijnlijkheid een veelvoud van de kosten voor het bereiken van de economisch optimale beschermingsniveaus. Deze kosten zijn voor de MKBA WV21 niet direct van belang en daarom ook niet precies geraamd.

### **De berekende economisch optimale beschermingsniveaus in relatie tot...**

#### **...B-keringen**

Bij het bepalen van de economisch optimale beschermingsniveaus van de A-keringen is er aan voorbij gegaan dat dit mogelijk ook tot extra aanpassingskosten voor de voorliggende B-keringen zou kunnen leiden. De economisch optimale beschermingsniveaus van de A-keringen zijn over het algemeen geen aanleiding voor kostbare extra maatregelen aan de B-keringen, uitgezonderd de economisch optimale overstromingskans van 1/15.000 per jaar voor dijkkringdeel 20-3 (Voorne-Putten-Oost). Gegeven de huidige werkwijze (waarin de B-kering de strengste norm krijgt van de dijkkringen) zou die tot extra eisen aan drie grote B-keringen leiden. Omdat hier in de MKBA geen rekening mee gehouden is, is in dat geval de economisch optimale overstromingskans voor dijkkringdeel 20-3 te klein berekend. Bij de interpretatie van de resultaten van de MKBA dient dit aspect te worden meegenomen.

### ... compartimenterende C-keringen

Bij de bepaling van de economisch optimale beschermingsniveaus voor de A-keringen is ook geen rekening gehouden met eventuele extra maatregelen aan compartimenterende C-keringen. De economisch optimale overstromingskansen van vier dijkkringen in het rivierengebied (dijkkringen 16, 43, 35 en 36) leiden binnen de huidige werkwijze (waarin de C-kering de strengste norm krijgt van de achterliggende dijkkring) mogelijk tot extra eisen aan de twee C-keringen, te weten de Diefdijklinie en het Drongelens kanaal.

Een eventuele keuze voor een andere norm voor het zuidwestelijk deel dan voor het noordoostelijk deel van Flevoland zou kunnen betekenen dat de status van de Knardijk moet worden gewijzigd van een regionale kering in een C-kering.

Bij de interpretatie van de resultaten van de MKBA dienen deze aspecten te worden meegenomen.

### ... systeemwerking van Waal naar Maas

Door een dijkdoorbraak langs de zuidelijke oever van de Waal kan Waalwater in de Maas terecht komen en daar tot nog meer overstromingen leiden. Dit gevaar kan alleen worden afgewend door een combinatie van A- en B-keringen. De economisch optimale beschermingsniveaus voor deze keringen zouden daarom in onderlinge samenhang moeten worden bepaald. Dit betreft in ieder geval de Waaldijken van dijkkring 38 (Bommelerwaard), 40 (Heerewaarden) en 41 (Land van Maas en Waal). In de MKBA zijn voor deze dijkkringdelen echter ieder afzonderlijk economisch optimale beschermingsniveaus bepaald. Met het oog op het effectief voorkomen van systeemwerking tussen de Waal en de Maas zouden de beschermingsniveaus van deze dijkkringdelen eigenlijk onderling moeten worden afgestemd. Bij de interpretatie van de resultaten van de MKBA dienen deze aspecten te worden meegenomen.

### Overwegingen ten aanzien van ...

#### ... maatregelen die genomen worden in Duitsland

In de basisvariant is verondersteld dat de huidige relatieve verschillen tussen de beschermingsniveaus langs de Rijn in Nederland en Duitsland blijven voortbestaan. Hierdoor treden in Duitsland eerder overstromingen op en wordt de Rijnafvoer die Nederland kan bereiken 'afgetopt'. Maatregelen voor een nog verdere reductie van de overstromingskans in Nederland zijn daardoor relatief goedkoop. Deze veronderstelling heeft daardoor een grote invloed op de economisch optimale beschermingsniveaus van de dijkkringen in het bovenrivierengebied van de Rijn in Nederland. Wanneer in de toekomst in Duitsland maatregelen worden genomen om de beschermingsniveaus daar te verhogen, dan worden de kosten van maatregelen in Nederland hoger en vallen de economisch optimale overstromingskansen in Nederland groter uit.

Een tweede punt is dat voor het realiseren van een hoger beschermingsniveau van de dijkkringen 42 (Ooij en Millingen) en 48 (Rijn en IJssel) ook maatregelen in Duitsland nodig zijn. De uitkomsten van de MKBA WV21 komen echter niet overeen met die van een studie van de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater (2009abc), waarin werd geconcludeerd dat maatregelen om dit risico verder te reduceren in deze beide dijkkringen niet rendabel zijn. De Duits-Nederlandse studie kende een andere methode, andere uitgangspunten en een kortere tijdshorizon (tot 2015).

**... vitale infrastructuur**

De gevolgen van het uitvallen van vitale infrastructuur (gas en elektriciteit, ICT, drinkwater, etc.) als gevolg van een overstroming zijn moeilijk te kwantificeren en zijn daarom in de MKBA opgenomen als een procentuele opslag voor resterende schadeposten. Hierdoor zijn deze mogelijk nog onvoldoende meegenomen in de MKBA. Daar staat tegenover dat er ook andere maatregelen dan een algehele verhoging van het beschermingsniveau van de dijkkring mogelijk zijn om te helpen voorkomen dat deze diensten (langdurig) uitvallen na een overstroming.

**... rampenbeheersing**

Rampenbeheersing richt zich met name op het beperken van het aantal slachtoffers. In de MKBA is uitgegaan van evacuatiefracties van 15% voor de kust en van 75% voor het rivierengebied. Gemiddeld bedraagt de monetair gewaardeerde slachtofferschade 30% van de totale schade. Voor een aantal dijkvingen is dit percentage aanzienlijk groter. Dat zijn vooral dijkvingen in het benedenrivierengebied en kleine dijkvingen die als een 'badkuip' snel vol kunnen lopen.

Als door een betere rampenbeheersing de evacuatiemogelijkheden zouden verbeteren en de slachtofferschade met bijvoorbeeld 50% zou kunnen worden gereduceerd, dan leidt dit tot een gemiddelde verhoging van de economisch optimale overstromingskans van 15%. Voor de dijkvingen waar de slachtofferschade beduidend groter is dan 30% zou een betere rampenbeheersing een groter effect kunnen hebben op de economisch optimale overstromingskans.

**... overheidsvergoeding voor overstromingsschade (nazorg)**

De vergoeding van overstromingsschade door de overheid is op dit moment in beperkte mate wettelijk geregeld. Daardoor is onzeker hoe groot de compensatie na een overstroming zal zijn. In de MKBA is er van uitgegaan dat de overheid een groot deel van de financiële schade van huishoudens zal vergoeden. Wanneer uitgegaan wordt van lagere vergoedingspercentages dan worden, als gevolg van de risicoafkeer van huishoudens, kleinere economisch optimale overstromingskansen berekend. Wanneer aangenomen wordt dat een overheidsvergoeding helemaal uitblijft en het niet mogelijk is om overstromingsschade te verzekeren, dan worden economisch optimale overstromingskansen uitgerekend die minimaal twee keer zo klein zijn als die nu berekend zijn in de MKBA.



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Kader en aanleiding	1
1.2	Opzet van het WV21-onderzoek	1
1.3	Huidige normhoogten	2
1.4	Doel en opzet van de MKBA WV21	4
1.5	Afbakening	4
1.6	KKBA en MKBA	7
1.7	Proces	7
1.8	Leeswijzer	8
<b>2</b>	<b>Methode</b>	<b>11</b>
2.1	Basismodel	11
2.2	Mogelijke uitwerkingen van het basismodel	12
2.3	Benadering MKBA WV21	14
2.4	Norm en middenkans	15
2.5	Sprongen in de middenkans	17
2.6	Economisch model	19
2.7	Eenvoudige benadering	21
<b>3</b>	<b>Referentiesituaties</b>	<b>23</b>
3.1	Dijkringdelen als ruimtelijke eenheden	23
3.2	Twee referentiesituaties binnen het onderzoek	25
3.3	Nadere invulling van beide referentiesituaties	26
3.4	Rol van beide referentiesituaties in de MKBA	27
<b>4</b>	<b>Gegevens en uitgangspunten</b>	<b>31</b>
4.1	MKBA tegen factorkosten	31
4.2	Kansen, waterstanden en decimeringshoogtes	31
4.3	Overstromingspatroon	38
4.4	Materiële schade	41
4.5	Immateriële schade	43
4.6	Risicowaardering en de discontovoet	46
4.7	Kosten	49
<b>5</b>	<b>Economisch optimale overstromingskansen</b>	<b>55</b>
5.1	Resultaten van de MKBA	55
5.1.1	Inleiding	55
5.1.2	Noord-Nederland	56
5.1.3	Rivierengebied	58
5.1.4	Zuidwest-Nederland	61
5.1.5	Maaskades	63
5.2	Nadere duiding van de resultaten	64
5.3	Vergelijking met eerdere studies	65
5.3.1	Recente studies	65
5.3.2	Studie van de eerste Deltacommissie	67

<b>6 Gevoeligheidsanalyse en varianten</b>	<b>71</b>
6.1 Enkelvoudige gevoeligheidsanalyses	71
6.1.1 Overzicht	71
6.1.2 Nadere uitwerking	73
6.1.3 Conclusie enkelvoudige gevoeligheidsanalyse	76
6.2 Monte Carlo-analyse	80
6.3 Varianten	82
<b>7 Implicaties</b>	<b>85</b>
7.1 A-keringen	85
7.1.1 Verhogingen van maatgevende hoogwaterstanden	85
7.1.2 Benodigde extra kruinhoogten	88
7.2 B-keringen	88
7.3 Compartimenterende C-keringen	89
7.4 Investeringskosten	90

## Begrippenlijst

## Literatuurlijst

## Begrippenlijst

## Literatuur

### A Korte lijst van uitgangspunten voor de MKBA WV21

- A.1 Algemeen
- A.2 Waterstanden en overstromingskansen
- A.3 Overstromingsscenario's
- A.4 Schade
- A.5 Slachtoffers en getroffen
- A.6 Kosten
- A.7 Overig

### B Raming van de investeringskosten tot 2050

# 1 Inleiding

*Dit hoofdstuk schetst de aanleiding voor deze studie, de opzet van het WV21 onderzoek en het doel van de uitgevoerde maatschappelijke kosten-batenanalyse. Ook is het proces samengevat en wordt de opbouw van het rapport in een leeswijzer beschreven.*

## 1.1 Kader en aanleiding

### **Deltaprogramma en Nationaal Waterplan**

De huidige wettelijke normen voor bescherming tegen (grootschalige) overstromingen vanuit zee, rivieren en meren vinden hun basis grotendeels in de jaren zestig van de vorige eeuw. Sinds die tijd is zowel het aantal mensen, als de economische waarde in de overstroombare gebieden sterk gestegen. De potentiële gevolgen van een overstroming zijn daardoor ook toegenomen. Voorts is de kennis om overstromingsrisico's (kansen en gevolgen) te berekenen verbeterd en zijn (economische) methoden voor het onderbouwen van het maatschappelijk gewenste beschermingsniveau ontwikkeld.

Voor de actualisering van de waterveiligheidsnormen is een aantal jaren terug het beleidstraject 'Waterveiligheid 21<sup>e</sup> eeuw' (WV21) in gang gezet. Inmiddels maakt de actualisering deel uit van het generieke deelprogramma Veiligheid van het Deltaprogramma.

Binnen het deelprogramma Veiligheid staat de vraag centraal hoe Nederland in de toekomst beschermd kan worden tegen overstromingen op een maatschappelijk aanvaardbaar risiconiveau.

Het deelprogramma Veiligheid onderzoekt onder meer in hoeverre het huidige beschermingsniveau tegen overstromingen nog voldoende aansluit bij de economische waarden en mogelijke slachtoffers achter de waterkeringen. Het deelprogramma bekijkt verder deltadijken, beleid voor buitendijks gebied en – met behulp van regionale gebiedspilots – het concept van de zogenaamde meerlaagsveiligheid (preventie, duurzame ruimtelijke inrichting en rampenbeheersing).

Het Nationaal Waterplan (NWP, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009) schetst het kader voor de beleidsontwikkeling rond waterveiligheid. In het NWP is aangegeven dat een maatschappelijke kosten-batenanalyse en analyses van slachtofferrisico's worden uitgevoerd ten behoeve van de onderbouwing van waterveiligheidsnormen.

## 1.2 Opzet van het WV21-onderzoek

De maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) en de analyse van slachtofferrisico's zijn uitgevoerd door Deltares in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M). De MKBA richt zich op de kosten en baten van bescherming tegen overstroming. Voor de harde primaire keringen van de categorie A uit de Waterwet worden economisch optimale beschermingsniveaus berekend. De economische doelmatigheid van investeringen in waterkeringen staat daarbij centraal. In de MKBA worden de investeringen (kosten) ter versterking van de waterkeringen afgezet tegen de baten (voorkomen van schade als gevolg van overstromingen). De analyse van slachtofferrisico's geeft inzicht in de overlijdenskansen voor individuen en groepen als gevolg van overstromingen.

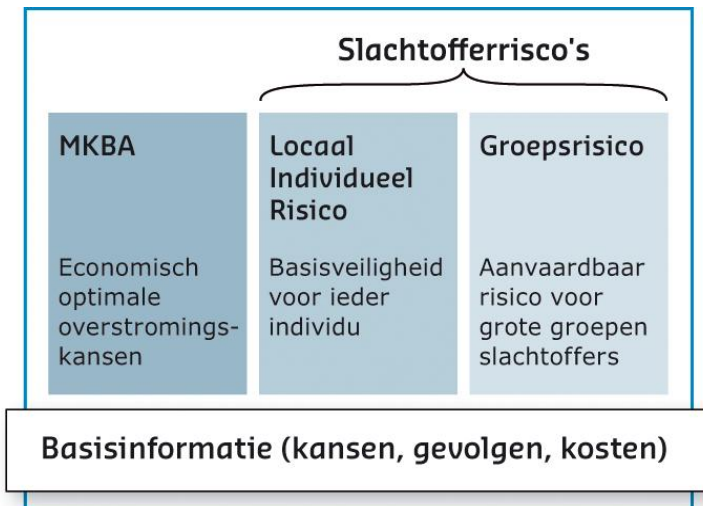


De MKBA en slachtofferanalyses leveren informatie en inzichten op die ondersteunend zijn bij de maatschappelijke afwegingen over actualisering van de waterveiligheidsnormen.

Aan de basis van beide analyses staan studies naar de kansen op en gevolgen van overstromingen en naar de kosten van waterkeringen (de zogenaamde basisinformatie):

- In het 'Kansenspoor' zijn de overstromingskansen van de dijkringdelen bepaald alsook een aantal hydraulische kenmerken zoals de decimeringshoogtes van waterstanden en kruinhoogten.
- In het 'Gevolgenspoor' zijn de gevolgen van overstromingen bepaald. Het gaat om slachtoffers en schade als functie van de omvang van overstromingen.
- Het 'Kostenspoor' was gericht op het vaststellen van de kosten die zijn gemoeid met het aanpassen (versterken) van waterkeringen. Deze kosten zijn in de vorm van kostenfuncties voor dijkringtrajecten benut in de MKBA.

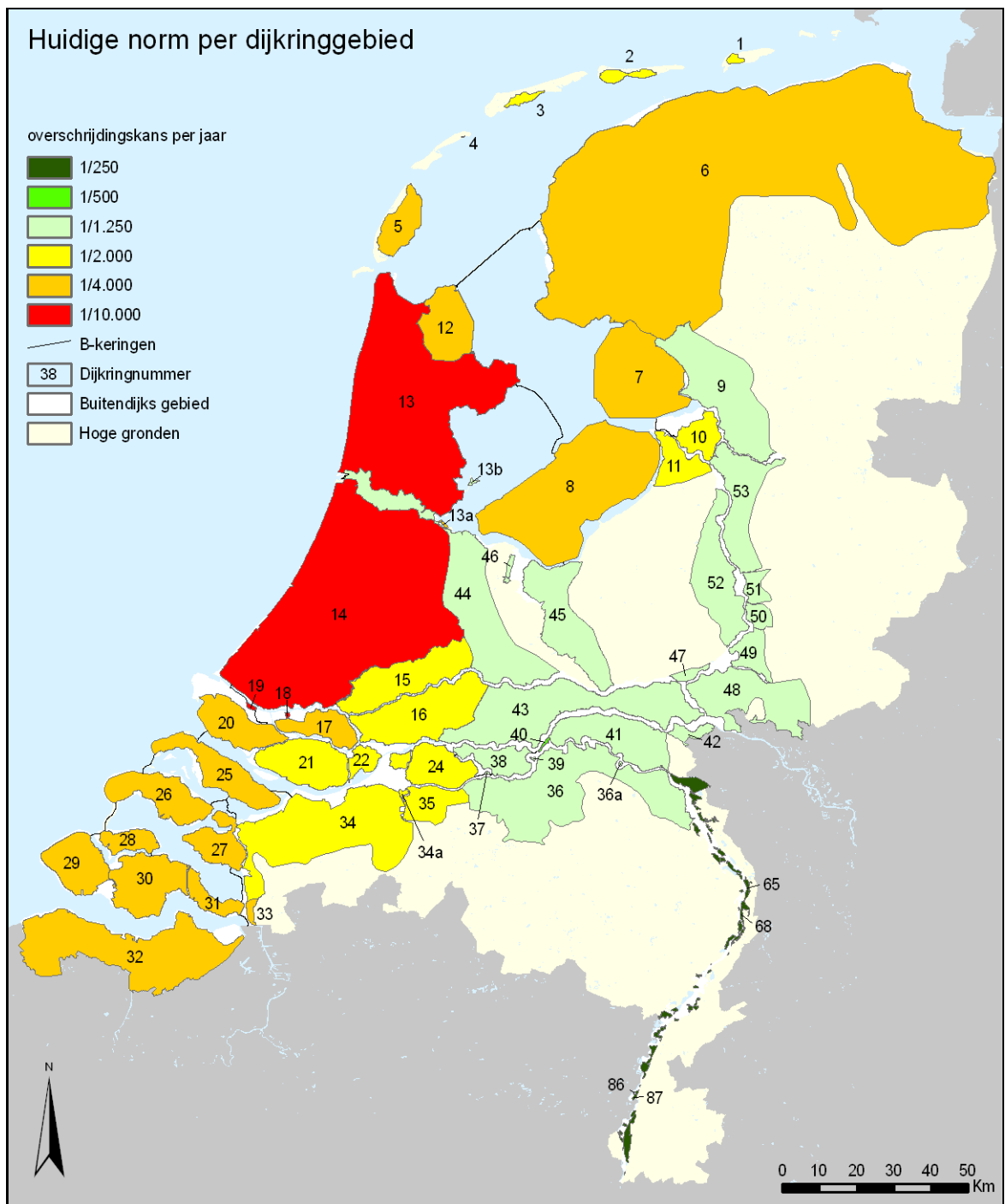
De verschillende onderdelen van het onderzoek zijn getoond in Figuur 1.1



Figuur 1.1 Overzicht van onderdelen van het WV21-onderzoek

### 1.3 Huidige normhoogten

De huidige normhoogten (zie Figuur 1.2) zijn ten dele gebaseerd op een afweging van kosten en baten. De normen zijn op verschillende momenten onderbouwd. Voor dijkkring 14 (Centaal Holland) en de overige dijkringen langs de kust gaat de onderbouwing terug naar het werk van de eerste Deltacommissie in de jaren zestig van de vorige eeuw. De normen voor de dijkringen in het rivierengebied zijn onder andere gebaseerd op adviezen van de Commissies Becht (1977) en Boertien (1993, 1995). De normen zijn in 1996 vastgesteld in de vorm van overschrijdingskansen van maatgevende waterstanden, eerst in de Wet op de Waterkering en later in de Waterwet.



Figuur 1.2

Dijkringen in Nederland en de huidige beschermingsnormen. In deze figuur zijn enkel een viertal dijkringen langs de Limburgse Maas van een nummer voorzien. Dit zijn de dijkringen in Limburg die ook zijn meegenomen in de MKBA.

## 1.4 Doel en opzet van de MKBA WV21

De MKBA WV21 geeft antwoord op twee vragen:

- 1 Hoe groot zijn de economisch optimale overstromingskansen per dijkkring of dijkkringdeel?
- 2 Welke (investerings-) kosten zijn verbonden aan het behalen van deze economisch optimale overstromingskansen?

De focus ligt op de eerste vraag. Om deze te beantwoorden, wordt uitgegaan van een economisch model dat een economisch optimale, langetermijninvesteringsstrategie in dijkverhogingen beschrijft. Met 'optimaal' wordt bedoeld dat het model de totale (contante waarde van) kosten van investeringen in dijkverhoging en verwachte schade (kans maal schade) minimaliseert. Daarbij wordt rekening gehouden met economische groei (waardoor de schade bij overstromen in de tijd stijgt) en met klimaatverandering en bodemdaling (waardoor de overstromingskansen in de tijd toenemen). Het model rekent een optimale investeringsstrategie uit met optimale tijdstippen en optimale omvang van dijkverhogingen. Vervolgens worden uit deze strategie economisch optimale overstromingskansen afgeleid.

In de MKBA WV21 wordt toegewerkt naar één getal: een economisch optimale overstromingskans per dijkkringdeel die de uitkomst is van een analyse van kosten en schade. Daarom wordt, ook al zitten hier lastige kanten aan, in deze MKBA gestreefd naar het monetair waarderen van zo veel mogelijk aspecten van veiligheid, inclusief slachtoffergelateerde schade en schade aan landschap, cultuur en natuur, etc.

De MKBA gaat uit van dijkverhoging. Dijkverhoging is over het algemeen financieel gezien de goedkoopste maatregel om een hoger beschermingsniveau te bereiken. Aangenomen wordt dat de economisch optimale overstromingskansen die gebaseerd zijn op dijkverhoging, ook economisch optimaal zijn als uiteindelijk gekozen wordt voor andere (rivierverruimende) maatregelen. De kosten van rivierverruimende maatregelen zijn vaak hoger. Tegenover deze hogere kosten staan aanvullende baten, zoals natuur of ruimtelijke kwaliteit. Door in de MKBA uit te gaan van dijkverhoging is het niet nodig deze aanvullende baten te beschouwen.

## 1.5 Afbakening

### **Geen B- en C-keringen, geen duinen**

In de MKBA zijn de B- en C-keringen (keringen die indirect tegen overstromingsgevaar beschermen) niet meegenomen. Ook de duinen zijn in de MKBA niet meegenomen. Bijlage F gaat in op de overwegingen om B-keringen niet mee te nemen en Bijlage B van het rapport van De Bruijn en Van der Doef (2011) op de overwegingen om de duinen buiten beschouwing te laten. De volgende tekstbox geeft een korte samenvatting.

**Box 1.1 Overwegingen voor het buiten beschouwing laten van de duinen en de B- en C-keringen in de MKBA WV21**

**Duinen.** De kust wordt onderhouden via het programma Kustlijn­zorg. Met dit programma worden meerdere doelen gelijktijdig gediend. Zandsuppleties leiden niet alleen tot (binnendijkse) veiligheid, maar dienen ook andere belangen die samen hangen met het in stand houden van het strand. De kosten van kustlijn­zorg hebben daardoor niet een één op één relatie met (de baten van) hoogwaterbescherming. Daardoor is het niet goed mogelijk om voor de duinen een economisch optimale overstromingskans af te leiden.

Een groot deel van de duinen is evenwel zo breed dat een doorbraak vrijwel valt uit te sluiten. Door Stronkhorst et. al. (zie Bijlage B bij het rapport van De Bruijn en Van der Doef, 2011) is in een verkenning voor de dijkringen Noord-Holland en Zuid-Holland aangetoond dat de bijdrage van een doorbraak van de smalle duinen aan het totale overstromingsrisico van deze twee dijkringen beperkt is. Ook de kosten voor het gericht versterken van de smalle duinen zijn beperkt in verhouding tot de kosten voor het versterken van de overige (harde) kustwaterkeringen. Het buiten beschouwing laten van de smalle duinen zal daardoor slechts een gering effect kunnen hebben op de economisch optimale overstromingskansen van deze twee dijkringen en is daarmee voor de MKBA aanvaardbaar.

**B-keringen** zijn verbindende waterkeringen die tussen dijkringen in liggen. Er zijn een drietal typen B-keringen waar in de MKBA verschillend mee is omgegaan. De zgn. **open B-keringen** zijn via de hydraulische randvoorwaarden in de MKBA meegenomen. Gesloten B-keringen konden om verschillende redenen niet goed in de MKBA worden meegenomen. De **gesloten B-kering voor een A-kering** (bijv. de Afsluitdijk) vraagt om een gelijktijdige optimalisatie van de economisch optimale overstromingskans voor de B- en A-keringen. Dat was binnen de MKBA WV21 niet haalbaar. Het effect van de overstromingskans van de B-kering op de economisch optimale overstromingskans van de A-kering is waarschijnlijk echter gering.

Voor doorbraken van **gesloten B-keringen die voor C-keringen** liggen, zijn in het kader van WV21 geen overstromings­scenario's beschikbaar. Dat betekent dat ook de baten van een versterking van deze B-keringen niet konden worden geraamd. Dit is de reden waarom ook de kosten voor het versterken van deze B-keringen als onderdeel van een dijkkring dan beter buiten beschouwing gelaten kunnen worden. De kosten voor een reductie van de overstromingskans van de B-kering zijn overigens vaak gering in verhouding tot de kosten van de overige keringen die de dijkkring beschermen, met als uitzondering een aantal dijkringen in Zeeland. De mogelijke invloed op de economisch optimale overstromingskans van het niet in de berekening meenemen van de kosten en baten van de B-kering zal voor de meeste dijkringen waarschijnlijk beperkt zijn.

In de MKBA is voor alle B-keringen nagegaan of een keuze voor de berekende economisch optimale overstromingskansen van de A-keringen ook aanleiding zou kunnen geven tot een aanpassing van de norm voor de B-keringen. Dat is nodig om aan te geven dat in die gevallen de economisch optimale overstromingskans van de A-kering mogelijk te klein is berekend.

**C-keringen.** C-keringen zorgen ofwel voor een compartimentering tussen dijkringen of keren alleen binnenwater. In beide gevallen kunnen apart economisch optimale overstromingskansen worden bepaald, iets dat buiten de scope van de MKBA WV21 valt.

In de MKBA is nagegaan in welke gevallen de keuze voor de berekende economisch optimale overstromingskansen van de A-keringen ook aanleiding zouden kunnen geven tot een aanpassing van de norm van de **compartimenterende C-keringen**.

## **Relatie met maatregelen die de gevolgen beperken**

De MKBA WV21 beperkt zich tot dijkverhoging: een maatregel die moet voorkomen dat een overstroming optreedt. De wisselwerking met maatregelen die gericht zijn op het beperken van de gevolgen van overstromingen (ruimtelijke inrichting en rampenbeheersing) komt hierdoor niet in beeld. Dat is met name een tekortkoming in de MKBA als de economisch optimale overstromingskansen erg gevoelig zouden blijken te zijn voor het uitvoeren van gevolgbeperkende maatregelen.

De uitwisselbaarheid tussen hoogwaterbescherming en maatregelen als watervrij of watervast bouwen zal over het algemeen beperkt zijn. In de MKBA WV21 gaat het immers om de bescherming van grote gebieden (hele dijkkringen of delen daarvan) tegen overstromen. De meeste schade treedt op in gebieden die al bebouwd zijn; de bijdrage van nieuwbouw aan de groei van de totale schade is voor grote gebieden beperkt (zie ook Milieu- en Natuurplanbureau, 2007). Het zal dan lang duren voordat met ruimtelijke inrichtingsmaatregelen een aanzienlijke reductie van de (groei van de) schade kan wordt bereikt. De snel groeiende regio Almere is hierop mogelijk een uitzondering: die zal als gevolg van de 'schaalsprong' in de komende decennia bijna verdubbelen in bevolkingsomvang. Hier zou met ruimtelijke inrichtingsmaatregelen een sneller resultaat bereikt kunnen worden.

Een andere mogelijkheid om de gevolgen te beperken, is door de aanleg van een compartimenteringsdijk. Door de aanleg van een compartimenteringsdijk kunnen zowel de schade bij een overstroming als de kosten voor het verhogen van het beschermingsniveau veranderen waardoor ook de economisch optimale beschermingsniveaus veranderen. Een discussie hierover speelt op dit moment in dijkkring 43, Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden. In de MKBA is als variant een analyse gemaakt van de economisch optimale overstromingskansen in de veronderstelling dat de compartimenteringsdijk al is aangelegd. De afweging tussen de aanleg van de compartimenteringsdijk en het versterken van de waterkeringen is in de MKBA WV21 echter niet aan de orde.

Parallel aan de MKBA WV21 loopt een nadere verkenning van de toepasbaarheid van Deltadijken. Door de aanleg van Deltadijken kunnen de gevolgen van een overstroming worden beperkt, hetgeen tot andere economisch optimale overstromingskansen kan leiden. Ook de Deltadijken vallen buiten de scope van de MKBA WV21.

Tenslotte is er nog een wisselwerking denkbaar tussen hoogwaterbescherming en maatregelen gericht op het beheersen van rampen. Rampenbeheersing is vooral gericht op het beperken van het aantal slachtoffers van een overstroming, niet zozeer op het beperken van de materiële schade. Zoals later in dit rapport zal blijken, is gemiddeld genomen de slachtoffergelateerde schade 30% van de totale schade bij een overstroming. De wisselwerking tussen hoogwaterbescherming en rampenbeheersing is dan ook over het algemeen vrij beperkt. In een aantal dijkkringen is evenwel de in geld gewaardeerde slachtofferschade een groter deel van de totale schade. Een verbeterde rampenbeheersing heeft daar een mogelijk belangrijk effect op de economisch optimale overstromingskans. Dit aspect zien we voor een aantal dijkkringen dan ook duidelijk terug in een relatief grote bandbreedte rondom de economisch optimale overstromingskansen die is verkregen door middel van gevoeligheidsonderzoek. Hier ligt een relatie met de gebiedspilots van het deelprogramma Veiligheid waar ook de mogelijkheden van een verbeterde rampenbeheersing worden onderzocht.

## 1.6 KKBA en MKBA

De MKBA WV21 is in twee fasen tot stand gekomen.

### De KKBA (2008)

Voorafgaand aan deze MKBA is een *kengetallen* maatschappelijke kosten-batenanalyse WV21 opgesteld (KKBA WV21, zie Kind, 2008). Deze KKBA was vooral bedoeld om inzicht in de methode en aannames en om kennisleemtes te identificeren. De KKBA was een globale analyse, gebaseerd op informatie die in 2008 voorhanden was. De KKBA had niet het doel om de politieke besluitvorming over de actualisering van de beschermingsnormen direct te ondersteunen.

Op basis van de resultaten van de KKBA is een eerste indicatie gegeven van de hoogte van economisch optimale overstromingskansen en is een eerste schatting gegeven van de financiële consequenties daarvan. De resultaten van de KKBA zijn gebruikt bij het opstellen van het advies van de tweede Deltacommissie (Deltacommissie, 2008) en bij het opstellen van het Nationaal Waterplan (ministeries van V&W, VROM en BZK, 2009).

### De MKBA (dit rapport)

Het KKBA rapport uit 2008 is voorgelegd aan het Centraal Planbureau voor een *second opinion* (CPB, 2008). De belangrijkste voorgestelde verbeterpunten hieruit zijn meegenomen in deze MKBA. Daarnaast is in de MKBA gebruik gemaakt van nieuwe en nauwkeuriger gegevens over de kosten van hoogwaterbescherming, en kansen op en gevolgen van overstromingen (zie Kuijper et al., 2011; De Bruijn en Van der Doef, 2011; De Grave en Baarse, 2011). Daarnaast is een verbeterde, internationaal gereviewde versie van het rekenmodel *OptimaliseRing* gebruikt (Duits, 2011ab; Hartl, 2008; Terlaky, 2008). Ook zijn nieuwe studies verricht naar de indirecte effecten van een overstroming (Gauderis, 2009), de waardering van immateriële schade (Bočkarjova, 2009abc) en de hoogte van de te gebruiken discontovoet in de context van hoogwaterbescherming (Aalbers en Broer, in voorbereiding).

## 1.7 Proces

De MKBA is begeleid door een ambtelijke begeleidingscommissie, voorgezeten door V&W/DGW met vertegenwoordigers van de meest betrokken departementen (Financiën, VROM, BZK, EZ) alsmede de Unie van Waterschappen en het Interprovinciaal Overleg.<sup>1</sup> Hier zijn met name de methode, de uitgangspunten voor de 'basisvariant' en de te verrichten gevoeligheidsanalyses aan de orde geweest.

Daarnaast heeft de Klankbordgroep MKBA WV21, bestaande uit hoogleraren economie en MKBA deskundigen, een belangrijke rol gespeeld bij een aantal specifieke thema's, met name: indirecte effecten, slachtofferwaardering en discontovoet.<sup>2</sup>

Ook is de MKBA aan de orde gekomen in de in 2010 door DGW georganiseerde acht regioconsultaties. In deze regioconsultaties is een toelichting gegeven op de methode,

- 
1. Sinds 2011 zijn V&W en VROM opgegaan in het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) en het ministerie van EZ in het ministerie van Economisch Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I).
  2. Met als leden drs. H. Dijkman (ministerie van Financiën), drs. C.J.J. Eijgenraam (CPB), prof.dr. M.W. Hofkes (VU), prof.dr. E.C. van Ierland (WUR), prof.dr. C. Koopmans (UVA), prof.dr. P. Rietveld (VU), prof.dr. A. van der Veen (ITC) en prof. drs. ir. J.K. Vrijling (TUD).

uitgangspunten en de basisgegevens van de MKBA. Deze regioconsultaties hebben een aantal aandachtspunten opgeleverd die bij de uitvoering van de MKBA zijn meegenomen.

De definitieve versie van de MKBA zal door het ministerie van I&M/DGW worden voorgelegd aan het Centraal Planbureau voor een *second opinion*, net als destijds met de KKBA WV21 is gedaan.

## 1.8 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 2 wordt de in de MKBA gebruikte optimalisatiemethode beschreven. In deze methode worden de kosten en baten van het verhogen van het beschermingsniveau tegen elkaar afgezet, waarbij rekening wordt gehouden met zowel klimaatverandering als economische groei. Hierdoor zijn periodieke investeringen in hoogwaterbescherming nodig. Ingegaan wordt op het 'zaagtandpatroon' dat als gevolg van de periodieke investeringen ontstaat, met een relatief hoog beschermingsniveau net na investeren en een relatief laag beschermingsniveau net voor de volgende investering. In dit hoofdstuk wordt ook uitgelegd hoe op basis van dit zaagtandpatroon een economisch optimale overstromingskans als mogelijke indicator voor een nieuwe toetsnorm wordt afgeleid.

Hoofdstuk 3 gaat in op de referentiesituaties voor de MKBA. In deze studie zijn er twee gebruikt. De eerste referentie (of basisvariant) is gebaseerd op de huidige voorschriften en leidraden voor het ontwerpen en toetsen van de waterkeringen en de tweede referentie op nieuwe inzichten uit o.a. het project Veiligheid Nederland in Kaart.

Hoofdstuk 4 gaat vervolgens in op de belangrijkste uitgangspunten en gegevens die in de MKBA zijn gebruikt. In dit hoofdstuk komen aan bod de overstromingskansen, het overstromingsverloop, de gevolgen van een overstroming in termen van schade en slachtoffers, en de kosten van maatregelen. Ook wordt in dit hoofdstuk ingegaan op risicooversie en de disconteringsvoet.

Hoofdstuk 5 vormt de echte kern van dit rapport. In dit hoofdstuk worden de berekende economisch optimale overstromingskansen besproken. Ook zet het de berekende economisch optimale overstromingskansen in het perspectief van andere studies en vindt een vergelijking van de resultaten met een meer 'directe' methode voor het berekenen van economisch optimale overstromingskansen plaats.

In hoofdstuk 6 worden een aantal gevoeligheidsanalyses besproken en worden er bandbreedtes rondom de economisch optimale overstromingskansen gegeven die door middel van een Monte Carlo-analyse zijn afgeleid. Daarnaast wordt in dit hoofdstuk ingegaan op het effect van een aantal alternatieve varianten voor de inrichting van het watersysteem op de economisch optimale overstromingskansen.

Hoofdstuk 7 is het afsluitende hoofdstuk. Hierin wordt aangegeven wat een keuze voor de berekende economisch optimale overstromingskansen betekent in termen van maatgevende hoogwaterstanden, kruinhoogten en investeringskosten. Ook wordt nagegaan of en voor welke B- en C-keringen er aanpassingen nodig zouden zijn als gekozen zou worden voor de economisch optimale beschermingsniveaus.



Bij dit rapport horen zeven bijlagen:

- **Bijlage A: Korte lijst van uitgangspunten voor de MKBA WV21.** In deze bijlage worden de belangrijkste uitgangspunten van de (basisvariant) van de MKBA WV21 kort samengevat.
- **Bijlage B: Raming van de investeringskosten tot 2050.** Deze bijlage betreft een aanvulling van de in hoofdstuk 7 gepresenteerde overzicht van kosten tot 2070.
- **Bijlage C: Wiskundige achtergrond MKBA model.** Hierin wordt kort de achtergrond van het besliskundige model *OptimaliseRing* geschetst en de wiskundige formules beschreven.
- **Bijlage D: Bewerking van schadegegevens.** Deze bijlage geeft een uitgebreide uiteenzetting over de aanvullingen en bewerkingen op de schade voordat deze in de MKBA is gebruikt. De bijlage gaat ook in op de gebruikte kengetallen voor de waardering van slachtoffergerelateerde schade.
- **Bijlage E: Methode kostentoedeling.** Hierin wordt uitgelegd hoe aan de hand van de uitkomsten van *OptimaliseRing* de kosten uit de economisch optimale investeringsstrategie worden toegedeeld naar kosten die nodig zijn voor het aanpassen van het beschermingsniveau aan het economisch optimale beschermingsniveau en kosten voor het compenseren van klimaatveranderingen.
- **Bijlage F: Overwegingen B-keringen.** Hier wordt nader ingegaan op de overwegingen om de B-keringen niet mee te nemen in de MKBA en wordt een inschatting gegeven van de mogelijke fout die daardoor wordt gemaakt.
- **Bijlage G: Monte Carlo-analyse.** Dit betreft een uitgebreide verhandeling over de wijze waarop een onzekerheidsband rondom de economisch optimale overstromingskansen is bepaald.

Bijlage A en B zijn in dit rapport opgenomen. De overige bijlagen zijn alleen als digitale bestanden beschikbaar.

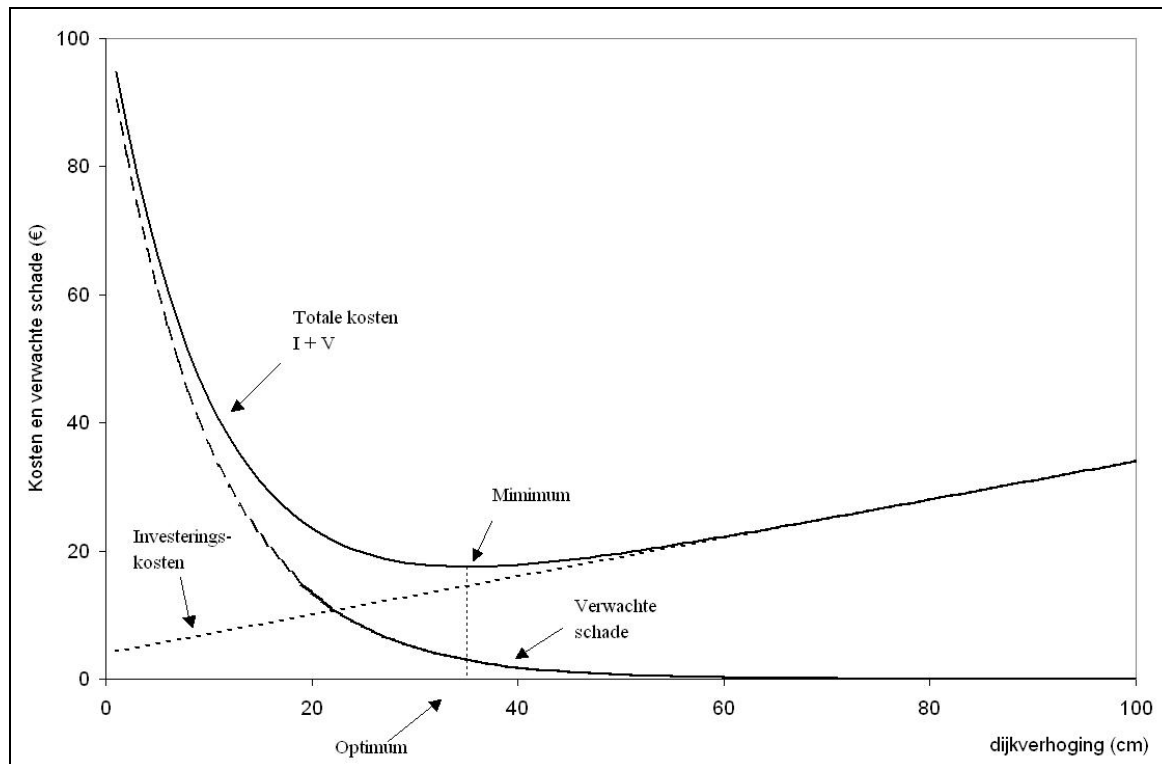


## 2 Methode

Dit hoofdstuk gaat in op de methode van de MKBA WV21 en op de definitie van het in de MKBA gehanteerde begrip 'economisch optimale overstromingskans'. Uitgebreide informatie over de methode is terug te vinden in Bijlage C en in de rapporten over de methode en het model OptimaliseRing (Duits, 2011ab; Hertog en Roos, 2009; Brekelmans et al., 2009).

### 2.1 Basismodel

Aan de basis van de MKBA staat de methode van de economische analyse die de eerste Deltacommissie liet uitvoeren om een economisch optimaal beschermingsniveau voor dijkkring 14, Centraal Holland, te bepalen (zie Van Dantzig, 1956, Van Dantzig en Kriens, 1960). Die methode komt er op neer dat de totale kosten van investeren in de waterkering en de verwachte schade<sup>3</sup> worden geminimaliseerd. Figuur 2.1 schetst dit principe. Er wordt geïnvesteerd in de waterkering net zo lang totdat de kosten van de laatste investering net niet meer opwegen tegen de verdere afname van de verwachte schade. In dat punt zijn de totale kosten minimaal en is de hoogte<sup>4</sup> van de waterkering (en daarmee het beschermingsniveau) optimaal.



Figuur 2.1 Algemeen principe van de MKBA

3. Verwachte schade = kans maal schade = risico. Ook wordt in dit rapport gebruik gemaakt van het begrip 'verwachtingswaarde voor schade'; dat is de verwachte schade gegeven het feit dat een overstroming optreedt. Deze laatste wordt verkort aangeduid als 'schade'.
4. In dit rapport wordt vaak over dijkhoogte gesproken, waar het in werkelijkheid gaat om dijkhoogte en –sterkte.

De figuur laat investeringskosten (gestippelde lijn) zien die bestaan uit een vast deel (het punt op de y-as waar de gestippelde lijn deze as kruist) en een deel dat toeneemt met de omvang van de dijkverhoging. Bij dijkverhoging nemen de investeringskosten toe en daalt de verwachte schade. In dit voorbeeld nemen de totale kosten (investering + verwachte schade) eerst af. De kosten zijn minimaal (ongeveer 20 euro) bij een dijkverhoging van 35 cm. Bij verdere dijkverhoging stijgen de totale kosten weer.

Dit basismodel geeft een eenvoudige situatie weer, zonder de effecten van economische groei en klimaatverandering. Investeren in de waterkering kan in deze situatie gezien worden als een eenmalige beslissing. Er hoeft dan ook maar één vraag beantwoord te worden: hoe hoog (sterk) moet de waterkering zijn?

## 2.2 Mogelijke uitwerkingen van het basismodel

Het basismodel kan op twee principiële verschillende manieren verder worden uitgewerkt.

### Benadering 1: marginale verbeteringen

Een eerste – en economisch gezien ook meest zuivere – benadering gaat uit van de laatste (marginale) maatregel die maatschappelijk gezien nog net rendabel is om de overstromingskans nog net iets verder te reduceren. Deze afweging zou regelmatig (bijvoorbeeld iedere 5 jaar) gemaakt moeten worden. Na het nemen van deze laatste maatregel wordt gestopt met investeren omdat voor volgende maatregelen geldt dat de kosten hoger zijn dan de afname van de verwachte overstromingsschade. De laatst genomen maatregel bepaalt daarmee de economisch optimale overstromingskans. Na een aantal jaren zullen alsnog ook volgende maatregelen rendabel worden, bijvoorbeeld doordat de schade in het te beschermen gebied is toegenomen, doordat de waterstanden zijn gestegen of doordat de bodem is gedaald. Wanneer dan opnieuw bekeken wordt welke maatregelen nog net rendabel zijn, dan wordt opnieuw een economisch optimale overstromingskans gevonden.

Het is niet nodig om de op deze wijze bepaalde economisch optimale overstromingskansen ook in de wet vast te leggen. Dat is waarschijnlijk zelfs ongewenst omdat deze economisch optimale overstromingskansen van tijd tot tijd sterk kunnen fluctueren en daardoor niet 'robuust' zijn (zie ook Eijgenraam, 2008; Kind, 2008). Dat zal zeker het geval zijn in die situaties waarin in eerste instantie een grote reductie van de overstromingskans te behalen is tegen relatief lage kosten. Bijvoorbeeld doordat er maar een paar zwakke plekken in de dijkkring zijn waar de overstromingskans veel groter is dan in de rest van de dijkkring.

De (maatschappelijke) *discontovoet*<sup>5</sup> die het kabinet vaststelt, volstaat in deze benadering als norm om te bepalen of een maatregel maatschappelijk wel of niet rendabel is. De benadering van marginale verbeteringen leidt niet tot de onderbouwing van een robuuste economisch optimale overstromingskans die ook geschikt is om voor een langere periode vast te leggen als wettelijke beschermingsnorm.

---

5. Dit is de *discontovoet* die bij een MKBA gebruikt wordt om de contante waarde te berekenen van de maatschappelijke kosten en opbrengsten van een project. De maatschappelijke *discontovoet* wijkt af van de *rentevoet* die wordt gebruikt bij het disconteren van particuliere investeringen. Zie ook paragraaf 4.6.

**Box 2.1**                    **Voorbeeld marginale verbeteringen**

Stel dat aanvankelijk een sluis de zwakste plek is in een dijkkring. De bestaande norm voor de dijkkring is 1/1000 per jaar. De sluis heeft een overstromingskans van 1/2000 per jaar. Veronderstel verder dat de dijken een overstromingskans hebben van 1/10.000 per jaar. Om de overstromingskans te reduceren van 1/2000 naar 1/10.000 per jaar hoeft alleen in de sluis te worden geïnvesteerd. Stel dat een bedrag van 5 miljoen euro hiervoor volstaat. Dit zal economisch gezien een zeer rendabele investering kunnen zijn. De kans na investeren is 1/10.000 per jaar.

Is de overstromingskans die bereikt wordt na de investering in de sluis, een kans van 1/10.000 per jaar, ook een geschikte norm?

Stel dat na verloop van tijd de maatgevende waterstanden zijn gestegen en dat de bodem is gedaald waardoor de overstromingskans van deze dijkkring is teruggelopen naar 1/8000 per jaar terwijl de norm is vastgesteld op 1/10.000 per jaar. Hierdoor zijn maatregelen nodig. Dit keer moeten echter langs de hele dijkkring de dijken worden verhoogd om de kans terug te brengen op 1/10.000 per jaar, wat veel kostbaarder zal zijn dan enkel het verbeteren van de sluis. Het is dan niet gezegd dat dit ook een rendabele investering is. Economisch gezien kan het efficiënter zijn om in dit geval de norm weer te versoepelen. De norm van 1/10.000 per jaar blijkt dan bij nader inzien vanuit economisch perspectief een te scherpe norm te zijn.

**Benadering 2: langetermijninvesteringsstrategie**

Een tweede benadering is om het economisch optimale beschermingsniveau af te leiden uit een langetermijninvesteringsstrategie waarbij de som van de contante waarde van kosten van investeren in de waterkeringen en de verwachte overstromingsschade het laagst is. In deze benadering worden de kosten en baten over een langere periode beschouwd. Het resulterende beschermingsniveau is daardoor minder afhankelijk van kleine maatregelen en vertoont daardoor in de tijd een gelijkmatiger verloop. De hieruit afgeleide economisch optimale overstromingskans is daardoor beter geschikt als indicator voor de mogelijke hoogte van een wettelijke norm. De methode wordt verder in paragraaf 2.3 toegelicht.

**Vergelijking**

Er bestaat een spanning tussen deze twee benaderingen. Het belangrijkste nadeel van de tweede benadering is dat kleine, maar soms zeer rendabele investeringen om het beschermingsniveau te verbeteren niet altijd gedaan hoeven te worden als dit op grond van in de wet vastgelegde normen niet wordt verlangd. In het voorbeeld zou dit het geval kunnen zijn voor het verbeteren van de sluis als de norm 1/1000 per jaar blijft. In de tweede benadering wordt dus enige mate van economische inefficiëntie geaccepteerd. Het voordeel van de tweede benadering dat hier tegenover staat, is dat op basis hiervan normen kunnen worden afgeleid die ook voor langere tijd wettelijk vastgelegd kunnen worden. Dat leidt tot een duidelijk hoogwaterbeschermingsbeleid.

De tweede benadering sluit aan bij de beleidsvoornemens rondom de nieuwe normen die staan in het Nationaal Waterplan en in de Beleidsnota Waterveiligheid om de nieuwe normen voor langere tijd wettelijk vast te leggen. De MKBA WV21 gaat daarom uit van de tweede benadering.

## 2.3 Benadering MKBA WV21

In de gevolgde benadering wordt er van uitgegaan dat in de tijd als gevolg van klimaatveranderingen en bodemdaling de overstromingskansen toenemen. Tevens zal de schade toenemen door economische groei en demografische ontwikkelingen. Daarom kan het investeren in waterkeringen niet gezien worden als een eenmalige beslissing, maar moet deze gezien worden als een terugkerende of periodieke beslissing.

Een belangrijk deel van de kosten van investeringen in de waterkering (in het bijzonder bij dijken en kunstwerken) bestaat uit vaste kosten. Dat zijn kosten die altijd gemaakt moeten worden ongeacht de mate waarin een dijk wordt verhoogd. Als voorbeeld kan gedacht worden aan een weg die over de dijk loopt. De kosten voor het opnieuw aanleggen van de weg zullen hoe dan ook gemaakt moeten worden, onafhankelijk van de vraag of de dijk met tien centimeter of een meter wordt verhoogd.

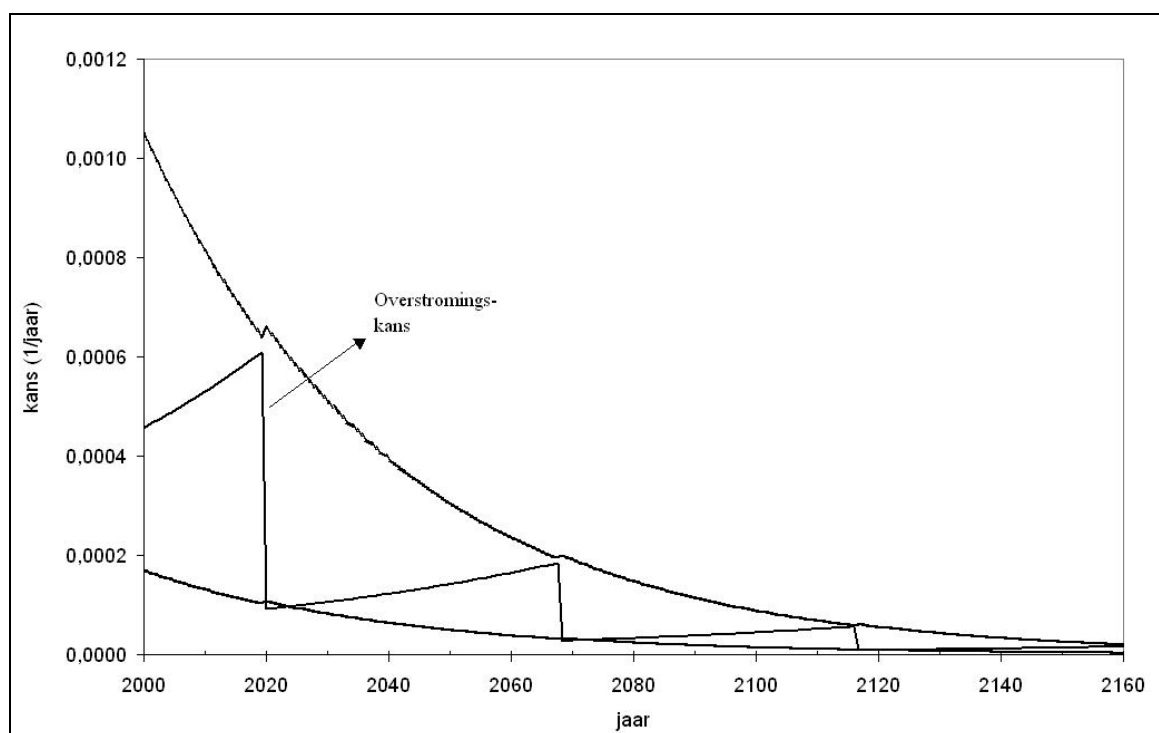
Door deze vaste kosten is het economisch efficiënt om de dijk steeds flink te verhogen. Dan zullen deze vaste kosten immers niet vaak gemaakt hoeven te worden. Na een investering zullen vervolgens gedurende een langere periode geen verhogingen meer nodig zijn. Het is duidelijk dat in dit geval niet meer kan worden volstaan met alleen de vraag te stellen hoeveel de dijk moet worden verhoogd, maar dat ook de vraag gesteld moet worden wanneer de dijk moet worden verhoogd.<sup>6</sup>

In het dynamische model dat hieruit volgt, leidt dit tot opeenvolgende rondes van investeringen in de waterkering. Daardoor is het beschermingsniveau in de tijd ook niet langer constant: net na een investering is de overstromingskans het kleinst en net voor een investering het grootst. Het verloop van de overstromingskans in de tijd vertoont een zaagtandpatroon met sprongen op de momenten van investeren. In Figuur 2.2 is dit zaagtandpatroon weergegeven voor het meest eenvoudige geval waarin een dijkkring geschematiseerd wordt alsof deze bestaat uit één uniform dijktraject.<sup>7</sup>

In deze figuur neemt de overstromingskans (doorgetrokken lijn) toe als gevolg van klimaatverandering en bodemdaling, totdat een bepaalde maximaal toelaatbare overstromingskans is bereikt (bovenste lijn). Op dat moment wordt geïnvesteerd zodat er daarna een hoog beschermingsniveau gehaald wordt (onderste lijn). De omvang van deze investering wordt bepaald door de verhouding tussen vaste en variabele kosten: bij relatief veel vaste kosten loont het om een grotere investering te doen zodat een volgende ingreep minder snel noodzakelijk zal zijn. Vervolgens neemt de overstromingskans weer toe totdat opnieuw een maximum is bereikt. Dit keer wordt echter al bij een lager maximum ingegrepen omdat de te beschermen waarden in de dijkkring zijn toegenomen.

Het model *OptimaliseRing* berekent de optimale onder- en bovengrenzen van de overstromingskansen. Het model berekent de optimale omvang van de investering, het optimale moment van investeren, en de optimale momenten en omvang van de volgende investeringen. Daaruit leidt het model een optimale, maximaal toelaatbare overstromingskans (bovenste lijn) en een optimale ontwerpnorm (onderste lijn) af. Beide zijn echter niet direct bruikbaar als wettelijke toetsnorm (Eijgenraam 2008); in de volgende paragraaf wordt dit toegelicht.

- 
6. *Het besliskundig model dat dit proces beschrijft, is ontwikkeld door Eijgenraam (2005, 2006) in het kader van de kosten-batenanalyse Ruimte voor de Rivier. Ten behoeve van de KKBA en MKBA WV21 is het model van Eijgenraam doorontwikkeld en achtereenvolgens in opdracht van de Waterdienst en later Deltares vastgelegd in software met de naam OptimaliseRing. Voor de MKBA is versie 2.3 gebruikt, zie Duits 2011ab.*
  7. *In de feitelijke MKBA zijn de meeste dijkkringen opgebouwd uit meerdere trajecten.*



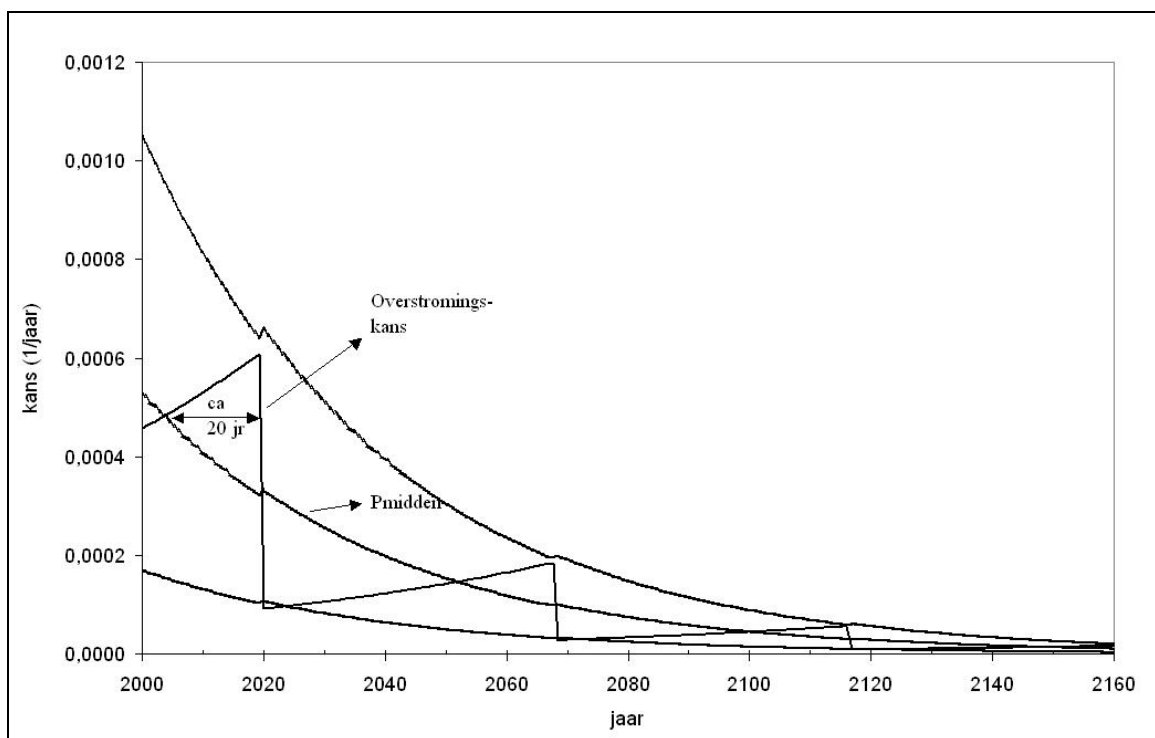
Figuur 2.2 Economisch efficiënt verloop van overstromingskansen per jaar bij herhaald investeren.

## 2.4 Norm en middenkans

De normen uit de wet worden gebruikt als toetsnorm om de waterkering te keuren. Wanneer eenmaal geconstateerd is dat deze norm is overschreden, dan kan het in de praktijk nog een periode duren voordat maatregelen daadwerkelijk zijn genomen. Bij grote projecten (zoals Ruimte voor de Rivier) kan dat oplopen tot 10 of 20 jaar. Gedurende die periode kan de norm nog verder worden overschreden. De werkelijke kans kan dus een tijd lang groter zijn dan de wettelijke normkans. Dit betekent dat de norm uit de wet in werkelijkheid ook niet de absolute ondergrens van het beschermingsniveau is, maar eerder een soort signaalfunctie heeft: het geeft het tijdstip aan waarop een actie moet worden gestart om de waterkering te gaan verbeteren.

Het besluit om een waterkering af te keuren zou (vanuit economisch oogpunt) dus niet gebaseerd moeten worden op de maximaal toelaatbare overstromingskans (de bovenste stippellijn in Figuur 2.2), maar op een punt onder deze stippellijn. Op deze wijze wordt op een eerder tijdstip al ingegrepen. In de tijd die vervolgens verstrijkt voordat alle versterkingsmaatregelen zijn genomen, zal de overstromingskans richting de bovenste stippellijn toenemen, zonder deze (snel) te overschrijden. Eijgenraam (2008, 2009) heeft daarom voorgesteld om uit te gaan van een **middenkans** om het moment om actie te gaan ondernemen, te bepalen. Deze middenkans is getoond in Figuur 2.3.





Figuur 2.3 Principe achter de middenkans.

De middenkans (middelste lijn) ligt tussen de vanuit economisch oogpunt maximale toelaatbare kans (bovenste lijn) en ontwerpkans (onderste lijn). Dit zou een geschikte indicator voor een toetsnorm op grond van economische efficiency kunnen zijn. De middenkans wordt ieder jaar kleiner doordat de schade in de dijkkring stijgt als gevolg van economische groei. Op het moment dat de overstromingskans (doorgetrokken lijn) de middenkans overschrijdt, is er nog ongeveer twintig jaar tijd voordat de maximaal toelaatbare kans (bovenste lijn) wordt overschreden. De uitvoeringstermijn (of 'besteltijd') van ongeveer twintig jaar is redelijk conform de huidige praktijk van grote projecten.

Eijgenraam (2008) noemt behalve de ingebouwde 'besteltijd' ook een aantal andere belangrijke voordelen van deze middenkans. Een daarvan is dat deze niet afhankelijk is van de grootte van de zaagtanden en daardoor relatief robuust. De grootte van de zaagtanden is immers afhankelijk van de verhouding tussen de vaste en variabele kosten. En die uitsplitsing van kosten in een vast en variabel deel is in de praktijk lastig te maken en daardoor onzeker. Ook kan de verhouding tussen vaste en variabele kosten per maatregel verschillen (bijv. bij dijkversterking of rivierversuiming). De grootte van de zaagtanden is daardoor onzeker en daarmee de ligging van de bovenste en onderste lijn in de figuur. De middenkans, die hiertussen in ligt, is echter alleen afhankelijk van de gemiddelde kosten en daardoor een robuuster getal.

Bij de middenkans als indicator voor de wettelijke toetsnorm hoort dus de erkenning dat deze gedurende een bepaalde periode overschreden mag worden. Bij grotere en complexere projecten is de duur van deze periode mogelijk langer dan bij relatief kleine en eenvoudige projecten.

De middenkans wordt in de loop der tijd steeds kleiner als gevolg van economische groei. Dat maakt het ook noodzakelijk om een jaar te kiezen waarvoor de middenkans in de MKBA wordt berekend en gepresenteerd. Gekozen is voor de middenkans van het jaar 2050. Deze

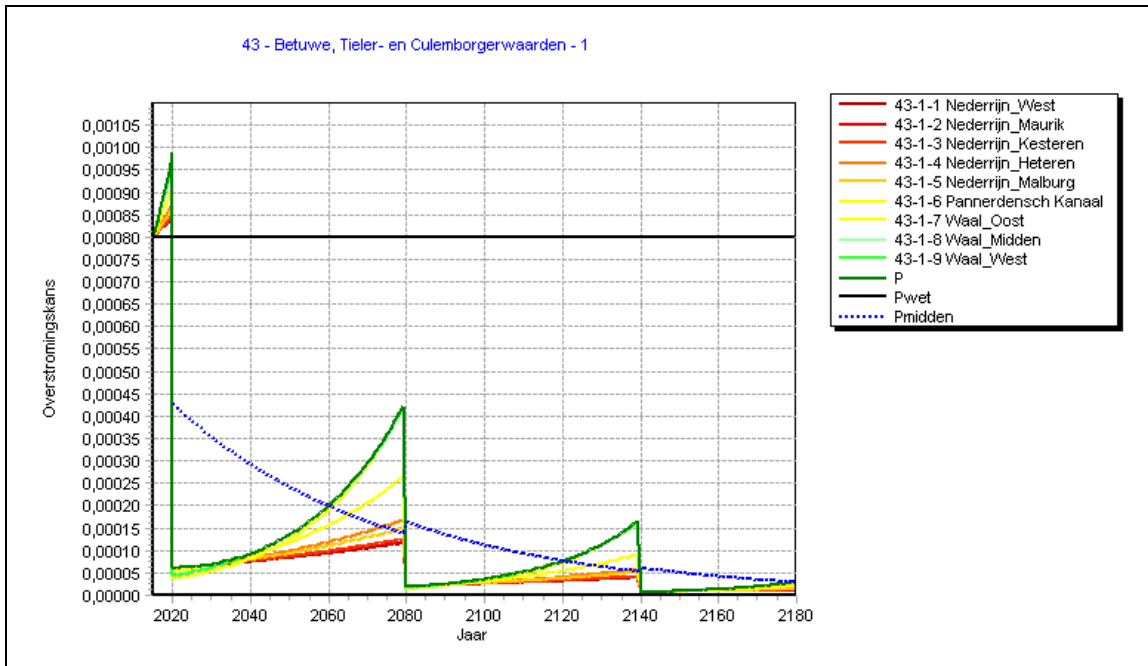
keuze houdt verband met de wens vanuit het beleid dat de nieuwe normen in beginsel worden vastgesteld voor de periode tot 2050.

## 2.5 Sprongen in de middenkans

Ondanks dat de middenkans een relatief robuust getal is, kan het dalende verloop van de middenkans in de tijd toch kleine en grotere sprongen vertonen. Deze sprongen ontstaan door verschillende oorzaken. De kosten van een volgende investering kunnen hoger zijn dan die van de voorgaande. In dat geval is het economisch optimaal om na een investering een groter bedrag aan verwachte schade te accepteren; de middenkans neemt op het moment van investeren toe en toont in de grafiek een sprong omhoog. Een andere oorzaak is wanneer de schade bij overstromen toeneemt na een investering, doordat een dijk is verhoogd. Na het verhogen van de dijk kan er in geval van een overstroming meer water in de dijkkring komen te staan dat tot een grotere schade leidt. De middenkans neemt dan in een keer af, in de grafiek zal deze dan een sprong omlaag vertonen.

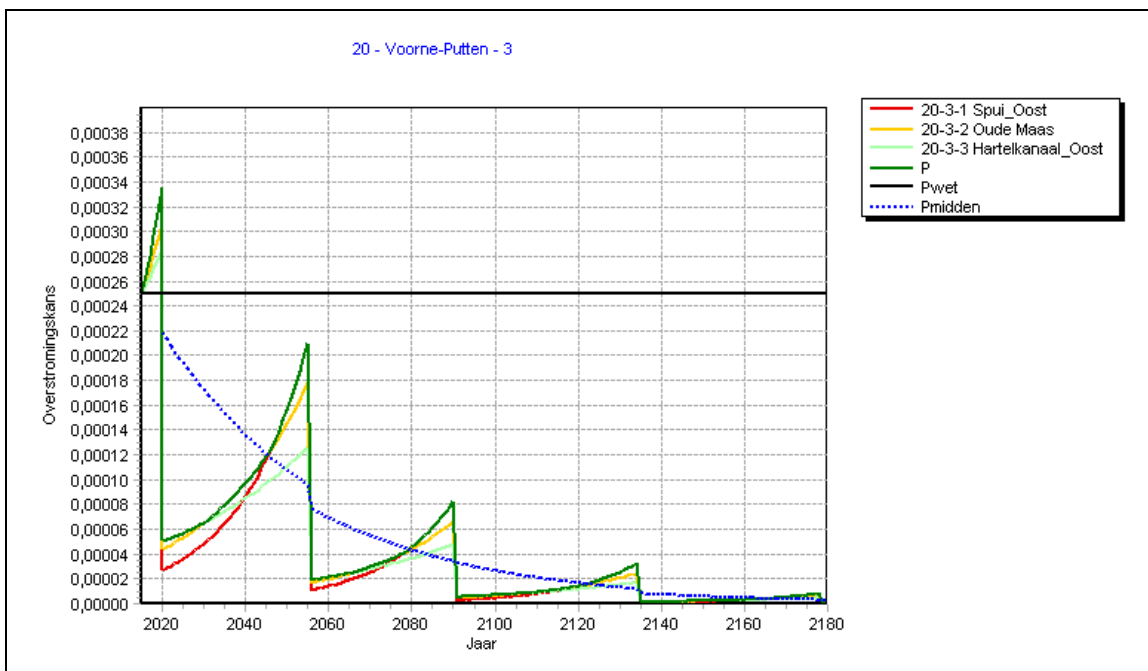
Een andere oorzaak voor de sprongen komt voor in geval van meerdere trajecten per dijkkringdeel. In de figuren 2.1, 2.2 en 2.3 is er steeds van uitgegaan dat de waterkeringen van de dijkkringen als een uniform geheel gezien kunnen worden, met één kostenfunctie, één overstromingskans, etc. Voor veel dijkkringen volstaat deze eenvoudige schematisatie echter niet. Verschillende dijktrajecten kunnen bijvoorbeeld te maken hebben met verschillende verhoudingen tussen vaste en variabele kosten in de totale investeringskosten. Ook kan de omvang waarin een dijk moet worden verhoogd om de overstromingskans in een bepaalde mate te reduceren, van traject tot traject verschillen, en kan klimaatverandering verschillend doorwerken op de waterstanden van verschillende riviertakken. Daarom bestaan in *OptimaliseRing* de meeste dijkkringen dan ook feitelijk uit meerdere trajecten. In bepaalde gevallen kan het dan optimaal zijn om niet alle trajecten gelijktijdig te verhogen. Ook dan kan de middenkans sprongen omhoog of omlaag laten zien op de momenten van investeren.

Figuur 2.4 illustreert voor dijkkring 43 – Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden hoe ‘in het ideale geval’ het resultaat van de economische optimalisatie er bij meerdere trajecten uitziet. Hier wordt in alle trajecten gelijktijdig geïnvesteerd. De middenkans die afgeleid wordt uit deze investeringsstrategie, laat een mooi gelijkmatig dalend verloop zien, met kleine sprongen op het tweede en derde moment van investeren (in 2080 en 2140).



Figuur 2.4 Voorbeeld van het verloop van de middenkans voor dijkkring 43.

Figuur 2.5 illustreert voor dijkkringdeel 20-3 – Voorne-Putten-Oost een minder gelijkmatig verloop. Omstreeks 2055 daalt de middenkans in één keer met ruim 20%. In een aantal gevallen kan het verloop van de middenkans grilliger zijn dan hier getoond.



Figuur 2.5 Voorbeeld van het verloop van de middenkans voor dijkkringdeel 20-3.

De sprongen in het verloop van de middenkansen zorgen voor een bepaalde mate van onzekerheid en daarmee 'ruis' in de berekende economisch optimale overstromingskansen. Door het vergelijken van de economisch optimale overstromingskansen zoals die berekend zijn door *OptimaliseRing* met die uit een directe berekeningsmethode worden deze sprongen zo veel mogelijk opgespoord (zie paragraaf 5.2). Toch bemoeilijken deze sprongen in een aantal gevallen de mate waarin de verschillen tussen resultaten van meerdere berekeningen voor dezelfde dijkringen eenvoudig verklaard kunnen worden. Bijvoorbeeld wanneer in bovenstaand figuur de sprong omlaag de ene keer net voor en de andere keer net na het jaar 2050 zou liggen (het jaar waarvoor de middenkans wordt gerapporteerd).

## 2.6 Economisch model

In deze paragraaf worden in drie tekstboxen de belangrijkste formules van het MKBA-model *OptimaliseRing* besproken. Een uitvoeriger beschrijving is terug te vinden in Bijlage C en in de rapporten van Duits (2011ab). Het is niet strikt noodzakelijk om deze paragraaf te lezen voor een goed begrip van de rest van het rapport.

### Box 2.2 Investeringskosten

In het model staat de hoogte van de dijk op verschillende momenten in de tijd ( $H(t)$ ) centraal. De optimale momenten ( $T_i$ ) en de optimale omvang ( $u_i$ ) van dijkverhoging moeten zo worden gekozen dat de som van de contante waarde van de investeringen en verwachte schade minimaal is.

Formule (2.1) geeft de formule voor de totale investeringskosten zoals die gebruikt wordt in *OptimaliseRing*.

$$I(u, W) = (C + bu)e^{\lambda(u+W)} \quad (2.1)$$

waarin:	$u$	dijkverhoging.....cm
	$C$	vaste kosten van investeringen uitgaande van de actuele dijkhoogte .....M€
	$b$	variabele kosten van de investeringen uitgaande van de actuele dijkhoogte ..... M€/cm
	$\lambda$	schaalparameter van dijkverhogingen ( <i>lambda</i> )..... 1/cm
	$W$	som van de eerdere dijkverhogingen ..... cm

#### Vaste en variabele kosten

De investeringskosten bestaan voor een deel uit vaste kosten ( $C$ ) die onafhankelijk zijn van de omvang waarmee de dijk verhoogd wordt. Omwille van deze vaste kosten is het aantrekkelijk om de dijk in een keer fors te verhogen. Daarnaast bestaan de investeringskosten ook uit variabele kosten ( $bu$ ) die groter zijn naarmate de dijk verder wordt verhoogd.

#### Schaalverbanden

Het verband tussen de investeringskosten en de dijkhoogte is niet noodzakelijk een lineair verband. De totale kosten kunnen meer dan lineair toenemen met de dijkhoogte. Ook kunnen volgende investeringen duurder zijn dan eerdere investeringen, bijvoorbeeld omdat de goedkoopste maatregelen al uitgevoerd zijn. Want ook voor vervolginvesteringen wordt kostenfunctie (2.1) gebruikt. Beide verbanden komen tot uiting in de schaalparameter  $\lambda$ .

## Box 2.3 Overstromingskansen

De baten van dijkverhogingen bestaan uit de vermindering in verwachte overstromingsschade (kans maal schade). Belangrijk is daarom het effect van dijkverhogingen op de overstromingskans. Formule (2.2) geeft de formule voor de overstromingskans in *OptimaliseRing*:

$$P(t) = P(0) e^{\alpha \eta t} e^{-\alpha(H(t) - H(0))} \quad \text{voor } t \geq 0 \quad (2.2)$$

waarin:	$P(t)$	overstromingskans als functie van de tijd .....	1/jaar
	$P(0)$	overstromingskans op tijdstip 0 (zonder dijkverhoging) .....	1/jaar
	$\alpha$	schaalparameter .....	1/cm
	$\eta$	structurele stijging relatieve waterstand ( <i>eta</i> ) .....	cm/jaar
	$H(0)$	dijkhoogte op tijdstip 0 (zonder dijkverhoging) .....	cm+NAP
	$H(t)$	dijkhoogte als functie van de tijd .....	cm+NAP

### Decimeringshoogte (schaalparameter)

Vergelijking (2.2) laat zien dat de overstromingskans in het model afneemt bij toename van de dijkhoogte. Hoeveel de kans afneemt hangt af van de schaalparameter  $\alpha$ : hoe groter de waarde van de  $\alpha$ , hoe groter de reductie van de overstromingskans. De waarde van deze parameter bepaalt daarmee rechtstreeks de effectiviteit van de dijkverhoging en is belangrijk voor de uitkomst van de berekeningen.

Het is mogelijk om de parameter  $\alpha$  uit te drukken in de decimeringshoogte van de kruinhoogte, gedefinieerd als de dijkverhoging die resulteert in een 10 maal lagere overstromingskans:

$$\alpha = \frac{\ln(10)}{\Delta H_{10}} \approx \frac{2.3}{\Delta H_{10}} \quad (2.3)$$

waarin  $\Delta H_{10}$  de decimeringshoogte van de kruinhoogte is. De decimeringshoogte is omgekeerd evenredig met de schaalparameter  $\alpha$ . De effectiviteit van dijkverhoging is dus groter naarmate de decimeringshoogte kleiner is.

### Waterstandstijging

Het verloop van de overstromingskans over de tijd wordt bepaald door de dijkhoogte als functie van de tijd en de structurele waterstandstijging (parameter  $\eta$ ). Hiermee wordt het effect van klimaatverandering geschematiseerd. Wanneer de dijkhoogte niet wordt aangepast, neemt de overstromingskans als gevolg hiervan geleidelijk toe. Zoals te zien in vergelijking (2.2) hangt de snelheid waarmee de overstromingskans toeneemt niet alleen af van de klimaatverandering zelf, maar ook van de parameter  $\alpha$ , die het effect van de waterstandstijging op de kans bepaalt.

De waterstandstijging als gevolg van klimaatverandering wordt overigens nog vermeerderd met bodemdaling. De parameter  $\eta$  betreft dus een relatieve waterstandstijging.

**Box 2.4 Overstromingsschade**

De overstromingsschade zal in de loop der tijd toenemen als gevolg van economische en demografische groei. Ook door waterstandstijging en dijkverhoging kan de omvang van de overstromingsschade toenemen. De formule voor de overstromingsschade op tijdstip  $t$  die gebruikt wordt in *OptimaliseRing* is als volgt:

$$V(t) = V(0) e^{\gamma t} e^{\psi \eta t} e^{\zeta(H(t) - H(0))} \quad \text{voor } t \geq 0 \quad (2.4)$$

waarin:

$V(t)$	overstromingsschade als functie van de tijd .....	M€
$V(0)$	overstromingsschade op tijdstip 0 (zonder dijkverhoging) .....	M€
$\gamma$	tempo van de economische groei ( <i>gamma</i> ) .....	%/jaar
$\psi$	parameter voor extra schade door waterstandstijging ( <i>psi</i> ) .....	1/cm
$\eta$	structurele stijging relatieve waterstand ( <i>eta</i> ) .....	cm/jaar
$\zeta$	stijgingstempo schade per cm dijkverhoging ( <i>zeta</i> ) .....	1/cm

*Economische groei*  
De formule laat zien dat de overstromingsschade die initieel geraamd is ( $V(0)$ ), jaarlijks toeneemt met het tempo van de economische groei ( $\gamma$ ).

*Toename van de schade als gevolg van waterstandstijging*  
De formule laat zien dat de schade ( $V(t)$ ) ook meestijgt met de jaarlijkse stijging van de waterstand (het product van  $\psi$  en  $\eta$ ). Daarmee is de toename van de overstromingsschade afhankelijk geworden van (het scenario voor de) klimaatverandering en bodemdaling.

*Toename van de schade als gevolg van dijkverhoging*  
Wanneer de dijk op een bepaald moment wordt verhoogd ( $H(t) > H(0)$ ) dan wordt het effect hiervan op de overstromingsschade meegenomen door middel van de parameter  $\zeta$ . Hiermee is de schade afhankelijk van de hoogte van de dijk.

## 2.7 Eenvoudige benadering

Eijgenraam (2009a) geeft ook een directe methode om de economisch optimale overstromingskans in een bepaald jaar (de middenkans) op eenvoudige wijze te benaderen. Dit gebeurt door het optimale niveau van de verwachte overstromingsschade te delen door de schade bij overstromen in dat jaar:

$$P_{\text{midden}}(t) = S(t)^*/V(t)$$

Deze formule is in wezen niet anders dan de bekende formule voor verwachte schade (risico) als kans maal schade:  $S(t) = P(t) \cdot V(t)$ .

Eijgenraam geeft meerdere mogelijkheden om het optimale niveau van verwachte overstromingsschade ( $S^*$ ) te benaderen. De volgende formule geeft één van de mogelijkheden weer:

$$S^* \approx \delta \frac{1}{\ln(10)} I_i(h_{10})$$

Waarbij  $I_i(h_{10})$  de kosten zijn voor het verhogen van de dijk met één decimeringshoogte (waardoor de overstromingskans daalt met een factor 10). Deze formule geeft dus aan dat naarmate investeringen duurder zijn, het optimale niveau van de verwachte schade (en daarmee de economisch optimale overstromingskans) groter is.

De formule maakt duidelijk dat de economisch optimale overstromingskans vooral afhankelijk is van (i) de schade bij overstromen, (ii) de kosten van een bepaalde veiligheidsverbetering en (iii) de disconteringsvoet. Merk op dat in deze formule de overstromingskans in de uitgangssituatie en het klimaatscenario niet voorkomen.

De formule, die altijd een benadering is van de economisch optimale overstromingskans zoals die berekend wordt met *OptimaliseRing*, is strikt genomen alleen geldig voor dijkringen die bestaan uit één traject of waarvoor het optimaal is om gelijktijdig te investeren in alle trajecten. De formule wordt in hoofdstuk 5 gebruikt om de resultaten van *OptimaliseRing* mee te vergelijken.

### 3 Referentiesituaties

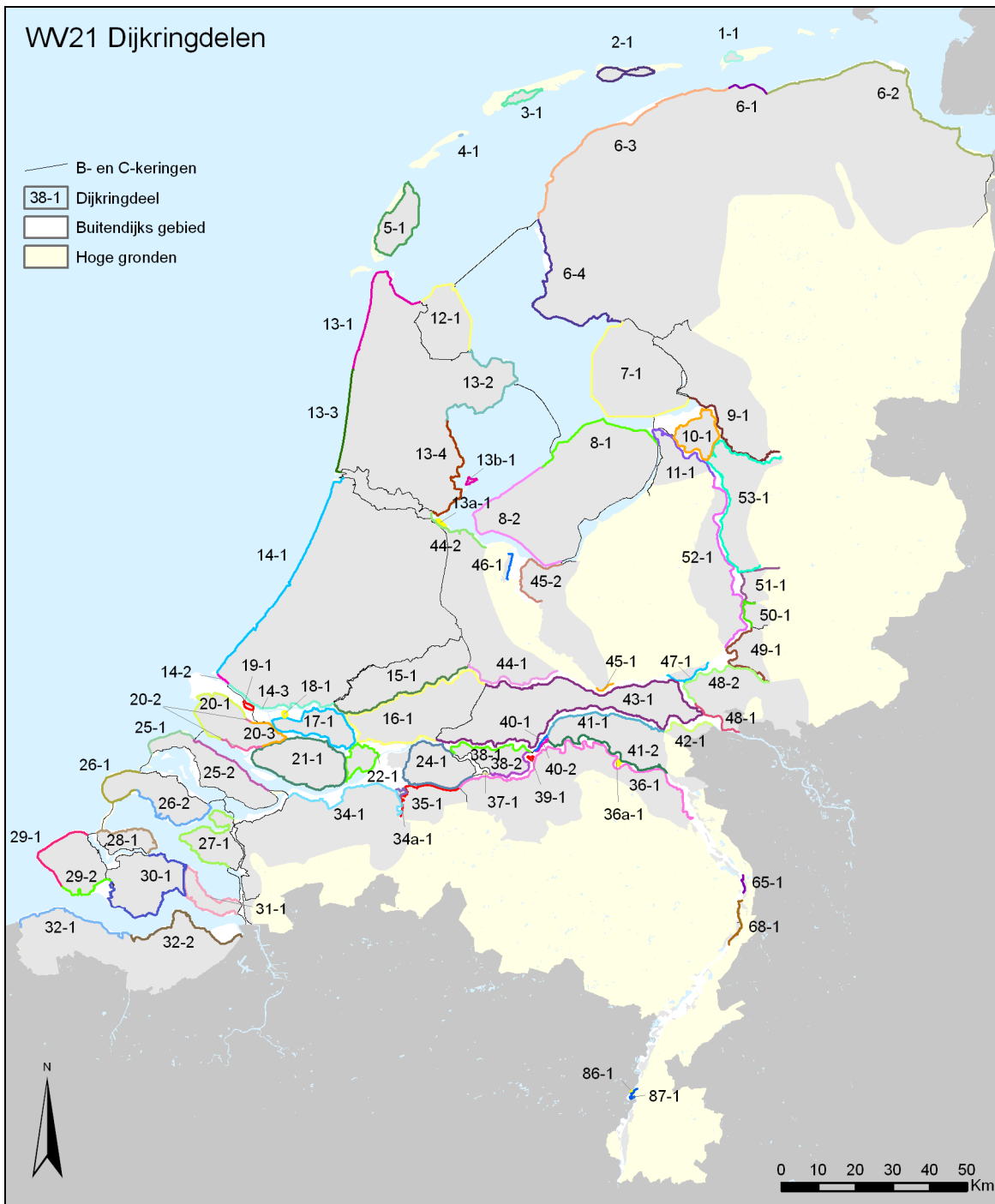
*In WV21 zijn twee verschillende referentiesituaties onderscheiden. Voor deze referentiesituaties zijn overstromingskansen bepaald die als startpunt voor de berekeningen dienen en als situatie om de berekende economisch optimale overstromingskansen mee te vergelijken. Nauw verwant aan de referentiesituaties is het onderscheid in dijkkringdelen. Deze worden eerst behandeld.*

#### 3.1 Dijkkringdelen als ruimtelijke eenheden

Dijkkringdelen vormen de ruimtelijke eenheden waarvoor de MKBA is uitgevoerd. De dijkkringen uit de Waterwet vormen hiervoor de basis. Voor een aantal dijkkringen zijn met het oog op *verschillen in de gevolgen* van een dijkdoorbraak of *verschillende onafhankelijke bedreigingen* meerdere dijkkringdelen onderscheiden (zie De Bruijn en Van der Doef, 2011). In totaal gaat het om 15 dijkkringen waarbij een onderverdeling in dijkkringdelen aan de orde is. Voor 11 dijkkringen is een onderverdeling in 2 dijkkringdelen gehanteerd; voor 4 dijkkringen gaat het om een onderverdeling in 3 of 4 dijkkringdelen. Voor de overige dijkkringen geldt dat ze uit één dijkkringdeel bestaan. De dijkkringdelen zijn op kaart getoond in Figuur 3.1.

In de rapportage is de onderverdeling in dijkkringdelen herkenbaar gemaakt door aan het nummer van de dijkkring, na een horizontaal streepje, een tweede nummer (1 t/m 4, voor 1 t/m 4 dijkkringdelen) toe te voegen. Ook is aan de naam van de dijkkring de naam toegevoegd van het watersysteem van waaruit de overheersende dreiging voor het dijkkringdeel komt, of een aanduiding van de geografische ligging.





Figuur 3.1 Dijkkringdelen in WV21

### 3.2 Twee referentiesituaties binnen het onderzoek

Voor het uitvoeren van de MKBA is een referentiesituatie nodig. Deze vervult twee verschillende functies: (1) als startpunt voor de berekeningen en (2) als situatie om de uitkomsten mee te kunnen vergelijken.

Een referentiesituatie beschrijft in beginsel de verwachte situatie bij voortzetting van het huidige beleid; dus een ongewijzigd beleid. In de context van het onderzoek naar actualisering van de normen voor waterveiligheid is ervoor gekozen op twee verschillende manieren invulling te geven aan 'voortzetting van het huidige beleid'. Daarom zijn in het onderzoek twee referentiesituaties onderscheiden. Het onderscheid tussen beide heeft met name betrekking op de wijze waarop wordt omgegaan met nieuwe inzichten (bijv. het belang van piping, de invloed van lengte-effecten).

Voortzetting van het huidige beleid kan zo worden uitgelegd dat de waterkeringen voldoen aan de huidige normen, getoetst volgens de huidige normeringssystematiek. De huidige normeringssystematiek kan daarbij worden opgevat als een dynamisch systeem. Door nieuwe inzichten kunnen hydraulische randvoorwaarden wijzigen en kunnen toetsvoorschriften worden aangepast. Zo kunnen inzichten vanuit het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) ten aanzien van het belang van piping in het rivierengebied hun weg vinden in aangescherpte toetsregels voor piping.

Binnen deze benadering blijft worden toegewerkt naar de beschermingsniveaus zoals die in de huidige normen zijn vastgelegd. Daarbij worden die normen, hoewel betrekking hebbend op de overschrijdingskans van extreme hoogwaterstanden, getalsmatig gelijk gesteld aan overstromingskansen. De Commissies Becht (1977), Boertien (1993) en meer recent de Commissie Veerman (2008) hebben hetzelfde uitgangspunt gehanteerd net als het CPB in de KBA Ruimte voor de Rivier (Eijgenraam 2005). Dit uitgangspunt sluit aan bij de (in de maatschappij) veronderstelde/gepercipieerde beschermingsniveaus.

Onderzoek in het kader van het project VNK maakt duidelijk dat er geen één op één verband bestaat tussen overschrijdingskansen en overstromingskansen. Althans niet binnen de huidige normeringssystematiek, waarin het faalmechanisme overloop/overslag centraal staat. Nieuwe inzichten in lengte-effecten, de grotere bijdrage van piping aan de overstromingskansen, e.d. laten zien dat de overstromingskansen veelal groter is dan de overschrijdingskansen. Deze inzichten zijn door een groep experts eind 2009 betrokken bij de opstelling van een zogeheten 'omrekentabel'. Deze 'omrekentabel' (zie Tabel 3.1) laat zien dat de factor tussen overschrijdingskansen en overstromingskansen een functie is van het type watersysteem en de grootte van de dijkkring. Deze nieuwe inzichten impliceren dat de overstromingskansen – ook na uitvoering van de lopende verbeterprojecten en -programma's – groter zullen zijn dan de overschrijdingskansen van de waterstanden.

Tabel 3.1 'Omreken tabel' met verhouding overstromingskans – overschrijdingskans voor verschillende typen dijkringen na uitvoering van de lopende verbetermaatregelen

Type watersysteem	grote dijkkring		kleine dijkkring	
	gemiddelde	bandbreedte	gemiddelde	bandbreedte
Zee	2	0,6 – 5	1	0,3 – 2,2
Benedenrivieren	4	1 – 9,1	2	1 – 5,2
Meren	3	0,6 – 9,5	2	0,5 – 5,7
Bovenrivieren	5	1,2 – 9,7	3	1,1 – 5,4

Bron: Kok en Vrouwenfelder (21 december 2009); Eerste vertaalslag van huidig beschermingsniveau naar overstromingskans

Voor het onderzoek worden dus twee referentiesituaties onderscheiden:

- De **eerste referentiesituatie** sluit aan bij het uitgangspunt van de Commissies Becht (1977), Boertien (1993) en Veerman (2008). In deze referentiesituatie zijn de overstromingskansen van de onderscheiden dijkkringdelen getalsmatig gelijk gesteld aan de huidige wettelijke normfrequenties in termen van overschrijdingskansen. De referentiesituatie weerspiegelt de (*in de maatschappij*) *veronderstelde/gepercipieerde* beschermingsniveaus. Deze referentiesituatie wordt in dit rapport ook aangeduid als de **basisvariant**.
- De **tweede referentiesituatie** – rekeninghoudend met nieuwe inzichten – vormt een *inschatting van de verwachte* overstromingskansen na uitvoering van de lopende verbeterprojecten en –programma's (in 2015/2020). Deze inschatting is gebaseerd op de inzichten uit de omreken tabel van Kok en Vrouwenfelder (2009).

De schatting van de kosten van maatregelen (dijkverhoging en dijkversterking) voor het verkleinen van de overstromingskans is voor de eerste referentiesituatie gebaseerd op bestaande leidraden de toetsvoorschriften. Bij de tweede referentiesituatie wordt rekening gehouden met de grotere invloed van piping. Hiervoor is gewerkt met de nieuwe pipinginzichten zoals die in het kader van het project Wettelijk Toetsinstrumentarium (WTI) zijn ontwikkeld. In vergelijking tot de eerste referentiesituatie, waarbij de piping-regel uit de bestaande leidraden is gebruikt, leidt toepassing van deze nieuwe pipinginzichten tot hogere kosten in pipinggevoelige gebieden.

### 3.3 Nadere invulling van beide referentiesituaties

De *eerste referentiesituatie* (basisvariant) is *gedefinieerd* als de situatie waarbij de overstromingskans per onderscheiden dijkkringdeel getalsmatig gelijk is aan de huidige wettelijke normen in termen van overschrijdingskansen. Net als bij de huidige toetsvoorschriften wordt er in de referentiesituatie vanuit gegaan dat overloop/overslag het dominante faalmechanisme is. Er wordt vanuit gegaan dat er geen zwakke plekken zijn en elke kilometer dijk een gelijke kans op doorbreken heeft. Regionale keringen, B- en C-keringen worden geacht 'op orde' te zijn.

De *tweede referentiesituatie* betreft een *ordegrootte inschatting*, waarbij rekening is gehouden met nieuwe inzichten ten aanzien van piping en lengte-effecten. De factoren zoals opgenomen in Tabel 3.1 zijn benut om de verwachte overstromingskans per dijkkringdeel na uitvoering van de lopende verbeterprojecten en –programma's te schatten.

De factoren van de omreken tabel gelden per dijkkring. Wanneer een dijkkring in het onderzoek is opgedeeld in bijvoorbeeld twee dijkkringedelen dan zijn de overstromingskansen van de dijkkringedelen een factor twee kleiner. Het zijn met name de *grote* dijkkringen langs de kust die in het onderzoek zijn opgedeeld in twee of meer dijkkringen. De 'lengtefactor' van 2 voor grote dijkkringen van het type watersysteem 'Zee' (zie Tabel 3.1) wordt daarmee gecompenseerd door de opsplitsing in twee of meer dijkkringedelen.

Voor het onderzoek is ervoor gekozen de tweede referentie te benaderen als een minder rooskleurige inschatting van de veiligheidssituatie dan de eerste referentiesituatie. Daarom is het uitgangspunt gehanteerd dat de geschatte overstromingskans van de tweede referentiesituatie groter, dan wel gelijk is aan die van de eerste referentiesituatie.

Met deze principes is voor alle dijkkringedelen een orde-grootte schatting gedaan voor de overstromingskansen van de tweede referentiesituatie.

Een overzicht van de overstromingskansen van beide referentiesituaties per type watersysteem is opgenomen in Tabel 3.2. De grootste verschillen worden gevonden bij de *grote* dijkkringen in het rivierengebied; daar bedraagt het verschil een factor 5. In dit type dijkkring hebben nieuwe inzichten in het belang van piping en lengte-effecten het meeste effect op de overstromingskans van de dijkkring (de factor uit de 'omreken tabel' is daar het grootst).

Voor de kleinere dijkkringen in het bovenrivierengebied is het verschil geringer: ongeveer een factor 3. Voor de dijkkringen langs de kust ontlopen de overstromingskansen van beide referentiesituaties elkaar slechts weinig: ze zijn gelijk, of de overstromingskans van de tweede referentiesituatie is ruwweg een factor 2 groter dan bij de eerste referentiesituatie.

### 3.4 Rol van beide referentiesituaties in de MKBA

De referentiesituaties vormen het vertrekpunt voor de MKBA. De MKBA heeft daarbij twee doelen: (i) het bepalen van economisch optimale beschermingsniveaus per dijkkringdeel en (ii) het in beeld brengen van de benodigde investeringen om deze beschermingsniveaus te realiseren. Voor de economisch optimale beschermingsniveaus geldt dat deze weinig tot niet afhankelijk zijn van de overstromingskans in de referentiesituatie (zie Box 3.1). De benodigde investeringen zullen bij de tweede referentiesituatie (beduidend) hoger uitvallen; een logisch uitvloeisel van de (veelal) grotere overstromingskansen dan bij de eerste referentiesituatie. De afstand tussen de referentiekansen en de berekende economisch optimale kansen zal bij de tweede referentie immers veelal groter zijn.

Bij de tweede referentiesituatie wordt rekening gehouden met nieuwe inzichten in ondermeer de bijdrage van piping aan de overstromingskans. Die nieuwe inzichten komen niet alleen tot uitdrukking in een grotere overstromingskans, maar – in vergelijking tot de eerste referentiesituatie - ook in hogere kosten om extra bescherming te realiseren. Deze relatief hogere kosten zullen leiden tot grotere economisch optimale overstromingskansen dan bij de eerste referentiesituatie.

Voor het bepalen van de economisch optimale overstromingskans is een reeks aan gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd in de context van de eerste referentiesituatie.

Tabel 3.2 Overstromingskansen per jaar per dijkkringdeel voor de eerste en tweede referentie

Nr	Naam	Eerste referentie	Tweede referentie	Nr	Naam	Eerste referentie	Tweede referentie
1-1	Schiermonnikoog	1/2000	1/2000	28-1	Noord-Beveland	1/4000	1/4000
2-1	Ameland	1/2000	1/2000	29-1	Walcheren-West	1/4000	1/4000
3-1	Terschelling	1/2000	1/2000	29-2	Walcheren-Oost	1/4000	1/4000
4-1	Vlieland	1/2000	1/2000	30-1	Zuid-Beveland-West	1/4000	1/4000
5-1	Texel	1/4000	1/4000	31-1	Zuid-Beveland-Oost	1/4000	1/4000
6-1	Friesland-Groningen-Lauwersmeer	1/4000	1/4000	32-1	Zeeuwsch Vlaanderen-West	1/4000	1/4000
6-2	Friesland-Groningen-Groningen	1/4000	1/4000	32-2	Zeeuwsch Vlaanderen-Oost	1/4000	1/4000
6-3	Friesland-Groningen-Noord-Friesland	1/4000	1/4000	34-1	West-Brabant	1/2000	1/500
6-4	Friesland-Groningen-IJsselmeer	1/4000	1/4000	34a-1	Geertruidenberg	1/2000	1/500
7-1	Noordoostpolder	1/4000	1/2000	35-1	Donge	1/2000	1/1000
8-1	Flevoland-Noordoost	1/4000	1/4000	36-1	Land v Heusden/de Maaskant	1/1250	1/250
8-2	Flevoland-Zuidwest	1/4000	1/2000	36a-1	Keent	1/1250	1/500
9-1	Vollenhove	1/1250	1/250	37-1	Nederhemert	1/1250	1/500
10-1	Mastenbroek	1/2000	1/1000	38-1	Bommelerwaard-Waal	1/1250	1/1250
11-1	IJsseldelta	1/2000	1/1000	38-2	Bommelerwaard-Maas	1/1250	1/500
12-1	Wieringen	1/4000	1/2000	39-1	Alem	1/1250	1/500
13-1	Noord-Holland-Noord	1/10.000	1/10.000	40-1	Heerwaarden-Waal	1/2000	1/250
13-2	Noord-Holland-West-Friesland	1/10.000	1/10.000	40-2	Heerwaarden-Maas	1/500	1/250
13-4	Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/10.000	41-1	Land van Maas en Waal-Waal	1/1250	1/500
13b-1	Marken	1/1250	1/500	41-2	Land van Maas en Waal-Maas	1/1250	1/500
14-1	Zuid-Holland-Kust	1/10.000	1/10000	42-1	Ooij en Millingen	1/1250	1/500
14-2	Zuid-Holland-Nieuwe Waterweg-West	1/10.000	1/10000	43-1	Betuwe, Tieler- en C'waarden	1/1250	1/250
14-3	Zuid-Holland-Nieuwe Waterweg-Oost	1/10.000	1/10000	44-1	Kromme Rijn-Rijn	1/1250	1/500
15-1	Lopiker- en Krimpenerwaard	1/2000	1/1000	44-2	Kromme Rijn-Meren	1/1250	1/500
16-1	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden	1/2000	1/1000	45-1	Gelderse Vallei-Rijn	1/1250	1/1250
17-1	IJsselmonde	1/4000	1/2000	45-2	Gelderse Vallei-Meren	1/1250	1/500
18-1	Pernis	1/10.000	1/5000	46-1	Eempolder	1/1250	1/500
19-1	Rozenburg	1/10.000	1/5000	47-1	Arnhemse- en Velpsebroek	1/1250	1/500
20-1	Voorne-Putten-West	1/4000	1/4000	48-1	Rijn en IJssel-Boven	1/1250	1/500
20-2	Voorne-Putten-Midden	1/4000	1/4000	48-2	Rijn en IJssel-Beneden	1/1250	1/500
20-3	Voorne-Putten-Oost	1/4000	1/4000	49-1	IJsselland	1/1250	1/500
21-1	Hoekse Waard	1/2000	1/1000	50-1	Zutphen	1/1250	1/500
22-1	Eiland van Dordrecht	1/2000	1/1000	51-1	Gorssel	1/1250	1/500
24-1	Land van Altena	1/2000	1/1000	52-1	Oost Veluwe	1/1250	1/250
25-1	Goeree-Overflakkee-Noordzee	1/4000	1/4000	53-1	Salland	1/1250	1/500
25-2	Goeree-Overflakkee-Haringvliet	1/4000	1/2000	65-1	Arcen	1/250	1/125
26-1	Schouwen Duiveland-West	1/4000	1/4000	68-1	Venlo-Velden Noord	1/250	1/125
26-2	Schouwen Duiveland-Oost	1/4000	1/2000	86-1	Maasband	1/250	1/125
27-1	Tholen en St. Philipsland	1/4000	1/4000	87-1	Meers	1/250	1/125

**Box 3.1 Belang van de overstromingskansen in de referentiesituatie voor het rekenresultaat van de MKBA: rekenvoorbeeld.**

Stel dat de schade bij overstroming 1500 M€ bedraagt en dat de investeringskosten om de overstromingskans met een factor 2 te verkleinen gelijk zijn aan 18 M€ (en dat dit ook de minimale omvang van een investering in een dijkversterking is). Bij een discontovoet van 5,5 procent per jaar zijn de jaarlijkse kapitaallasten (afgerond) 1 miljoen euro per jaar. Veronderstel verder dat er geen kosten voor beheer en onderhoud zijn.

Indien de overstromingskans in de beginsituatie gelijk is aan 1/ 100 per jaar, dan bedraagt het jaarlijkse risico  $1/100 \times 1500 = 15$  M€ Een verkleining van de overstromingskansen met een factor 2 veroorzaakt kosten van 1 M€ en doet het risico verminderen met  $15/2 = 7,5$  M€ Dat is een zeer rendabele investering. In de onderstaande tabel worden de kosten en baten (risicovermindering) van opeenvolgende investeringen in een vermindering van de overstromingskans met een factor 2 vergeleken. Uit de tabel blijkt dat het economisch optimaal is om door te gaan met investeren tot dat de kans verkleind is tot 1/800 per jaar. Een verdere kansverkleining met een factor 2 zou (net) niet meer rendabel zijn.

Merk op dat het voor de bepaling van de economisch optimale overstromingskans geen verschil uitmaakt of wordt begonnen bij een beginkans van 1/100 per jaar of bij een beginkans van 1/400 per jaar. In beide gevallen wordt op hetzelfde moment gestopt met investeren in een verdere verkleining van de overstromingskans (namelijk bij 1/800 per jaar)

P(0)	Risico (M€/jaar)	Risicovermindering (M€/jaar)	Extra kosten (M€/jaar)	Baten>Kosten
1/100 per jaar	15			
1/200 per jaar	7,5	7,5	1	Ja
1/400 per jaar	3,75	3,75	1	Ja
1/800 per jaar	1,875	1,875	1	Ja
1/1600 per jaar	0,94	0,94	1	Neen

In bovenstaand rekenvoorbeeld is een aantal factoren vereenvoudigd, zoals het gelijkmatige kostenverloop van de verkleining van de overstromingskans, de abstractie van overhoogte (waardoor de beginkans voor het gehele dijkkringdeel uniform verondersteld is) en de abstractie van dynamische effecten (het overstromingsrisico stijgt in de tijd als gevolg van zeespiegelstijging en economische groei). Niettemin geeft het rekenvoorbeeld goed weer dat de uitkomst van een *OptimaliseRings*berekening in grote mate onafhankelijk van de beginsituatie is.



## 4 Gegevens en uitgangspunten

*In dit hoofdstuk wordt een aantal uitgangspunten en basisgegevens besproken die gebruikt zijn in de MKBA. Basisgegevens zijn gegevens gerelateerd aan overstromingskansen, gevolgen van een overstroming en kosten voor het verbeteren van de waterkeringen. Deze gegevens zijn ontleend aan het rapport over gevolgen van De Bruijn en Van der Doef (2011), het rapport over kansen van Kuijper et al. (2011) en het rapport over kosten van De Grave en Baarse (2011).*

*Vervolgens wordt ingegaan op een aantal aanvullingen op de materiële schade zoals die in het rapport van De Bruijn en Van der Doef zijn gerapporteerd. Het gaat dan om een opslag op de schade vanwege enkele in de gebruikte schademodule ontbrekende schadeposten, het monetair waarden van slachtoffers en het aanpassen van de schadebedragen naar actuele en toekomstige schades. Voor een gedetailleerde beschrijving en onderbouwing van deze aanvullingen wordt verwezen naar Bijlage D.*

*Als laatste behandelt dit hoofdstuk risicoaversie en de keuze van de discontovoet die in de MKBA is gebruikt.*

### 4.1 MKBA tegen factorkosten

De MKBA WV21 is opgesteld op basis van factorkosten. Dat wil zeggen dat alle kosten en baten (de vermeden materiële en immateriële schade) zijn gewaardeerd tegen prijzen die exclusief kostprijsverhogende belastingen zoals BTW en exclusief eventuele kostprijsverlagende subsidies zijn. Dit principe geldt ook voor de kengetallen die gebruikt zijn voor de waardering van de immateriële schade. Deze kengetallen zijn door middel van enquêteonderzoek onder huishoudens afgeleid. Omdat huishoudens hun voorkeuren baseren op marktprijzen en niet op basis van factorkosten, is een correctie op de kengetallen die gebruikt zijn voor de waardering van de immateriële schade uitgevoerd. Voor meer details, zie Bijlage D.

Voor de grootte van de berekende economisch optimale overstromingskansen maakt het overigens niet of er gewerkt wordt met marktprijzen of factorkosten, zolang kosten en baten maar systematisch op dezelfde grondslag worden gewaardeerd.

### 4.2 Kansen, waterstanden en decimeringshoogtes

#### **Overstromingskansen in de referentiesituaties**

In hoofdstuk 3 zijn voor de twee verschillende referentiesituaties de overstromingskansen gegeven die als vertrekpunt voor de berekeningen dienen. Deze kansen worden hier niet herhaald.

#### **Overstromingskansen en overhoogte**

De wijze waarop de referentiekansen zijn vastgesteld, impliceert ook dat er geen (of onvoldoende nauwkeurig) rekening gehouden wordt met eventueel aanwezige overhoogte en -sterkte in de waterkeringen. Door overhoogte en -sterkte kunnen de overstromingskansen voor verschillende trajecten langs een dijkkring of dijkkringdeel van elkaar verschillen. Er



hoeven dan mogelijk minder kosten gemaakt te worden voor een verhoging van het beschermingsniveau.

In de praktijk blijkt deze overhoogte en –sterkte echter moeilijk nauwkeurig vast te stellen. Met name de mate van oversterkte is lastig vast te stellen omdat niet alle overhoogte van dijken ook daadwerkelijk als waterkerend mag worden beschouwd.

Maar ook als de overhoogte en –sterkte wel voldoende nauwkeurig zouden kunnen worden vastgesteld, dan kunnen er toch nog goede redenen zijn om deze niet mee te nemen in de berekeningen. Door het meenemen van overhoogte en -sterkte werken ‘toevalligheden uit het verleden’ namelijk door op de economisch optimale overstromingskans. Wanneer overhoogte en -sterkte worden meegenomen, dan krijgt niet elke dijkkring een gelijke uitgangspositie in de berekeningen. De min of meer toevallige aanwezigheid van overhoogte kan dan leiden tot verschillen in de berekende economisch optimale overstromingskansen bij voor het overige identieke dijkkringen. Een tweede probleem is dat door overhoogte en –sterkte mee te nemen, dit, in navolging van de methode van marginale verbeteringen (zie paragraaf 2.2), kan leiden tot een niet robuuste norm.

### Waterstandstijging

Door klimaatverandering nemen rivierafvoeren toe en stijgt de zeespiegel. Door deze (structurele) stijging van de waterstanden nemen overstromingskansen geleidelijk toe. Daarnaast zorgt bodemdaling voor een daling van het maaiveld en de dijken. Hierdoor nemen de overstromingskansen nog verder toen. Het gezamenlijk effect wordt aangeduid als relatieve waterstandstijging. Voor het bepalen van de relatieve waterstandstijging zijn verschillende bronnen en uitgangspunten gebruikt.

De bijdrage van bodemdaling aan de relatieve waterstandstijging is gebaseerd op eerder onderzoek (Haasnoot et al., 1999). Deze kan lokaal zeer aanzienlijk zijn, bijvoorbeeld in het zuidwesten van Flevoland waar de bodem daalt met circa 0,8 cm per jaar.

Voor klimaatverandering is van het Warm+ scenario van het KNMI (W+ scenario) uitgegaan. In dit scenario stijgt de zeespiegel aan de Nederlandse kust met 35 cm tussen 1990 en 2050, en met nog eens 50 cm tussen 2050 en 2100. De structurele waterstandstijging per jaar die in het rekenmodel van de MKBA WV21 gebruikt is, is gebaseerd op de periode tot 2050.

Voor de toekomstige rivierafvoer is het beleid in bovenstrooms gelegen landen van belang. Op dit moment zijn er fysische grenzen aan de maximale Rijnafvoer die Nederland kan bereiken omdat er bovenstrooms (in Duitsland) lagere beschermingsniveaus tegen overstromen gelden. Het gevolg is dat daar als eerste overstromingen zullen plaatsvinden, die de afvoer benedenstrooms (en dus in Nederland) ‘aftoppen’. Het ‘aftoppen’ leidt er toe dat door middel van nog maar weinig extra maatregelen in het bovenrivierengebied de veiligheid nog verder kan worden verhoogd. In de berekeningen is verondersteld dat de verschillen in beschermingsniveaus tussen Nederland en Duitsland blijven bestaan, waardoor de Rijnafvoer ter hoogte van Lobith afgetopt wordt op 16.500 m<sup>3</sup>/s in de huidige situatie, op 17.000 m<sup>3</sup>/s in 2050 en 18.000 m<sup>3</sup>/s in 2100.

Figuren 4.1 en 4.2 (zie pagina 34 en 35) tonen achtereenvolgens de absolute waterstandstijging en de relatieve waterstandstijging (gelijk aan de absolute waterstandstijging plus bodemdaling) in centimeter per jaar waarmee gerekend is.

De absolute waterstandstijgingen (Figuur 4.1) liggen overwegend tussen 0,8 en 1,0 cm per jaar. Uitzonderingen zijn de Nederrijn-Lek, het IJsselmeer en het Markermeer. Dit wordt veroorzaakt doordat er bij de Nederrijn-Lek (conform het huidige beleid) vanuit gegaan wordt dat bij Rijnafvoeren groter dan 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith het meerdere water over de IJssel en Waal wordt afgevoerd en de Nederrijn-Lek wordt ontzien. Voor het Markermeer is de absolute

waterstandstijging nihil omdat er vanuit gegaan is dat het huidige peil gehandhaafd blijft. In het IJsselmeergebied zijn lagere gemiddelde waterstandstijgingen te zien doordat er vanuit gegaan wordt dat het IJsselmeer pas vanaf 2035 meestijgt met de zeespiegel.

De relatieve waterstandstijgingen (Figuur 4.2) zijn groter dan de absolute waterstijgingen omdat hier ook de bodemdaling in is meegenomen. De relatieve waterstandstijging langs de Nederrijn-Lek en het Markermeer worden in zijn geheel veroorzaakt door bodemdaling.

### **Decimeringshoogte**

De decimeringshoogte is een maat voor de omvang van maatregelen die nodig zijn om de overstromingskans met een factor 10 te verkleinen. De grootte van de decimeringshoogte heeft daardoor een belangrijk effect op de hoogte van de economisch optimale overstromingskansen. Hoe kleiner de decimeringshoogte, hoe goedkoper maatregelen zijn om de overstromingskans te reduceren en hoe kleiner de economisch optimale overstromingskans.

Er kunnen twee decimeringshoogtes worden onderscheiden: de decimeringshoogte voor kruinhoogte en de decimeringshoogte voor waterstand. De decimeringshoogte voor de kruin is de extra kruinhoogte die nodig is om de overstromingskans van de dijken een factor 10 te verkleinen. De decimeringshoogte voor waterstand is de waterstandverhoging die hoort bij een 10 keer kleinere kans van optreden.

In *OptimaliseRing* wordt gewerkt met de decimeringshoogte voor de kruin.<sup>8</sup> Deze decimeringshoogte wordt door zowel waterstand als wind (en golven) bepaald. In windgevoelige gebieden (zoals langs de kust en het IJsselmeer) is de decimeringshoogte van de kruin daardoor fors groter dan de decimeringshoogte van de waterstand. Dit komt doordat bij hogere waterstanden, met een kleinere kans op voorkomen, ook een hardere wind en daardoor hogere golven horen. Deze hogere golven stellen aanvullende eisen aan de dijk. Aan de kust kunnen de decimeringshoogte van de kruin en de decimeringshoogte van de waterstand daardoor ruim een factor 3 verschillen.

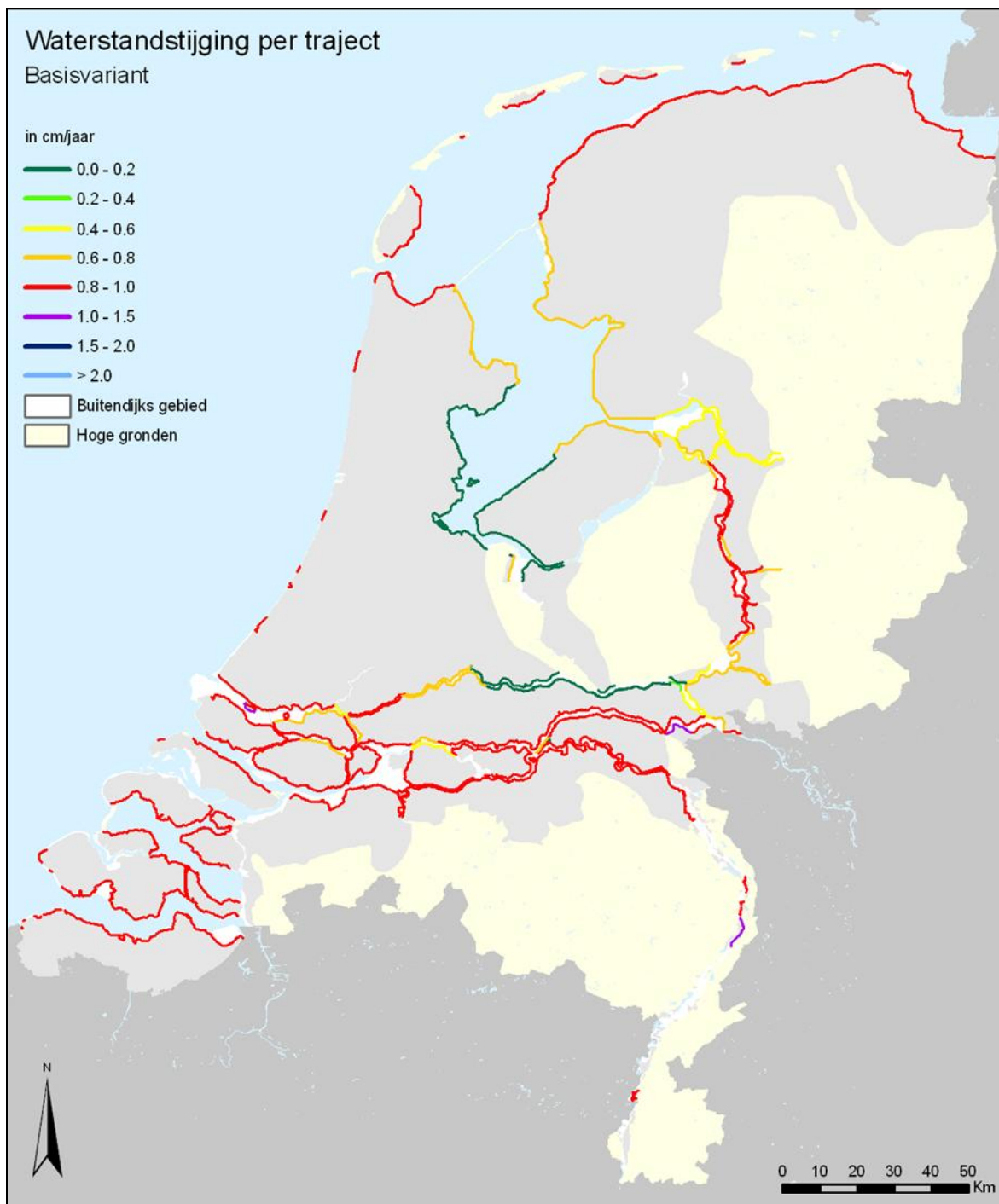
Ook in het bovenrivierengebied is de decimeringshoogte van de waterstand kleiner dan de decimeringshoogte van de kruin. Dit wordt veroorzaakt door het uitgangspunt dat er vanuit gegaan wordt dat de beschermingsniveaus in Duitsland blijvend lager zullen zijn dan in Nederland. De waterstanden kunnen dan niet verder toenemen en om een hoger beschermingsniveau te bereiken volstaat het om maatregelen te nemen om golfoverslag tegen te gaan.

Het verschil in decimeringshoogte voor de kruin en waterstand is belangrijk voor het terugvertalen van de economisch optimale overstromingskansen in verandering van maatgevende hoogwaterstanden en veranderingen in benodigde kruinhoogten in hoofdstuk 7.

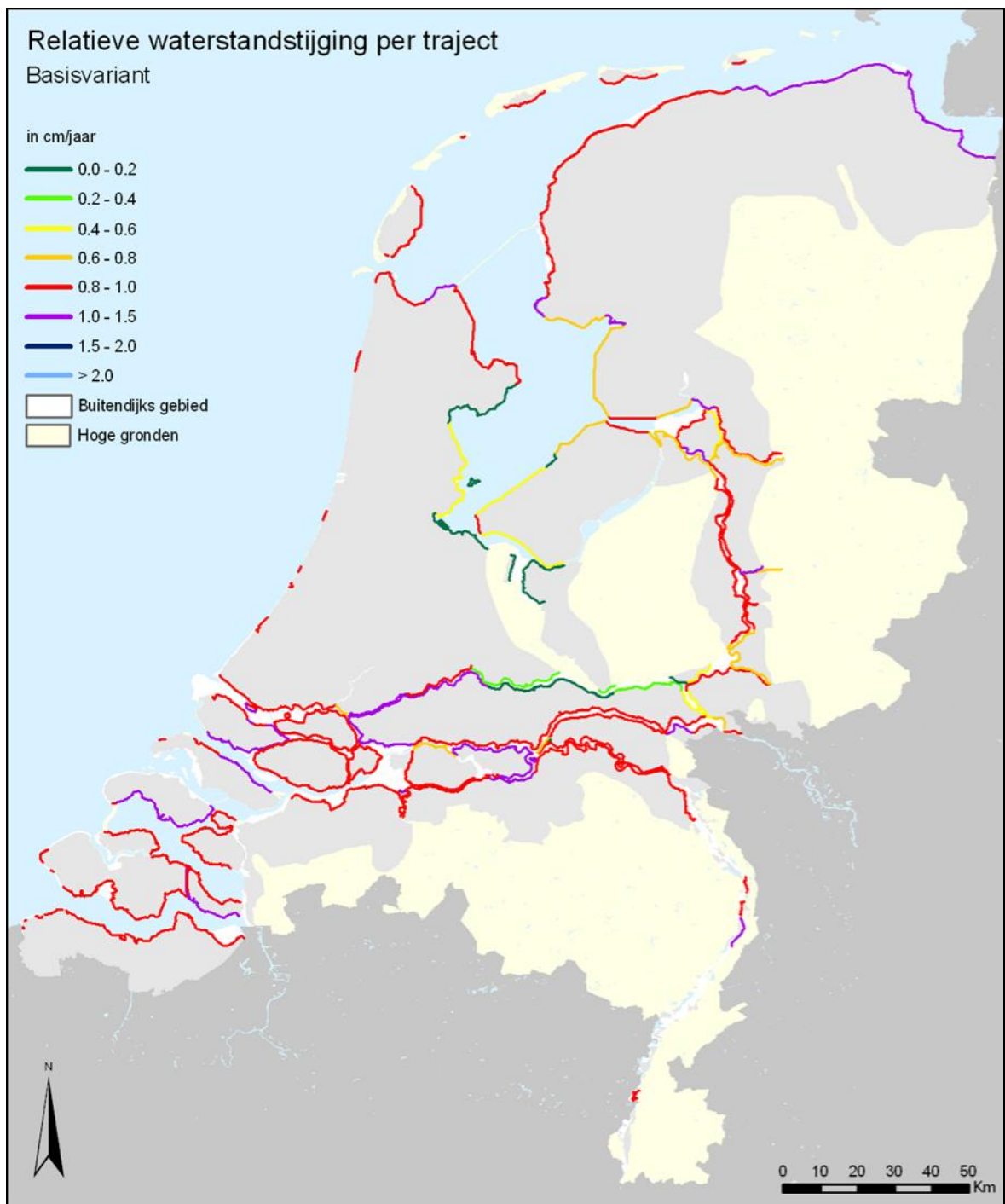
In de figuren 4.3 en 4.4 (zie pagina 36 en 37) worden de gemiddelde decimeringshoogte van de kruin en waterstand getoond.

---

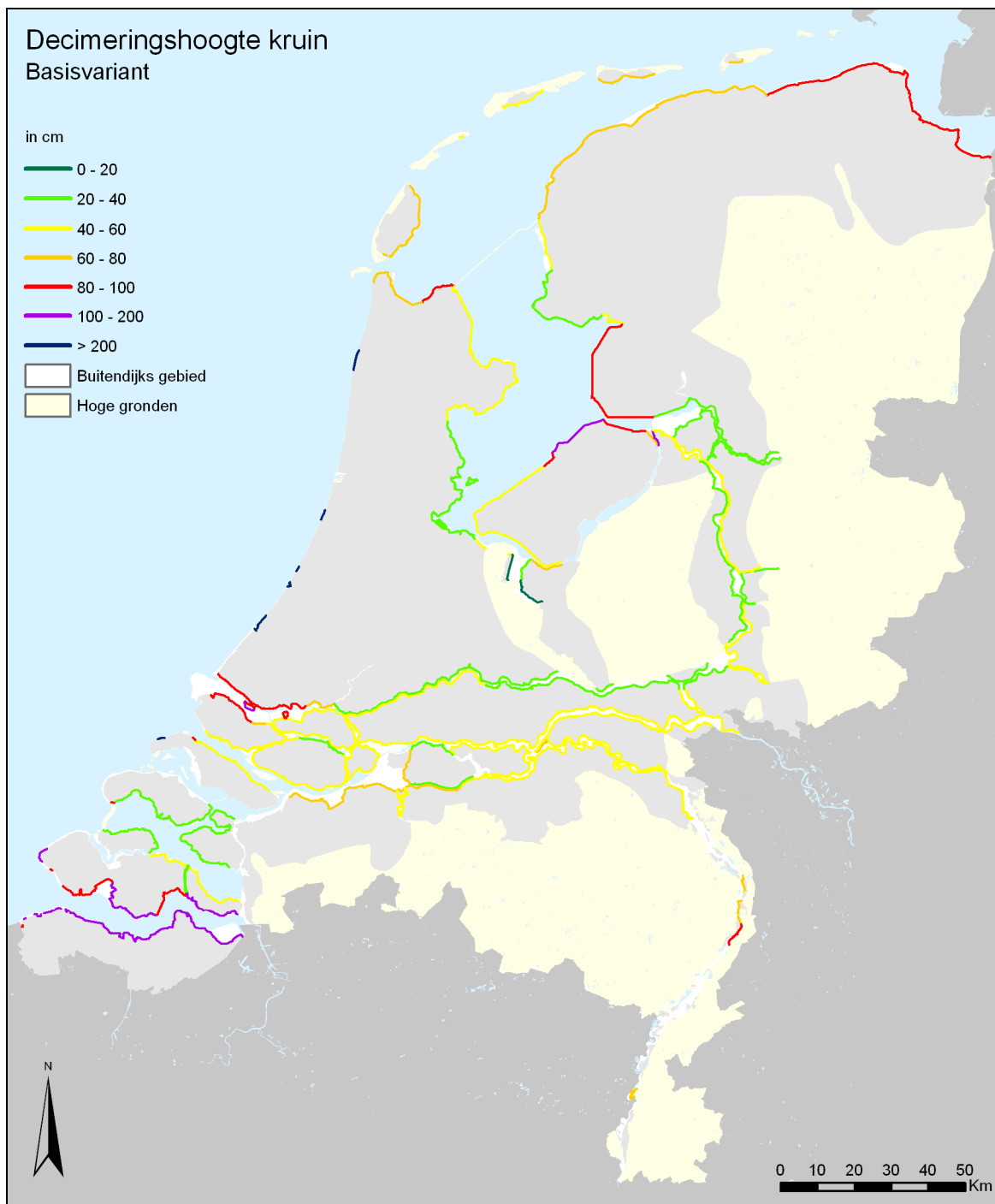
8. Ook in de tweede referentie waar het aandeel van piping in de overstromingskans groter is dan in de basisvariant, is gewerkt met de decimeringshoogte voor de kruin als maat. Hiervoor is een omrekening gebruikt (zie paragraaf 7.2.2. van het rapport van De Grave en Baarse, 2011).



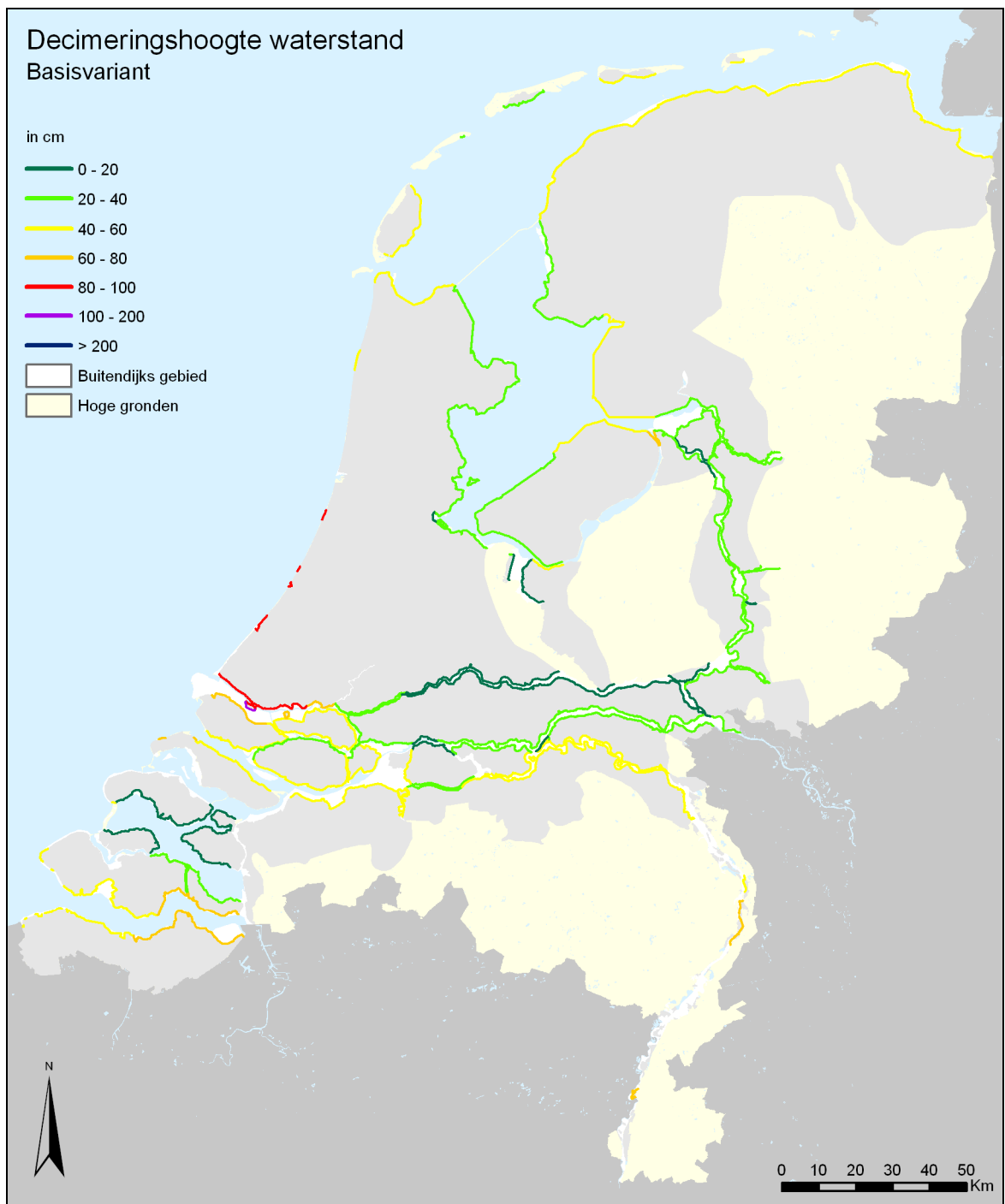
Figuur 4.1 Gemiddelde absolute waterstandstijging gebruikt in de basisvariant en tweede referentie (in cm per jaar)



Figuur 4.2 Gemiddelde relatieve waterstandstijging gebruikt in de basisvariant en tweede referentie (in cm per jaar)



Figuur 4.3 Gemiddelde decimeringshoogtes van de kruin van dijken (basisvariant) (in cm)



Figuur 4.4 Gemiddelde decimeringshoogtes van de waterstand (basisvariant) (in cm)

Voor de meeste dijkkringdelen langs de rivieren en het IJssel- en Markermeer is de decimeringshoogte voor de kruin ongeveer 20 tot 60 centimeter. Voor de dijkkringdelen aan de kust is de decimeringshoogte van de kruin groter: vaak meer dan 1 meter, en zelfs meer dan 2 meter bij de kustdijken van dijkkring 14-1 (Zuid-Holland) en 13-1 (Noord-Holland). De figuur laat ook goed zien hoe de stormvloedkering voor de Oosterschelde doorwerkt op de decimeringshoogtes van de Oosterschelde (20 tot 40 cm), door deze te vergelijken met die van de Westerschelde (80 tot 200 cm).

De decimeringshoogtes voor de waterstand zijn in het rivierengebied ongeveer 20 centimeter en langs de kust 60 tot 100 centimeter.

### 4.3 Overstromingspatroon

De omvang van de schade en aantallen slachtoffers en getroffen en getroffen zijn berekend op basis van een groot aantal overstromingsberekeningen (overstromingsscenario's) die in het kader van VNK zijn uitgevoerd. In deze overstromingsberekeningen wordt op verschillende locaties in een dijkkringdeel een bres gesimuleerd. Vervolgens wordt met modellen de instroom en verdeling van het water berekend. In WV21 zijn verschillende simulaties gebruikt die gebaseerd zijn op meer en minder extreme omstandigheden (hoogte van de rivierafvoer, duur van de stormvloed, etc.).

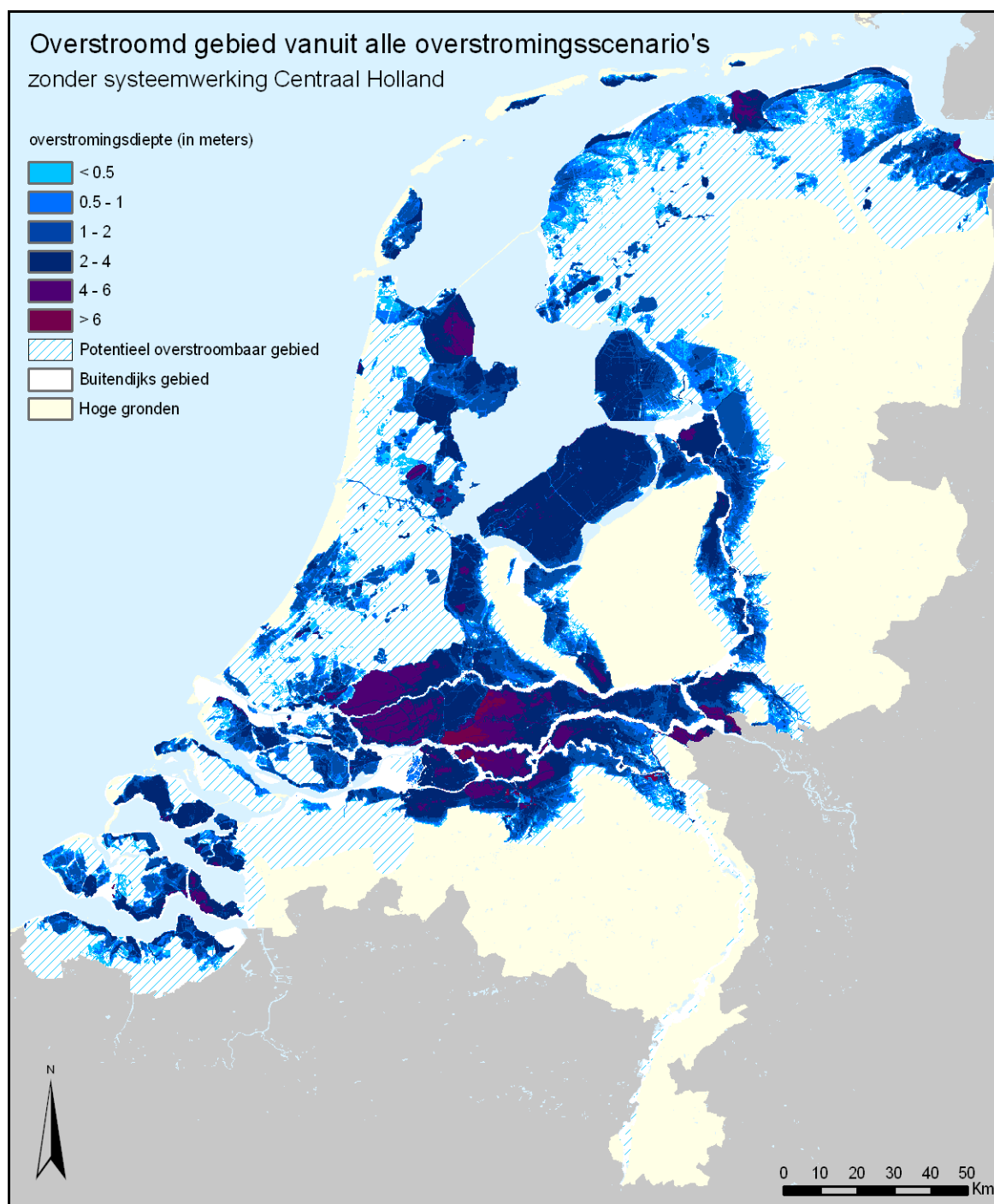
Om een beeld te geven van de overstroomde gebieden en optredende waterdieptes zijn in Figuur 4.5 de maximale waterdieptes van **alle** scenario's die voor de berekeningen van schade en slachtoffers zijn gebruikt, weergegeven. Bedacht moet worden dat dit geen realistisch of gemiddeld beeld is van een overstroming, omdat een 'gemiddelde' overstroming uit een beperkter aantal overstromingssscenario's zal bestaan.

Het overstromingsbeeld is conform de uitgangspunten voor de MKBA gebaseerd op overstromingen die alleen horen bij doorbraken van dijken (categorie A). Doorbraken van de duinen zijn in WV21 niet meegenomen. Daarnaast is er vanuit gegaan dat de (compartimenterende) C-keringen op orde zijn waardoor wordt voorkomen dat een overstroming een direct aangrenzende dijkkring bereikt. In de figuur is dit goed te zien aan de situatie in Centraal Holland. Hier zorgen de keringen langs de Hollandse IJssel en het Amsterdam-Rijnkanaal er voor dat een overstroming die ontstaat door een dijkdoorbraak langs de Nederrijn - Lek (in dijkkring 44, Kromme Rijn of 15, Lopiker en Krimpenerwaard) niet het westen van dijkkring 14 (Zuid-Holland) bereikt.

De gebieden die in de in WV21 gebruikte overstromingssscenario's niet onder water komen te staan, maar in potentie wel overstroombaar zijn, zijn in de figuur gearceerd aangegeven. Deze arcering is gebaseerd op de huidige (formele) begrenzing van de dijkkringen.

De kaart laat zien dat met name dijkkringen in het centrale deel van het rivierengebied met grote waterdieptes te maken kunnen krijgen en dat hier hele dijkkringen onder water kunnen komen te staan. Hier is het verschil tussen de maatgevende hoogwaterstanden in de rivier en de hoogte van het maaiveld groot en is er relatief lang (orde dagen) een groot volume aan water beschikbaar dat het dijkkringgebied binnen kan stromen. Ook inpolderingen van het IJsselmeer (Wieringermeerpolder, Beemster, West-Friesland, Flevoland, Noordoostpolder) en laaggelegen kleine dijkkringen in het boven- en benedenrivierengebied (bijvoorbeeld Pernis, de Alexanderpolder en stukjes bij IJsselmonde, Alem en de Ooijpolder) kunnen na een dijkdoorbraak te maken krijgen met grote waterdieptes.





Figuur 4.5 Maximale waterdiepte kaart op basis van **alle** in WV21 gebruikte overstromingsscenario's.

Langs de kust is de instroom van water vaak beperkter, omdat deze instroom vooral tijdens storm (circa één of twee dagen) plaats zal vinden en bij eb het water weer uit het gebied kan stromen. Ook zijn overstromingen hier beperkter in omvang doordat veel kustgebieden gecompartmenteerd zijn door regionale keringen of verhoogde wegen en spoorlijnen. Langs de kust zien we dan ook een kleinere omvang van de overstroomde gebieden en vaak iets geringere overstromingsdieptes.



### **Systeemwerking**

Systeemwerking treedt op als een overstroming in één dijkkring effect heeft op het overstromingsrisico in een andere dijkkring. Er zijn twee vormen van systeemwerking.

Positieve systeemwerking kan een klein reducerend effect op de kans op een overstroming hebben. Door 'positieve' systeemwerking wordt als gevolg van een dijkdoorbraak in een dijkkring andere dijkringen ontlast, doordat het water in een dijkkring stroomt en daardoor de waterstanden benedenstrooms dalen. De effecten van positieve systeemwerking zijn merendeels klein en onzeker (zie o.a. van Mierlo, 2005, 2006, 2008). Voorts is het (te) complex om deze mee te nemen in de optimalisatieberekeningen. Daarom zijn deze effecten verder buiten beschouwing gelaten.

Negatieve systeemwerking, ook aangeduid als cascade-effect, treedt vooral op in het bovenrivierengebied wanneer er 'kortsluiting' ontstaat tussen rivieren of riviertakken met een verschillende afvoercapaciteit. De effecten hiervan kunnen aanzienlijk zijn en zijn ook minder onzeker dan de positieve effecten van systeemwerking. Daarom zijn de systeemwerkingseffecten van een kortsluiting tussen de Waal en Maas en tussen de Bovenrijn en IJssel wel meegenomen. Voor de dijkkringdelen 38-1: Bommelerwaard-Waal, 40-1: Heerewaarden-Waal, 41-1: Land van Maas en Waal-Waal en 48-1: Rijn en IJssel-Boven betekent dit dat aan een doorbraak van deze dijkkringdelen niet alleen de gevolgen toegekend zijn van de direct getroffen dijkkring, maar ook die van dijkringen langs de Maas respectievelijk IJssel die als gevolg van die doorbraak ook kunnen onderlopen.

### **Berekening van verwachtingswaarden voor de schade, slachtoffers en getroffen**

In de MKBA berekeningen worden verwachtingswaarden voor de omvang van de schade en de aantallen dodelijke slachtoffers en getroffen per dijkkringdeel gebruikt als een soort van 'gemiddelde' voor de verschillende mogelijke overstromingsscenario's. Deze worden berekend uit de resultaten van de individuele doorbraakscenario's (zie De Bruijn en Van der Doef, 2011).

Voor de berekening van de verwachtingswaarde is rekening gehouden met de kans op meerdere bressen. De berekening is gebaseerd op de aanname dat er geen doorbraken ontstaan bij beneden maatgevende omstandigheden (omstandigheden waarop de dijk berekend is), één bres bij (een nipte overschrijding van de) maatgevende omstandigheden en dat het aantal bressen toeneemt bij nog extremere omstandigheden. De gevolgen worden lineair geïnterpoleerd tussen de waarde horend bij het enkelvoudige doorbraakscenario en het bovenmaatgevend scenario. De kans op het bovenmaatgevend scenario wordt tien tot honderd keer kleiner geschat dan de kans op het enkelvoudige doorbraakscenario. Voor de meeste dijkringen is er van uitgegaan dat het bovenmaatgevend scenario een tien keer kleinere kans heeft dan de enkelvoudige doorbraakscenario's samen. In dat geval kan de verwachtingswaarde berekend worden door het gewogen gemiddelde van de enkelvoudige doorbraakscenario's een gewicht van 0,6 en het bovenmaatgevend scenario een gewicht van 0,4 te geven. Voor een aantal dijkringen in het benedenrivierengebied<sup>9</sup> is er van uitgegaan dat het bovenmaatgevend scenario een kans heeft die honderd keer zo klein is als de enkelvoudige doorbraakscenario's samen. In dat geval worden de gewichten 0,8 en 0,2 (zie De Bruijn en Van der Doef, 2011). In hoofdstuk 6 is hierop gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

### **Effect van waterstandtoename op de schade**

Bij een toenemend verschil tussen het zee- of IJsselmeerpeil en de hoogte van het maaiveld zullen de gevolgen van overstromingen kunnen toenemen, ook als de dijken zodanig worden

9. Dijkkringen 9, 10, 11, 14-3, 15, 16, 17, 20-2, 20-3, 21, 22, 24, 30, 31, 34, 35.

verhoogd dat de overstromingskans gelijk blijft. Dit effect is in *OptimaliseRing* daarom gekoppeld aan de relatieve stijging van de waterstanden. Dit effect is echter beperkt: bij een toename van de waterstand met 1 meter wordt er vanuit gegaan dat de schade met maximaal 50% toeneemt (zie De Bruijn en Van der Doef, 2011). Een dergelijke toename van de waterstand wordt in ongeveer een eeuw bereikt (bij een gemiddelde toename van de waterstand met 1 centimeter per jaar, zie Figuur 4.1. Ter vergelijking: bij een gemiddelde economische groei van 1,9% per jaar zal de schade in een periode van 100 jaar met bijna een factor zes zijn toegenomen.

#### **Effect van dijkverhoging op de schade**

Bij een dijk die is verhoogd zullen de omstandigheden waaronder de dijk breekt extremer zijn (denk aan grotere afvoeren met een kleinere kans van optreden; hardere wind en hogere golven). Wanneer de dijk dan echter doorbreekt, dan kunnen de gevolgen groter zijn dan het geval zou zijn geweest bij een niet verhoogde dijk. De Bruijn en Van der Doef (2011) schatten de toename van de schade op maximaal 50% tot 100% bij een dijk die 1 meter hogere waterstanden kan keren. Daarbij hoort een overstromingskans die ongeveer een factor 10 (aan de kust) tot 1000 (bij de rivieren) kleiner is. Het effect van dijkverhoging op de omvang van schade is over het algemeen dus gering. Ook het effect van dijkverhoging op de schade is meegenomen in de MKBA.

#### **4.4 Materiële schade**

De (materiële) overstromingsschade is berekend met de schade- en slachtoffermodule van het hoogwater informatiesysteem HIS-SSM (HIS-SSM versie 2.5) (Kok et al., 2005). In deze schademodule wordt een relatie gelegd tussen de waterdiepte na een overstroming en de schade aan verschillende typen objecten en landgebruik.

De schademodule onderscheidt drie types van economische schade. Ten eerste de **directe materiële schade**. Dat is de schade die optreedt aan roerende en onroerende goederen (woningen, bedrijfsgebouwen, inboedel, voertuigen, machines, voorraden, etc.) door direct contact met water. Ten tweede de **directe schade ten gevolge van bedrijfsuitval**. Dit is het verlies aan toegevoegde waarde die ontstaat als gevolg van de productiestilstand na de overstroming. Ten slotte de **indirecte schade**. Deze bestaat uit twee posten: (a) de schade bij toeleverende en afnemende bedrijven buiten het gebied vanwege het (deels) wegvallen van omzet of toeleveringen en (b) de schade vanwege het doorsnijden van aan- en afvoerroutes. Deze laatste wordt geraamd op basis van het reistijdverlies veroorzaakt door het omrijden langs niet-overstroomde (en mogelijk zwaar overbelaste) routes.

Tabel 4.1 geeft per dijkkringdeel een overzicht van de (verwachtingswaarde van de) materiële schade per dijkkringdeel. Daaruit blijkt dat gebieden met veel schade vooral de dijkkringdelen in het rivierengebied, de Zuid-Hollandse kust en Flevoland zijn.

Tabel 4.1 Verwachtingswaarde voor de schade zoals berekend door HIS SSM per dijkkringdeel voor het jaar 2011 (prijspeil 2009)<sup>10</sup>

Nr	Naam	Schade (M euro)	Nr	Naam	Schade (M euro)
1-1	Schiermonnikoog	50	28-1	Noord-Beveland	150
2-1	Ameland	120	29-1	Walcheren-West	190
3-1	Terschelling	120	29-2	Walcheren-Oost	2 300
4-1	Vlieland	15	30-1	Zuid-Beveland-West	930
5-1	Texel	340	31-1	Zuid-Beveland-Oost	720
6-1	Friesland-Groningen-Lauwersmeer	390	32-1	Zeeuwsch Vlaanderen-West	500
6-2	Friesland-Groningen-Groningen	2 000	32-2	Zeeuwsch Vlaanderen-Oost	850
6-3	Friesland-Groningen-Noord-Friesland	1 300	34-1	West-Brabant	750
6-4	Friesland-Groningen-IJsselmeer	200	34a-1	Geertruidenberg	320
7-1	Noordoostpolder	3 300	35-1	Donge	2 600
8-1	Flevoland-Noordoost	8 400	36-1	Land van Heusden/de Maaskant	11.000
8-2	Flevoland-Zuidwest	32.000	36a-1	Keent	10
9-1	Vollenhove	1 200	37-1	Nederhemert	5
10-1	Mastenbroek	1 600	38-1	Bommelerwaard-Waal	9 400
11-1	IJsseldelta	1 200	38-2	Bommelerwaard-Maas	3 100
12-1	Wieringen	1 900	39-1	Alem	45
13-1	Noord-Holland-Noord	1 000	40-1	Heerwaarden-Waal	2 700
13-2	Noord-Holland-West-Friesland	6 700	40-2	Heerwaarden-Maas	55
13-4	Noord-Holland-Waterland	2 700	41-1	Land van Maas en Waal-Waal	9 900
13B-1	Marken	50	41-2	Land van Maas en Waal-Maas	3 100
14-1	Zuid-Holland-Kust	14.000	42-1	Ooij en Millingen	2 800
14-2	Zuid-Holland-Nieuwe Waterweg-West	400	43-1	Betuwe, Tieler- en C' waarden	18.000
14-3	Zuid-Holland-Nieuwe Waterweg-Oost	8 400	44-1	Kromme Rijn-Rijn	22.000
15-1	Lopiker- en Krimpenerwaard	13.000	44-2	Kromme Rijn-Meren	330
16-1	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden	14.000	45-1	Gelderse Vallei-Rijn	14.000
17-1	IJsselmonde	4 000	45-2	Gelderse Vallei-Meren	130
18-1	Pernis	480	46-1	Eempolder	170
19-1	Rozenburg	260	47-1	Arnhemse- en Velpsebroek	2 600
20-1	Voorne-Putten-West	1 500	48-1	Rijn en IJssel-Boven	11.000
20-2	Voorne-Putten-Midden	580	48-2	Rijn en IJssel-Beneden	5 300
20-3	Voorne-Putten-Oost	2 900	49-1	IJsselland	340
21-1	Hoekse Waard	530	50-1	Zutphen	1 600
22-1	Eiland van Dordrecht	2 600	51-1	Gorssel	170
24-1	Land van Altena	1 800	52-1	Oost Veluwe	970
25-1	Goeree-Overflakkee-Noordzee	190	53-1	Salland	5 100
25-2	Goeree-Overflakkee-Haringvliet	55	65-1	Arcen	100
26-1	Schouwen Duiveland-West	320	68-1	Venlo-Velden Noord	240
26-2	Schouwen Duiveland-Oost	830	86-1	Maasband	5
27-1	Tholen en St. Philipsland	580	87-1	Meers	120

10. Afgeronde getallen op basis van De Bruijn en Van der Doef, 2011. De getallen van De Bruijn en Van der Doef zijn geëxtrapoleerd naar waarden voor 2011 en prijspeil 2009 door deze te vermenigvuldigen met een factor 1,4. Voor dijkkringdeel 8-2 is deze factor 3,6. In deze factor zit de verwachte bovengemiddelde groei tussen 2011 en 2030 (als gevolg van de beoogde 'schaalsprong Almere') verwerkt. Dit laat toe om na 2011 voor alle dijkkringdelen met uniforme groeipercentages te rekenen, zonder dat een te kleine economisch optimale overstromingskans voor dijkkringdeel 8-2 wordt uitgerekend. Voor een nadere onderbouwing, zie bijlage D.

### Opslag voor ontbrekende schadeposten

De overstromingsschade zoals die berekend wordt door de schademodule is niet volledig. Op basis van literatuurstudies en *case studies* zijn procentuele opslagen geraamd.

Op basis van internationale ervaringen lijken in de schademodule vooral de directe schade ten gevolge van bedrijfsuitval en de indirecte schade te worden onderschat, ook als rekening gehouden wordt met substitutie van productie buiten het overstromde gebied en mogelijk ook positieve effecten van een overstroming op de langere termijn.<sup>11</sup> Deze onderschatting is vooral te wijten aan de zeer korte duur van de bedrijfsuitval die in de schademodule is aangenomen. In de schademodule ontbreken verder onder andere de kosten van hulpverlening, evacuatie en opruiming, de schade vanwege het doorsnijden van nutsleidingen en communicatieverbindingen en de schade aan landschap, natuur en cultuurhistorie.

Om aan deze tekortkomingen tegemoet te komen, is voor alle dijkringdelen de overstromingsschade zoals die is berekend met behulp van de schademodule vermenigvuldigd met een factor 1,5. De onderbouwing van deze factor is terug te vinden in Bijlage D.

Deze factor 1,5 doet mogelijk onvoldoende recht aan de schade die ontstaat als voor Nederland 'vitale' infrastructuur uitvalt. Hierbij kan gedacht worden aan het nationale belang van de energievoorziening in Groningen (gas, elektra), aan ICT knooppunten, de havens van Rotterdam, etc. Voor het opstellen van de MKBA WV21 waren er geen ramingen beschikbaar van de economische schade die na een overstroming door uitval van vitale infrastructuur ontstaat.

### Economisch groeiscenario

Vanaf 2012 wordt voor de jaarlijkse toename van de schade uitgegaan van de groeipercentages van het bruto binnenlands product (BBP) van Nederland. Hiervoor is het groeipercentage van 1,9% per jaar voor het zgn. *Transatlantic Markets* scenario overgenomen. Dit is een van de lange termijnscenario's voor de Nederlandse economie die in het kader van de studie 'Welvaart en Leefomgeving' (WLO; Huizinga en Smid, 2004) zijn opgesteld.<sup>12</sup>

## 4.5 Immateriële schade

HIS-SSM berekent ook het aantal getroffen en het aantal dodelijke slachtoffers. Het aantal getroffen (personen van wie de woning onder water komt te staan) volgt direct uit een confrontatie van het overstromingsverloop met het aantal inwoners van het gebied. Het aantal mensen dat naar verwachting komt te overlijden hangt behalve van deze twee factoren ook af van de mate van preventieve evacuatie en het gedrag en de kwetsbaarheid van de achtergebleven mensen.

Een belangrijke variabele is de evacuatiefractie, die aangeeft hoeveel mensen uit het gebied kunnen worden geëvacueerd. De door De Bruijn en Van der Doef (2011) gebruikte waarden zijn gebaseerd op een studie van Maaskant en Kolen (2009). Doorgaans wordt er van uitgegaan dat evacuatie in het westen van Nederland het minst succesvol is als gevolg van de korte voorspeltijd van stormen op zee en de ongunstige kenmerken van het gebied (laaggelegen wegen, hoge bevolkingsdichtheid). Hier zijn de aangenomen evacuatiefracties

11. *Positieve effecten treden op als na een overstroming het productieapparaat versneld wordt gemoderniseerd.*

12. *Ondanks de huidige economische en financiële crisis vormen deze vier scenario's nog steeds een actuele bandbreedte voor de mogelijke toekomstige economische ontwikkeling van Nederland (Schoor en Verkade, 2010).*

dan ook het kleinst (15%). In het rivierengebied ziet men hoogwaters daarentegen enkele dagen van te voren aankomen. Hier zijn de aangenomen evacuatiefracties daarom ook het grootst (75%).

Tabel 4.2 geeft de berekende verwachtingswaarden voor het aantal getroffen en dodelijke slachtoffers voor het jaar 2011. Uit de tabel volgt dat de dijkringdelen met het hoogste aantal verwachte dodelijke slachtoffers vooral gesitueerd zijn in het benedenrivierengebied. Dit heeft te maken met enerzijds de hoge bevolkingsdichtheid van dit gebied en anderzijds de moeilijkheid om dit gebied te evacueren.

### Monetaire waardering van slachtofferschade

In de maatschappelijke kosten-batenanalyse worden aan alle soorten slachtoffers van een overstroming (getroffenen, evacués, gewonden en dodelijke slachtoffers) geldwaarden toegekend.

Omdat de slachtoffermodule alleen het aantal getroffen en dodelijke slachtoffers berekent, zijn voor deze twee financiële kengetallen afgeleid (zie Bijlage D). In deze kengetallen worden de evacués en gewonden meegenomen door middel van onderbouwde opslagen.

Per getroffene is met een gemiddeld bedrag van 12.000 euro gerekend. Dit bedrag vertegenwoordigt de immateriële schade aan de bezittingen van de getroffen (verlies van onvervangbare bezittingen zoals souvenirs) en de persoonlijke kosten van evacuatie (ongemak, inkomensverlies,...). Het getal voor de persoonlijke kosten van evacuatie is gebaseerd op het onderzoek van Bočkarjova et al. (2009abc) en een gemiddelde verhouding van 5 evacués per getroffene. Door preventieve evacuatie is immers de frequentie en daardoor het aantal evacuatie groter dan het aantal overstromingen en het totaal aantal evacués groter dan het aantal getroffen. Een aanpassing van de beschermingsnorm zal daarom niet alleen leiden tot een andere kans om getroffen te worden door een overstroming, maar ook tot een andere kans om – achteraf bezien wellicht ‘onnodig’ – preventief geëvacueerd te worden.

Voor dodelijke slachtoffers is een bedrag van 6,7 miljoen euro per persoon gebruikt. Hierin zijn inbegrepen 5 gewonden per dodelijk slachtoffer. Het grootste deel van het bedrag van 6,7 miljoen euro wordt vertegenwoordigd door de immateriële schade van een dodelijk slachtoffer, in de literatuur de ‘waarde van een statistisch mensenleven’ of ‘value of a statistical life’ (VOSL) genoemd. In feite gaat om het om de waarde die mensen hechten aan een vermindering van de kans om voortijdig ten gevolge van een bepaald voorval (*in casu* een overstroming) te overlijden.

Het bedrag van 6,7 miljoen euro per dodelijk slachtoffer is eveneens gebaseerd op het onderzoek van Bočkarjova et al. (2009abc), die onderzoek heeft gedaan naar deze waarderingen in de context van waterveiligheid.

De in geld gewaardeerde slachtofferschade vertegenwoordigt gemiddeld 30% van de totale schade. Voor individuele dijkringdelen kan dit percentage sterk afwijken. In het kustgebied en langs het IJsselmeer is het aandeel van de slachtoffergerelateerde schade doorgaans iets lager (gemiddeld 20%). Ook voor de meeste dijkringdelen van het bovenrivierengebied worden waarden van rond 20% berekend. In het benedenrivierengebied is het aandeel van de slachtoffergerelateerde schade dan weer beduidend groter (gemiddeld 40%, met een uitschieter van 80% voor dijkkring 18-1: Pernis). Zeeland vertoont een zeer gevarieerd beeld. Het aandeel van de slachtoffergerelateerde schade varieert van 15% in het westen van Zeeuws-Vlaanderen (dijkkringdeel 32-1) tot 50% in Zuid-Beveland-Oost (dijkkringdeel 32-2).

Tabel 4.2 Verwachtingswaarde voor het aantal getroffen en dodelijke slachtoffers in 2011<sup>13</sup>

Nr	Naam	Aantal Ge- troffen	Aantal Slacht- offers	Nr	Naam	Aantal Ge- troffen	Aantal Slacht- offers
1-1	Schiermonnikoog	730	<5	28-1	Noord-Beveland	2 300	5
2-1	Ameland	1 900	<5	29-1	Walcheren-West	5 500	5
3-1	Terschelling	1 300	<5	29-2	Walcheren-Oost	49 000	180
4-1	Vlieland	470	<5	30-1	Zuid-Beveland-West	14 000	180
5-1	Texel	5 100	5	31-1	Zuid-Beveland-Oost	5 500	130
6-1	Friesland-Groningen-Lauwersmeer	3 500	5	32-1	Zeeuwsch Vlaanderen-West	3 700	10
6-2	Friesland-Groningen-Groningen	43 000	40	32-2	Zeeuwsch Vlaanderen-Oost	17 000	110
6-3	Friesland-Groningen-Noord-Friesland	35 000	25	34-1	West-Brabant	3 600	15
6-4	Friesland-Groningen-IJsselmeer	4 500	<5	34a-1	Geertruidenberg	7 500	30
7-1	Noordoostpolder	40 000	95	35-1	Donge	41 000	210
8-1	Flevoland-Noordoost	100 000	310	36-1	Land v Heusden/de Maaskant	180 000	220
8-2	Flevoland-Zuidwest	260 000	810	36a-1	Keent	65	5
9-1	Vollenhove	23 000	20	37-1	Nederhemert	30	<5
10-1	Mastenbroek	21 000	80	38-1	Bommelerwaard-Waal	97 000	190
11-1	IJsseldelta	27 000	40	38-2	Bommelerwaard-Maas	43 000	65
12-1	Wieringen	11 000	40	39-1	Alem	480	15
13-1	Noord-Holland-Noord	29 000	75	40-1	Heerewaarden-Waal	49 000	65
13-2	Noord-Holland-West-Friesland	160 000	220	40-2	Heerewaarden-Maas	1 200	5
13-4	Noord-Holland-Waterland	76 000	60	41-1	Land van Maas en Waal-Waal	180 000	200
13b-1	Marken	1 700	<5	41-2	Land van Maas en Waal-Maas	54 000	60
14-1	Zuid-Holland-Kust	400 000	860	42-1	Ooij en Millingen	41 000	100
14-2	Zuid-Holland-Nieuwe Waterweg-West	6 100	5	43-1	Betuwe, Tieler- en C'waarden	220 000	340
14-3	Zuid-Holland-Nieuwe Waterweg-Oost	130 000	3 100	44-1	Kromme Rijn-Rijn	480 000	360
15-1	Lopiker- en Krimpenerwaard	170 000	1 100	44-2	Kromme Rijn-Meren	5 700	5
16-1	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden	160 000	2 500	45-1	Gelderse Vallei-Rijn	260 000	300
17-1	IJsselmonde	90 000	590	45-2	Gelderse Vallei-Meren	5 600	<5
18-1	Pernis	4 500	700	46-1	Eempolder	9 000	5
19-1	Rozenburg	15 000	15	47-1	Arnhemse- en Velpsebroek	34 000	150
20-1	Voorne-Putten-West	41 000	110	48-1	Rijn en IJssel-Boven	170 000	360
20-2	Voorne-Putten-Midden	16 000	45	48-2	Rijn en IJssel-Beneden	98 000	130
20-3	Voorne-Putten-Oost	67 000	570	49-1	IJsselland	4 100	5
21-1	Hoekse Waard	11 000	40	50-1	Zutphen	33 000	30
22-1	Eiland van Dordrecht	40 000	310	51-1	Gorssel	4 800	<5
24-1	Land van Altena	27 000	170	52-1	Oost Veluwe	22 000	10
25-1	Goeree-Overflakkee-Noordzee	4 400	5	53-1	Salland	91 000	200
25-2	Goeree-Overflakkee-Haringvliet	1 200	<5	65-1	Arcen	2 300	5
26-1	Schouwen Duiveland-West	4 100	10	68-1	Venlo-Velden Noord	12 000	10
26-2	Schouwen Duiveland-Oost	11 000	50	86-1	Maasband	130	<5
27-1	Tholen en St. Philipsland	8 700	65	87-1	Meers	1 400	25

13. Afgeronde getallen op basis van De Bruijn en Van der Doef, 2011. De getallen van De Bruijn en Van der Doef zijn geëxtrapoleerd naar waarden voor 2011 door deze te vermenigvuldigen met een factor 1,05. Voor dijkkringdeel 8-2 is deze factor 1,8. In deze factor zit de verwachte bovengemiddelde groei tussen 2011 en 2030 (als gevolg van de beoogde 'schaalsprong Almere') verwerkt. Dit laat toe om na 2011 voor alle dijkkringdelen met uniforme groeipercentages te rekenen, zonder dat een te kleine economisch optimale overstromingskans voor dijkkringdeel 8-2 wordt uitgerekend. Voor een nadere onderbouwing, zie verder bijlage D.

### Groepsrisico in de MKBA

Bij vraagstukken rondom externe veiligheid is het gebruikelijk om een ongeval met veel slachtoffers in één keer zwaarder te wegen dan een zelfde aantal slachtoffers verspreid over meerdere ongevallen. In dit kader wordt gesproken van 'groepsrisico'. In de MKBA is groepsrisico niet aanvullend op de al monetair gewaarde slachtofferschade meegenomen. Er zijn vanuit de economische literatuur onvoldoende aanwijzingen dat het (vanuit een welvaartseconomisch perspectief) inderdaad 'erger' zou zijn als een groep slachtoffers in één keer overlijdt dan een zelfde aantal verspreid over meerdere voorvallen.

Wel kunnen er schadekosten van een overstroming zijn die meer dan lineair toenemen naarmate de ramp groter is. De kosten van evacuatie zouden bijvoorbeeld op een niet-lineaire wijze kunnen toenemen met de omvang van de ramp. Iets vergelijkbaars geldt voor de kosten van medische hulp. Zo moesten er na de brand in Volendam slachtoffers tot in Luik worden opgevangen. Deze kosten zouden idealiter op deze manier in de raming van de schade moeten worden meegenomen, maar vormen geen onderdeel van 'groepsrisico'.

Technisch gezien zou groepsrisico in de MKBA kunnen worden meegenomen door de waardering van slachtoffers te koppelen aan het verwachte aantal slachtoffers: hoe meer slachtoffers, hoe hoger de waardering per slachtoffer. Bij de ontwikkeling van *OptimaliseRing* is in deze mogelijkheid ook voorzien, maar van het gebruik hiervan is uiteindelijk afgezien vanwege het ontbreken van een economische onderbouwing.

### Groei van de immateriële schade

Voor de in geld gewaardeerde slachtofferschade wordt er, net als bij de materiële schade, van uitgegaan dat deze na 2011 met hetzelfde percentage groeit als het bruto binnenlands product (BBP). In de basisvariant is dat 1,9% per jaar. Dat is plausibel: wanneer er vanuit gegaan wordt dat de waardering van de immateriële schade per persoon evenredig toeneemt met de groei van het inkomen per hoofd, dan zal de groei van de totale immateriële schade gelijk zijn aan de groei van het BBP.<sup>14</sup>

## 4.6 Risicowaardering en de discontovoet

### Risico in financieel-economische zin

Het begrip *risico* wordt in financieel-economische zin vaak opgevat als de onzekerheid over de uitkomsten van een project. Daarbij gaat het in het bijzonder om de spreiding van uitkomsten rondom een verwachte waarde (Ministerie van Financiën en Centraal Planbureau, 2003).

Bij de MKBA WV21 spelen diverse onzekerheden en risico's een rol. Vooral relevant zijn:

- 1 de onzekerheid over het tempo van de klimaatverandering;
- 2 het macro-economische risico, en
- 3 het spreidingsrisico vanuit een individueel perspectief.

### Onzekerheid ten aanzien van klimaatverandering

De onzekerheid over het tempo van klimaatverandering is in de MKBA WV21 meegenomen door uit te gaan van het hoge (W+) klimaatscenario van het KNMI. Dit is in lijn met de aanwijzingen in het Nationaal Waterplan. Op de hoogte van de economisch optimale

---

14. De groei van het BBP per hoofd maal de bevolkingsgroei is immers gelijk aan de groei van het BBP.

overstromingskans heeft de keuze voor een van de klimaatscenario's overigens nauwelijks effect, zoals ook de gevoeligheidsanalyses in hoofdstuk 6 laten zien.

### Macro-economisch risico

Het macro-economisch risico komt voort uit economie-brede schokken. Het macro-economisch risico is voor de MKBA WV21 van belang omdat in de MKBA rekening wordt gehouden met economische groei. Hierdoor neemt ook de schade als gevolg van een overstroming toe. Uitgaande van een gemiddelde reële economische groei van 1,9% per jaar (conform het *Transatlantic Market* scenario uit de WLO-studie) neemt de schade in het jaar 2050 ten opzichte van de huidige schade ongeveer met een factor 2 toe. Wanneer de economie echter in een langdurige recessie terecht komt, dan zal de schade minder hard toenemen en zullen de baten van hoogwaterbescherming (de vermeden schade) uiteindelijk minder hoog zijn dan oorspronkelijk geraamd. Hierdoor wordt er vanuit economisch oogpunt 'te veel' in hoogwaterbescherming geïnvesteerd. Ook veel andere projecten zullen minder baten opleveren ten tijde van een recessie. Het macro-economisch risico is daardoor niet door spreiding (bijv. op de aandelenmarkt of via belastingheffing) te ondervangen.

De gangbare praktijk in Nederland is om het macro-economische risico in KBA's te waarderen via de discontovoet. Per definitie is deze discontovoet gelijk aan de som van de reële risicovrije discontovoet en een risico-opslag.<sup>15</sup> Het Kabinet heeft de reële risicovrije discontovoet vastgesteld op 2,5%.<sup>16</sup> De standaard risico-opslag voor het macro-economische risico's is 3%, zodat de discontovoet voor de meeste projecten in Nederland 5,5% bedraagt.

Een lagere risico-opslag op de discontovoet mag worden gehanteerd voor *projecteffecten* die kunnen worden beschouwd als een 'verzekering' tegen een ongewenste situatie. Voor grotere projecten kan een aangepaste risico-opslag worden bepaald door middel van aanvullend, projectspecifiek onderzoek. Voor kleinere projecten waarin langetermijn-omkeerbaarheden spelen, mag voor specifieke projecteffecten de standaard risico-opslag van 3% worden gehalveerd.<sup>17</sup>

Tijdens de uitvoering van de MKBA WV21 is projectspecifiek onderzoek gestart naar de bepaling van de discontovoet in het geval van investeringen in hoogwaterbescherming (Aalbers en Broer, in voorbereiding). Dit onderzoek heeft binnen de voor de MKBA WV21 beschikbare tijd echter nog niet tot een voor de MKBA bruikbaar resultaat geleid.

Het hanteren van de regel voor 'kleinere projecten' lijkt in het kader van de MKBA WV21 niet de meest geëigende wijze om het verzekeringskarakter (het verminderen van het spreidingsrisico rondom de verwachte schade) van hoogwaterbeschermingsprojecten te waarderen. Toepassing van deze regel zou kunnen leiden tot een verlaging van de risico-opslag op de discontovoet voor dat deel van de (vermeden) schade dat niet wordt vergoed door de overheid. De schade die wel vergoed wordt door de overheid is als het ware al 'verzekerd'<sup>18</sup> en komt daarmee niet voor een verlaging van de discontovoet in aanmerking. Het gebruik van een lagere disconteringsvoet voor de schade leidt er toe dat toekomstige baten hoger worden gewaardeerd dan toekomstige kosten. Maar dit leidt er ook toe dat risicoaversie nauwelijks of niet zichtbaar wordt in de eerste jaren van de MKBA. Dat is, zeker in het kader van deze dynamische MKBA naar optimale beschermingsniveaus tegen overstromingen in de tijd, ongewenst. Risicoaversie speelt in het geval van

<sup>15</sup> Brief aan de Tweede Kamer, 14 november 2003, Kamerstuk 29 352, nr. 1.

<sup>16</sup> Brief aan de Tweede Kamer, 8 maart 2007, Kamerstuk 29 352, nr. 3.

<sup>17</sup> Brief aan de Tweede Kamer, 11 september 2009, Kamerstuk 29 352, nr. 4.

<sup>18</sup> We gaan er van uit dat de overheid zelf risiconutraal is. De overheid kan de schade over een groot aantal belastingbetalers spreiden en ook in de tijd.



hoogwaterbescherming namelijk niet alleen op de langere termijn een rol, maar ook bij de waardering van de huidige overstromingsrisico's. Daarom is, in overleg met vertegenwoordigers van de ministeries van I&M, Financiën en het CPB, er voor gekozen om de risico-opslag op de discontovoet voor de schade niet te verlagen, maar om risicoaversie op een andere wijze in de MKBA mee te nemen. In de MKBA WV21 is dus uitgegaan van een discontovoet van 5,5%.

### **Waarderen van het spreidingsrisico via een opslag op de materiële schade**

De belangrijkste bron van onzekerheid in de uitkomsten van een hoogwaterbeschermingsproject is de onzekerheid rondom de in de MKBA berekende verwachte schade (kans maal schade). Deze onzekerheid dient afzonderlijk te worden geprijsd vanwege de risicoafkeer van individuen. Het principe is eenvoudig toe te lichten: individuen hebben liever een zeker inkomen van 30.000 euro per jaar dan een 50%-50% kans op een inkomen van 10.000 euro per jaar en een inkomen van 50.000 euro per jaar. Hoewel de verwachte waarde van het inkomen in beide gevallen gelijk is, namelijk 30.000 euro, geven mensen toch de voorkeur aan het zekere inkomen. Analoog aan dit voorbeeld wordt in de MKBA WV21 gerekend met de verwachte overstromingsschade die is opgebouwd uit een kleine overstromingskans en een grote schade. De spreiding rondom de verwachte overstromingsschade is echter veel groter dan in het voorbeeld met het jaarinkomen: bijvoorbeeld een kans van 0,1% per jaar op een schade van 50.000 euro per huishouden en een kans van 99,9% per jaar op een schade van 0 euro. De verwachtingswaarde van de schade is in dit voorbeeld 50 euro per huishouden per jaar. Maar risicoaverse huishoudens zullen bereid zijn om meer dan 50 euro per jaar te betalen als daarmee het risico kan worden geëlimineerd.

Het spreidingsrisico rondom de verwachte schade kan worden gewaardeerd door uit te gaan van een eenvoudig (standaard) nutsmodel. Dit model is uitvoeriger beschreven in Bijlage D. Wanneer de risicopremie gedefinieerd wordt als een procentuele opslag op de (materiële) schade<sup>19</sup>, dan blijkt deze afhankelijk te zijn van slechts twee factoren: de mate van relatieve risicoaversie en het procentuele verlies aan consumptie van het huishouden, nadat deze van de overheid compensatie heeft ontvangen.

Bijlage D laat zien dat bij enkele plausibele aannames (een constante relatieve risicoaversie van 4, huishoudens verliezen 50% van hun goederen waarvan 75% vervolgens door de overheid wordt vergoed) de risicopremie 8% van de materiële schade bedraagt.

De hoogte van de risicopremie is sterk gevoelig voor een aantal aannames. Wanneer de overheid 50% in plaats van 75% van de schade zou vergoeden, dan neemt de opslag op de totale materiële schade toe tot 40%. Wanneer huishoudens alles verliezen en de overheid vergoedt 50% van de schade, dan bedraagt de opslag op de materiële schade 180%. Dergelijk hoge risicopremies zijn consistent met gangbare risicopremies die gevonden worden in de literatuur over overstromingsrisicoverzekeringen. Het is dus belangrijk om te beseffen dat de economisch optimale overstromingskansen erg gevoelig zijn voor de omvang van de schade per huishouden en de veronderstelling over de mate waarin de overheid huishoudens compenseert voor overstromingsschade.

Van de totale materiële schade is gemiddeld 70% voor huishoudens en 30% voor bedrijven en overheid. Ook van (met name kleine en middelgrote) bedrijven mag verwacht worden dat deze risicoavers zijn en dat ook op de schade een risicopremie moet worden gehanteerd. In

<sup>19</sup> De kengetallen voor immateriële schade zijn tot stand gekomen via directe keuze-experimenten met respondenten. Hierbij stonden vragen rondom de betalingsbereidheid voor een afname van de overstromingskansen steeds centraal. In deze kengetallen zit daarom risicoaversie reeds impliciet verwerkt. Daarom wordt op de immateriële schade geen risicopremie gehanteerd.

de berekeningen is daarom een risicopremie (opslag) van afgerond 10% op de materiële schade gebruikt.<sup>20</sup>

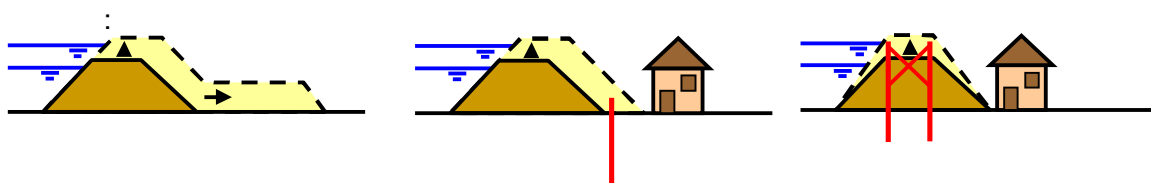
#### 4.7 Kosten

In de MKBA wordt gebruik gemaakt van kostenfuncties voor dijkversterking (zie De Grave en Baarse, 2011). Deze kostenfuncties beschrijven het verband tussen investeringskosten en de verhoging van de kruin.<sup>21</sup> De kostenberekeningen zijn uitgevoerd volgens de Standaard Systematiek Kostenramingen (SSK en PRI) die binnen het ministerie van I&M algemeen wordt toegepast.

De kostenfuncties zijn gebaseerd op een reeks discrete kostenramingen en zijn zo afgeleid dat deze het beste aansluiten op de ramingen voor een verhoging van de dijk tot twee maal de decimeringshoogte. Daarmee wordt een 100 keer kleinere kans bereikt. De kunstwerken (sluizen, coupures, gemaal, etc.) en andere constructieve elementen in de keringen (bijv. keermuren) zijn apart geïnventariseerd en geraamd. Bij het ramen van de kosten is gebruik gemaakt van de kennis van adviesbureaus en informatie over dijkprofielen die zijn aangeleverd door de waterkeringbeheerders.

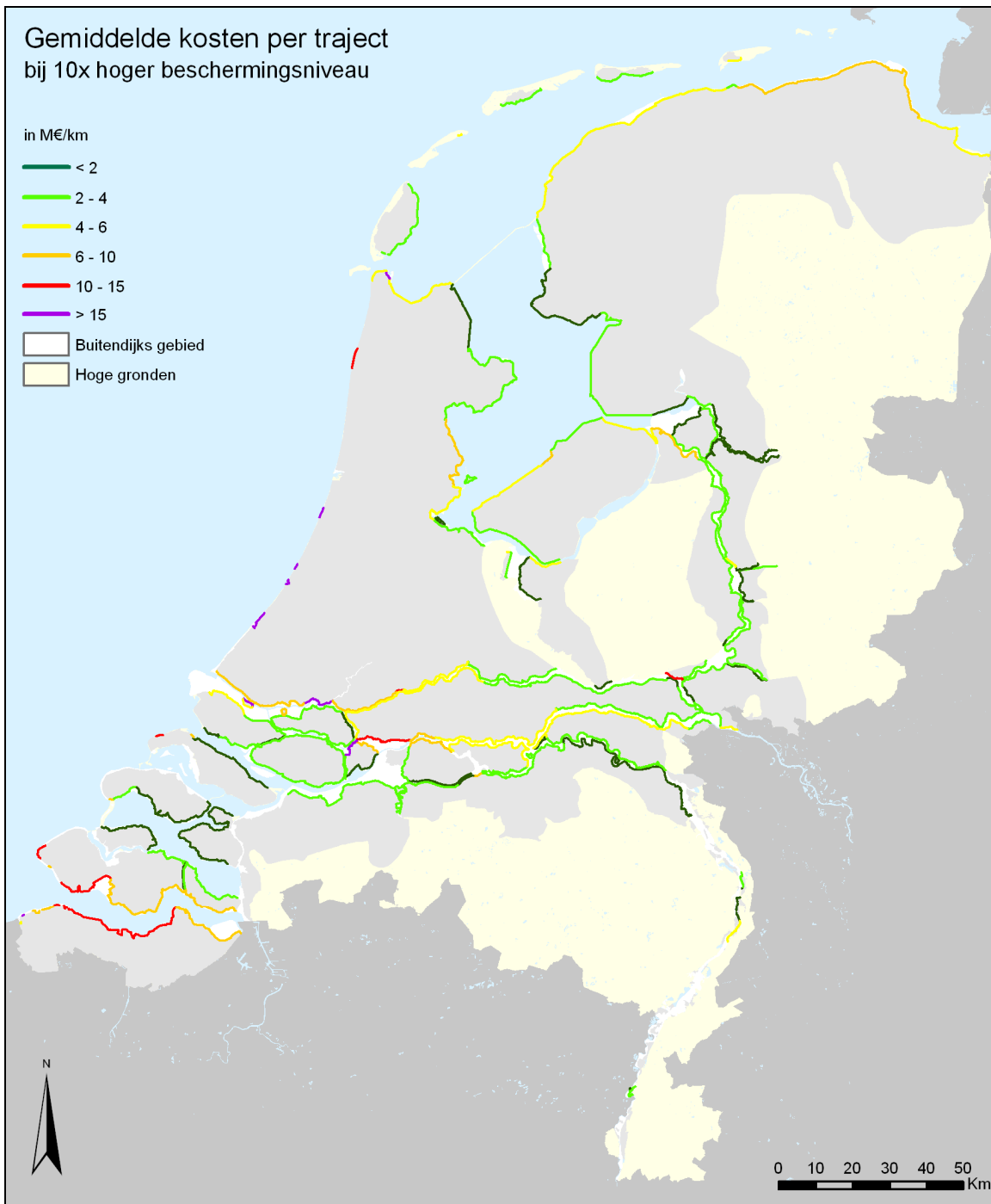
Bij het ramen van de kosten zijn diverse uitgangspunten gehanteerd. De belangrijkste zijn dat er (i) geen rekening gehouden is met eventueel aanwezige overhoogte en -sterkte (zie ook paragraaf 4.2); (ii) de ontwerpen zodanig zijn dat de omgeving zo min mogelijk wordt aangetast en (iii) dat de waterkering na de verhoging dezelfde functies kent als voor de verhoging. Voor de basisvariant zijn de benodigde versterkingsmaatregelen bepaald vanuit de huidige ontwerpfilosofie. Voor de tweede referentie zijn voor het ontwerp van maatregelen nieuwe inzichten vanuit VNK gebruikt.

Voor 'reguliere' dijkversterking is globaal het volgende schema gevolgd. De uitgangssituatie is een grondlichaam. Allereerst is gekeken naar een oplossing volledig in grond. Hierbij is niet alleen de benodigde hoogte maar ook het benodigde ruimtebeslag in beeld gebracht. Als de beschikbare ruimte beperkt is, zijn er meer constructieve en dus duurdere maatregelen genomen. Dit wordt binnen het kostenspoor aangeduid met de zogenaamde 'verdringingsreeks'.



Figuur 4.6 Voorbeeld maatregelen dijkversterking bij afname van de beschikbare ruimte. Links volledig in grond, midden kwelscherm, rechts kistdam.

20. De opslag van 10% vanwege risicooversie komt bovenop de opslag op de materiële schade van 50% vanwege de ontbrekende schadeposten (zie paragraaf 4.4). De totale opslag op de materiële schade is daarmee 60% en de vermenigvuldigingsfactor voor de materiële schade die in de berekeningen is gebruikt, is 1,6.
21. In de tweede referentie zijn in een aantal dijkeringen in eerste instantie pipingreducerende maatregelen (verbreding) nodig om de overstromingskans te verlagen. Hiertoe is de verbreding omgerekend in een soort 'fictieve' kruinverhoging. Zie verder paragraaf 7.2.2 van De Grave en Baarse, 2011.



Figuur 4.7 Gemiddelde kosten van de versterking van waterkeringen (dijken en kunstwerken) met één decimeringshoogte (in miljoen euro per km, prijspeil 2009, exclusief BTW) (basisvariant)

In Figuur 4.7 worden voor de verschillende trajecten de gemiddelde kosten per strekkende kilometer van een verhoging van de dijken met één decimeringshoogte volgens de basisvariant weergegeven. Dat zijn de kosten die nodig zijn om de kans van de dijken in één keer met een factor 10 te verkleinen. Uit de berekeningen met *OptimaliseRing* en in de praktijk blijkt dit een redelijke optimale omvang van een dijkverhoging te zijn. Deze gemiddelde kosten zijn inclusief de per kilometer omgerekende kosten van in de trajecten gelegen kunstwerken. Uit de figuur blijkt dat de kosten van een verhoging met één

decimeringshoogte vooral oplopen als de decimeringshoogte groot is (vergelijk met Figuur 4.3) of als de waterkering gesitueerd is in een dichtbebouwd gebied. Daardoor zijn de kosten vooral hoog langs de kust en de Westerschelde en in het benedenrivierengebied (dichte bebouwing). Langs de Oosterschelde, waar de vroegere zee-arm is afgedamd, zijn de kosten juist relatief laag als gevolg van de kleine decimeringshoogtes. Ook langs de IJssel en de Maas zijn de kosten relatief laag.

Tabel 4.3 geeft ook de totale kosten per dijkkringdeel voor een verkleining van de overstromingskans met een factor 10, voor zowel de basisvariant als voor de tweede referentie. Voor de basisvariant is dat gelijk aan een versterking met één decimeringshoogte over de volle lengte. Voor de tweede referentie is gebruik gemaakt van een omrekening van de kosten voor piping naar een equivalent in hoogte (zie De Grave en Baarse, 2011).

Zoals de tabel laat zien, zijn de totale kosten voor een 10 keer kleinere overstromingskans het hoogste voor dijkkring 16 (Alblasserwaard en Vijfheerenlanden) als gevolg van de grote lengte van dit dijkkringdeel (86 kilometer) in combinatie met hoge gemiddelde kosten per kilometer. Ook de kosten voor dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) zijn hoog als gevolg van de grote lengte aan dijken (170 kilometer) die nodig zijn om deze dijkkring te beschermen. Ook voor dijkkring 6 (Friesland en Groningen), dijkkring 13 (Noord-Holland), dijkkring 14 (Zuid-Holland) en dijkkringdeel 32-2 (Zeeuwsch-Vlaanderen-Oost) zijn de kosten hoog.

De kosten om de overstromingskans met een factor 10 te verkleinen zijn als gevolg van het meenemen van de nieuwe inzichten in piping voor de tweede referentie gemiddeld 20% groter dan die voor de basisvariant. Het verschil in kosten tussen beide referenties is voor het rivierengebied het grootst: van de 14 dijkkringen waarvoor de kosten van de tweede referentie meer dan 40% groter zijn dan die in de basisvariant (aangegeven met vet in de tabel), liggen er 12 in het rivierengebied.<sup>22</sup>

### **Beheer en onderhoud**

Behalve de investeringskosten zijn ook de extra jaarlijkse kosten van beheer en onderhoud meegenomen die het verhogen van de kering met zich meebrengen.<sup>23</sup> Deze zijn geraamd als een percentage van de investeringskosten (0,1% tot 0,6%, afhankelijk van de maatregelen die nodig zijn).

- 
22. *De kosten voor de tweede referentie zijn ongeveer een jaar later geraamd dan die voor de basisvariant. In de tussentijd zijn kleine onvolkomenheden in het kosteninstrumentarium aan het licht gekomen. Over het algemeen leidt dat tot geringe verschillen in de kostenramingen, behalve voor dijkkring 5: Texel. Hier wordt het verschil in kosten tussen de basisvariant en de tweede referentie niet verklaard door nieuwe inzichten in piping maar door verbeteringen in het gebruikte kosteninstrumentarium.*
23. *Het gaat hier om de extra kosten van beheer en onderhoud van de opgehoogde dijk ten opzichte van een niet opgehoogde dijk, en niet om de totale kosten van beheer en onderhoud van de dijk. Wanneer de totale kosten van beheer en onderhoud in rekening zouden worden gebracht, dan zou ook rekening gehouden moeten worden dat bij het uitblijven van dit beheer en onderhoud de overstromingskans toeneemt, ook bij gelijkblijvende waterstanden. Dat maakt de analyse onnodig complex. Verondersteld wordt dus dat altijd een basisinspanning gepleegd zal worden om de waterkering te beheren en onderhouden.*

**Tabel 4.3** Kosten voor het verkleinen van de overstromingskans met een factor 10 per dijkkringdeel voor zowel de basisvariant als de tweede referentie (kosten ex BTW, prijspeil 2009)<sup>24</sup>  
Met **vet** is aangegeven waar de kosten van de tweede referentie meer dan 40% groter zijn dan die in de basisvariant.

Nr	Naam	Basis variant	Tweede Ref.	Nr	Naam	Basis variant	Tweede Ref.
1-1	Schiermonnikoog	16	18	28-1	Noord-Beveland	33	36
2-1	Ameland	62	69	29-1	Walcheren-West	68	81
3-1	Terschelling	43	49	29-2	Walcheren-Oost	167	182
4-1	Vlieland	6	7	30-1	Zuid-Beveland-West	287	326
5-1	Texel	78	<b>119</b>	31-1	Zuid-Beveland-Oost	217	261
6-1	Friesland-Groningen-Lauwersmeer	72	78	32-1	Zeeuwsch-Vlaanderen-West	246	279
6-2	Friesland-Groningen-Groningen	525	580	32-2	Zeeuwsch-Vlaanderen-Oost	450	513
6-3	Friesland-Groningen-NoordFriesland	309	353	34-1	West-Brabant	118	<b>200</b>
6-4	Friesland-Groningen-IJsselmeer	117	142	34a-1	Geertruidenberg	31	32
7-1	Noordoostpolder	165	172	35-1	Donge	77	<b>120</b>
8-1	Flevoland-Noordoost	177	239	36-1	Land v Heusden/de Maaskant	213	276
8-2	Flevoland-Zuidwest	200	206	36a-1	Keent	7	6
9-1	Vollenhove	84	87	37-1	Nederhemert	4	4
10-1	Mastenbroek	109	<b>168</b>	38-1	Bommelerwaard-Waal	133	172
11-1	IJsseldelta	171	181	38-2	Bommelerwaard-Maas	82	86
12-1	Wieringen	86	88	39-1	Alem	16	<b>27</b>
13-1	Noord-Holland-Noord	204	249	40-1	Heerwaarden-Waal	9	<b>13</b>
13-2	Noord-Holland-West-Friesland	233	271	40-2	Heerwaarden-Maas	28	24
13-4	Noord-Holland-Waterland	231	258	41-1	Land van Maas en Waal-Waal	169	<b>260</b>
13b-1	Marken	22	22	41-2	Land van Maas en Waal-Maas	166	163
14-1	Zuid-Holland-Kust	313	313	42-1	Ooij en Millingen <sup>1)</sup>	190	<b>288</b>
14-2	Zuid-Holland-Nieuwe Waterweg-West	32	39	43-1	Betuwe, Tieler- en C'waarden	584	<b>851</b>
14-3	Zuid-Holland-Nieuwe Waterweg-Oost	374	348	44-1	Kromme Rijn-Rijn	82	82
15-1	Lopiker- en Krimpenerwaard	332	355	44-2	Kromme Rijn-Meren	54	71
16-1	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden	663	768	45-1	Gelderse Vallei-Rijn	11	14
17-1	IJsselmonde	191	<b>296</b>	45-2	Gelderse Vallei-Meren	71	70
18-1	Pernis	48	47	46-1	Eempolder	38	38
19-1	Rozenburg	84	91	47-1	Arnhemse- en Velpsebroek	94	103
20-1	Voorne-Putten-West	97	100	48-1	Rijn en IJssel-Boven <sup>1)</sup>	233	305
20-2	Voorne-Putten-Midden	41	55	48-2	Rijn en IJssel-Beneden	80	<b>116</b>
20-3	Voorne-Putten-Oost	46	<b>77</b>	49-1	IJsselland	82	92
21-1	Hoekse Waard	165	224	50-1	Zutphen	32	35
22-1	Eiland van Dordrecht	242	293	51-1	Gorssel	37	45
24-1	Land van Altena	156	175	52-1	Oost Veluwe	173	203
25-1	Goeree-Overflakkee-Noordzee	31	36	53-1	Salland	164	<b>282</b>
25-2	Goeree-Overflakkee-Haringvliet	36	<b>78</b>	65-1	Arcen	15	15
26-1	Schouwen-Duiveland-West	23	26	68-1	Venlo-Velden Noord	52	57
26-2	Schouwen-Duiveland-Oost	53	54	86-1	Maasband	3	4
27-1	Tholen en St. Philipsland	70	82	87-1	Meers	13	15
Totaal						10438	12557

<sup>1)</sup>Inclusief de Duitse delen van deze dijkkring.

24. Bron: De Grave en Baarse, 2011.

**'Bouwrente'**

In de MKBA berekeningen is een toeslag van 11% (5,5% gedurende 2 jaar) op de investeringskosten gehanteerd als een soort 'bouwrente'. Dit is nodig omdat in de modelberekeningen geen rekening gehouden wordt met de uitvoeringstermijn van de dijkversterkingen. In werkelijkheid is de uitvoeringstermijn voor dijkversterkingsprojecten enkele jaren. In deze periode kosten de projecten wel geld maar leveren ze weinig of geen extra veiligheid op. De bouwrente is uitsluitend in de berekeningen van de economisch optimale beschermingsniveaus en niet in de gepresenteerde kostenkengetallen of ramingen van investeringen verwerkt.











## 5 Economisch optimale overstromingskansen

*Dit hoofdstuk geeft de met OptimaliseRing berekende economisch optimale overstromingskansen voor zowel de basisvariant als de tweede referentie. Daarna worden de economisch optimale overstromingskansen voor de basisvariant vergeleken met de resultaten van de 'directe methode' en worden de resultaten in het perspectief van enkele eerder uitgevoerde studies naar economisch optimale overstromingskansen gezet.*

### 5.1 Resultaten van de MKBA

#### 5.1.1 Inleiding

De economisch optimale overstromingskansen zijn gepresenteerd als kaart en in een tabel. Voor de beschrijving en presentatie van de resultaten is een indeling in 'klassen' handig.

<b>Box 5.1 Indeling van economisch optimale overstromingskansen in klassen</b>			
De economisch optimale overstromingskansen worden weergegeven in een aantal 'klassen'. Deze klassen zijn zo gekozen dat er telkens ongeveer een factor 2 tussen opeenvolgende klassen zit. De klasse 1/1250 en 1/10.000 vormen een uitzondering; deze zijn gekozen om aan te sluiten bij de huidige wettelijke normen, zie Figuur 1.2). De grenzen tussen de klassen zijn logaritmisch gemiddelden. Deze zijn in de noemer afgerond op 100 voor waarden tussen 800 en 10.000 en op 1000 voor waarden groter dan 10.000. Het resultaat is onderstaande tabel.			
Aanduiding Klasse	Ondergrens	Bovengrens	Kleur
1/500	-	1 /800	
1/1250	1/800	1/1600	
1/2000	1/1600	1/2800	
1/4000	1/2800	1/6300	
1/10.000	1/6300	1/14.000	
1/20.000	1/14.000	1/28.000	
1/40.000	1/28.000	1/57.000	
1/80.000	1/57.000	-	

De resultaten worden gepresenteerd voor vier geografisch aaneengesloten gebieden:

- 1 **Noord-Nederland.** Dit is het grootste deel van de provincies Noord-Holland, Friesland en Groningen en de dijkkringdelen in het IJsselmeergebied. De dijkringen hebben op dit moment een overschrijdingskansnorm van 1/1250, 1/2000, 1/4000 of 1/10.000 per jaar.
- 2 **Rivierengebied,** exclusief de zoute wateren. Hieronder vallen dijkringen met huidige overschrijdingskansnorm van 1/1250 en 1/2000 per jaar.
- 3 **Zuidwest Nederland,** inclusief Zuid-Holland. Hierin vallen dijkringen met huidige overschrijdingskansnorm van 1/4000 en 1/10.000 per jaar.
- 4 **Maaskades.** Hierin vallen dijkringen met een huidige overschrijdingskansnorm van 1/250 per jaar.

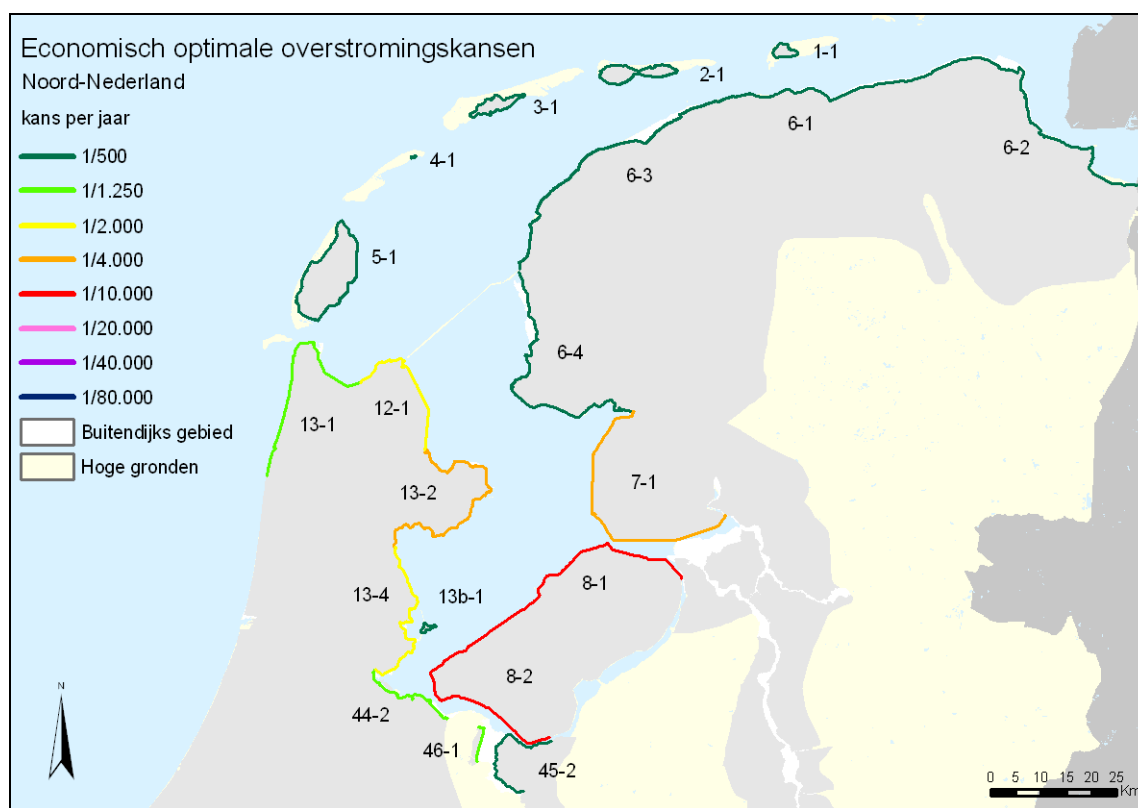


Opgemerkt dient te worden dat de economisch optimale overstromingskansen niet zonder vertaalslag kunnen worden vergeleken met de huidige normgetallen die betrekking hebben op overschrijdingskansen. Voor die vertaalslag wordt een document opgesteld door het Expertise Netwerk Waterveiligheid, vergelijkbaar met de omrekeningstabel in paragraaf 3.2.

## 5.1.2 Noord-Nederland

### Basisvariant

In Figuur 5.1 worden voor de basisvariant de berekende economisch optimale overstromingskansen voor dijkkringdelen in Noord-Nederland weergegeven.



Figuur 5.1 Economisch optimale overstromingskansen per jaar voor de basisvariant berekend met OptimaliseRing voor de dijkkringdelen in Noord-Nederland.

De berekende economisch optimale overstromingskansen zijn het grootst (rond 1/500 per jaar) voor de dijkkringdelen langs de Waddenzee, voor dijkkring 13-b (Marken) en dijkkringdeel 45-2 (noordzijde van de Kromme Rijn). De economisch optimale overstromingskansen voor zowel het zuidwestelijk als het noordoostelijk deel van Flevoland (dijkkringdelen 8-1 en 8-2) zijn het kleinst, 1/10.000 per jaar. Voor de overige dijkkringdelen langs het IJsselmeer en Markermeer is een economisch optimale overstromingskans berekend van 1/1250 tot 1/4000 per jaar. Voor de kop van Noord-Holland (13-1) en de Eempolder (46-1) is een economisch optimale overstromingskans berekend van 1/1250 per jaar.

### Uitkomst basisvariant vergeleken met die van de tweede referentie

Tabel 5.1 geeft naast de berekende economisch optimale overstromingskansen voor de basisvariant ook die voor de tweede referentie. Uit de tabel blijkt dat de economisch optimale

overstromingskansen over het algemeen dicht bij elkaar liggen: de berekende economisch optimale overstromingskansen voor de tweede referentie zijn gemiddeld 10% groter dan die voor de basisvariant. Om de vergelijking ook visueel te ondersteunen, is de kleurcodering uit de kaart ook in de tabel gebruikt.

Tabel 5.1 Economisch optimale overstromingskansen per jaar berekend met OptimaliseRing en de overstromingskansen per jaar in de referentiesituatie, voor zowel de basisvariant als de tweede referentie. Dijkkringdelen in Noord-Nederland.

Nr.	Naam	Basisvariant		Tweede referentie	
		Overstromings- kans referentie- situatie	Economisch Optimale overstromings- kans	Overstromings- kans referentie- situatie	Economisch Optimale overstromings- kans
1-1	Schiermonnikoog	1/2000	1/400	1/2000	1/300
2-1	Ameland	1/2000	1/200	1/2000	1/300
3-1	Terschelling	1/2000	1/300	1/2000	1/300
4-1	Vlieland	1/2000	1/400	1/2000	1/300
5-1	Texel	1/4000	1/500	1/4000	1/300
6-1	Friesland-Groningen-Lauwersmeer	1/4000	1/800	1/4000	1/800
6-2	Friesland-Groningen-Groningen	1/4000	1/700	1/4000	1/600
6-3	Friesland-Groningen-Noord-Friesland	1/4000	1/800	1/4000	1/700
6-4	Friesland-Groningen-IJsselmeer	1/4000	1/300	1/4000	1/400
7-1	Noordoostpolder	1/4000	1/2800	1/2000	1/3000
8-1	Flevoland-Noordoost	1/4000	1/7300	1/4000	1/5200
8-2	Flevoland-Zuidwest	1/4000	1/8600	1/2000	1/9200
12-1	Wieringen	1/4000	1/2700	1/2000	1/2300
13-1	Noord-Holland-Noord	1/10.000	1/1400	1/10.000	1/1200
13-2	Noord-Holland-West-Friesland	1/10.000	1/4800	1/10.000	1/4000
13-4	Noord-Holland-Waterland	1/10.000	1/2300	1/10.000	1/2500
13-b	Marken	1/1250	1/300	1/500	1/400
44-2	Kromme Rijn-Meren	1/1250	1/900	1/500	1/700
45-2	Gelderse Vallei-Meren	1/1250	1/300	1/500	1/200
46-1	Eempolder	1/1250	1/1100	1/500	1/1100

Zoals de tabel laat zien, leidt een berekening van de economisch optimale overstromingskansen voor de tweede referentie niet tot een significant ander beeld dan een berekening voor de basisvariant. De verschillen tussen de uitkomsten van de twee referenties worden verklaard door het verschil in kosten (bijvoorbeeld voor dijkkringdelen 8-1 en 13-2 waar de kosten in de tweede referentie hoger zijn dan in de basisvariant, zie Tabel 4.3) of de sprongen in de middenkans (bijvoorbeeld voor dijkkringdelen 8-2 en 13-4, zie de discussie in paragraaf 2.5).

### Economisch optimale overstromingskansen vergeleken met de referentiekansen

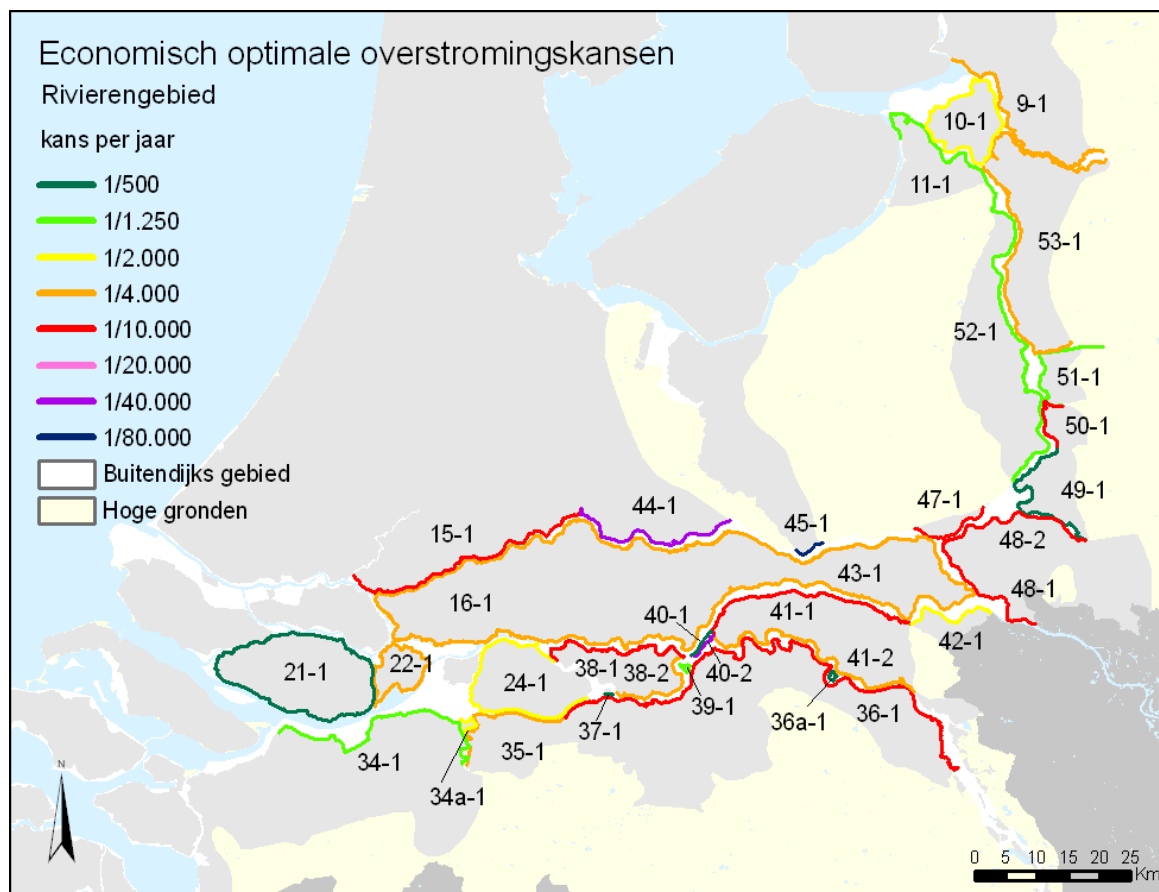
Voor dijkkringdeel 8-2 (Flevoland-Zuidwest) geldt voor beide referenties dat de overstromingskans uit de referentie meer dan 2 keer zo groot is als de economisch optimale overstromingskans. Vanuit economisch oogpunt zou het wenselijk kunnen zijn om hier het beschermingsniveau te verhogen.

Voor alle overige dijkringen geldt voor zowel de basisvariant als de tweede referentie dat de overstromingskansen in de referentie ongeveer gelijk (Wieringen (12-1), Noordoostpolder (7-1) en Flevoland-Noordoost (8-1)) of kleiner zijn dan de economisch optimale overstromingskansen. Vanuit economisch oogpunt ligt het minder voor de hand om hier het beschermingsniveau te verhogen.

## 5.1.3 Rivierengebied

### Basisvariant

In Figuur 5.2 zijn voor de basisvariant de berekende economisch optimale overstromingskansen voor dijkringdelen in het rivierengebied weergegeven.



Figuur 5.2 Economisch optimale overstromingskansen per jaar voor de basisvariant berekend met OptimaliseRing voor de dijkringdelen in het rivierengebied.

Voor de dijkringdelen langs de Waal, de Nederrijn-Lek en de Maas zijn de economisch optimale overstromingskansen het kleinst, overwegend 1/4000 tot 1/10.000 per jaar, met als duidelijke uitschieters dijkringdelen 40-1 (Heerewaarden-Waal, als gevolg van systeemwerking), 44-1 (rivierzijde Kromme Rijn) en 45-1 (rivierzijde Gelderse Vallei) van 1/40.000 per jaar en (kleiner dan) 1/80.000 per jaar. De economisch optimale overstromingskansen voor dijkringen langs de IJssel liggen wat lager, deze lopen uiteen van 1/500 per jaar voor IJsselland (49-1) tot 1/10.000 per jaar voor dijkkring Rijn en IJssel (48-1 en 48-2), Arnhemse- en Velpsebroek (47-1) en Zutphen (50-1). In het benedenrivierengebied

vinden we ook drie dijkkringdelen met relatief grote economisch optimale overstromingskansen van 1/500 per jaar (21-1, Hoekse Waard ) en 1/1250 per jaar (34-1, West-Brabant en 34a-1, Geertruidenberg).

### Uitkomst basisvariant vergeleken met die van de tweede referentie

Tabel 5.2 geeft naast de berekende economisch optimale overstromingskansen voor de basisvariant ook de economisch optimale overstromingskans voor de tweede referentie.

Tabel 5.2 Economisch optimale overstromingskansen per jaar berekend met OptimaliseRing en de overstromingskansen per jaar in de referentiesituatie, voor zowel de basisvariant als de tweede referentie. Dijkkringdelen in het rivierengebied.

Nr.	Naam	Basisvariant		Tweede referentie	
		Overstromings- kans referentie- situatie	Economisch Optimale overstromings- kans	Overstromings- kans referentie- situatie	Economisch Optimale overstromings- kans
9-1	Vollenhove	1/1250	1/2900	1/250	1/1700
10-1	Mastenbroek	1/2000	1/2700	1/1000	1/1600
11-1	IJsseldelta	1/2000	1/1500	1/1000	1/1400
15-1	Lopiker- en Krimpenerwaard	1/2000	1/8000	1/1000	1/8900
16-1	Alblasserwaard en de Vijfth'landen	1/2000	1/6200	1/1000	1/5200
21-1	Hoekse Waard	1/2000	1/600	1/1000	1/600
22-1	Eiland van Dordrecht	1/2000	1/3100	1/1000	1/2500
24-1	Land van Altena	1/2000	1/2600	1/1000	1/2100
34-1	West-Brabant	1/2000	1/1000	1/500	1/600
34-a-1	Geertruidenberg	1/2000	1/2700	1/500	1/2000
35-1	Donge	1/2000	1/4900	1/1000	1/2800
36-1	Land van Heusden/de Maaskant	1/1250	1/6300	1/250	1/4100
36-a-1	Keent	1/1250	1/400	1/500	1/300
37-1	Nederhemert	1/1250	1/400	1/500	1/400
38-1	Bommelerwaard-Waal	1/1250	1/10.700	1/1250	1/7500
38-2	Bommelerwaard-Maas	1/1250	1/5200	1/500	1/4600
39-1	Alem	1/1250	1/800	1/500	1/500
40-1	Heerewaarden-Waal	1/2000	1/47.200	1/250	1/29.300
40-2	Heerewaarden-Maas	1/500	1/500	1/250	1/500
41-1	Land van Maas en Waal-Waal	1/1250	1/10.000	1/500	1/6200
41-2	Land van Maas en Waal-Maas	1/1250	1/3200	1/500	1/3000
42-1	Ooij en Millingen	1/1250	1/2600	1/500	1/1500
43-1	Betuwe, Tieler- en C'waarden	1/1250	1/4100	1/250	1/2700
44-1	Kromme Rijn-Rijn	1/1250	1/36.500	1/500	1/41.800
45-1	Gelderse Vallei-Rijn	1/1250	1/169.800	1/1250	1/159.600
47-1	Arnhemse- en Velpsebroek	1/1250	1/8000	1/500	1/7000
48-1	Rijn en IJssel-Boven	1/1250	1/7800	1/500	1/5400
48-2	Rijn en IJssel-Beneden	1/1250	1/11.700	1/500	1/9000
49-1	IJsselland	1/1250	1/800	1/500	1/800
50-1	Zutphen	1/1250	1/10.300	1/500	1/8700
51-1	Gorssel	1/1250	1/1400	1/500	1/1100
52-1	Oost Veluwe	1/1250	1/1300	1/250	1/1000
53-1	Salland	1/1250	1/5300	1/500	1/2900

Uit deze tabel blijkt dat de berekende economisch optimale overstromingskansen in de tweede referentiesituatie over het algemeen groter (gemiddeld zo'n 30 procent) zijn dan die berekend in de basisvariant. Het verschil wordt met name veroorzaakt doordat in de tweede referentie de nieuwe inzichten uit het project VNK-2 zijn meegenomen. Dit leidt er toe dat er met name in het rivierengebied extra kosten voor maatregelen nodig zijn om piping tegen te gaan. In de basisvariant is met deze nieuwe inzichten geen rekening gehouden.

### **Economisch optimale overstromingskansen vergeleken met de referentiekansen**

In de basisvariant is voor 19 en in de tweede referentie is voor 25 van de 33 dijkkringdelen de overstromingskans uit de referentie twee of meer keer zo groot als de berekende economisch optimale overstromingskans. Vanuit economisch oogpunt zou het wenselijk zijn om voor deze dijkkringdelen het beschermingsniveau te verhogen.

Voor nog eens 6 dijkkringdelen in de basisvariant en 4 in de tweede referentie is de overstromingskans uit de referentie groter, maar minder dan twee keer zo groot als de economisch optimale overstromingskans.

Voor de overige 8 dijkringen in de basisvariant en 4 dijkkringdelen in de tweede referentie geldt dat de overstromingskansen in de referentie kleiner zijn dan de economisch optimale overstromingskansen. Vanuit economisch oogpunt ligt het minder voor de hand om hier het beschermingsniveau te verhogen.

### **Kanttekeningen**

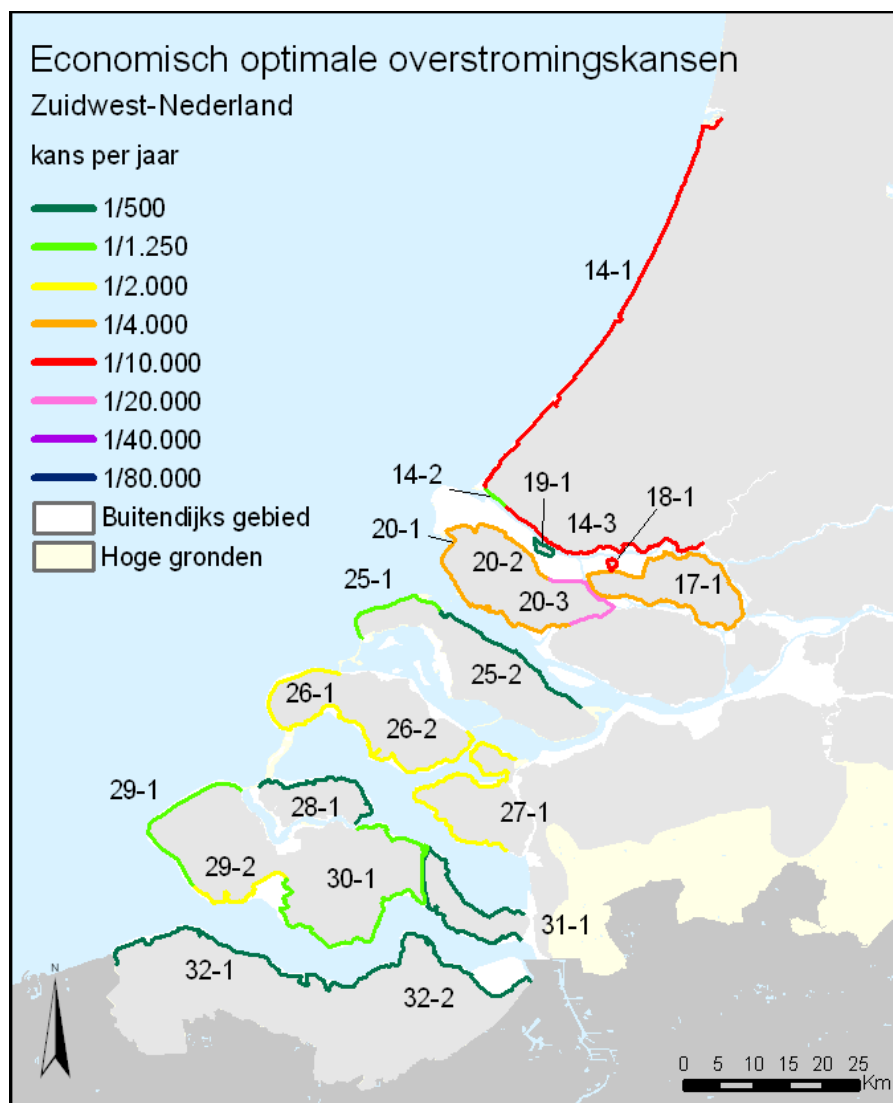
Bij het resultaat voor dijkkringdeel 37-1 (Nederhemert) past een kanttekening. Dit dijkkringdeel vormt feitelijk een onderdeel van twee verbindende waterkeringen (B-keringen, VWK nummers 26 en 27) die de dijkkringdelen 24-1 (Land van Altena) en 38-2 (Bommelerwaard-Maas) verbinden. Dijkkringdeel 37-1 zou in samenhang met deze andere keringen moeten worden gezien.

Ook de kleine economisch optimale overstromingskans van dijkkringdeel 40-1 (Heerewarden-Waal) zou in samenhang moeten worden gezien met de economisch optimale overstromingskansen voor 38-1 (Bommelerwaard-Waal) en 41-1 (Land van Maas en Waal-Waal) en de tussenliggende B-kering. Het betreft hier een stelsel van dijkkringdelen en B-keringen die samen moeten voorkomen dat er bij een overstroming langs de Waal water de Maas instroomt. Doordat de afvoercapaciteit van de Maas veel kleiner is dan die van de Waal, kan dit tot overstromingen langs de Maas leiden (negatieve systeemwerking).

## 5.1.4 Zuidwest-Nederland

**Basisvariant**

De voor de basisvariant berekende economisch optimale overstromingskansen voor dijkkringdelen in Zuidwest-Nederland zijn weergegeven in Figuur 5.3.



*Figuur 5.3 Economisch optimale overstromingskansen per jaar voor de basisvariant berekend met OptimaliseRing voor de dijkkringdelen in Zuidwest-Nederland.*

Voor de dijkringen in Zuid-Holland en voor de Zuid-Hollandse eilanden zijn de berekende economisch optimale overstromingskansen het kleinste, overwegend 1/4000 tot 1/10.000 per jaar. Voor Zeeland lopen de berekende economisch optimale overstromingskansen uiteen tussen 1/500 per jaar en 1/2000 per jaar.

## Uitkomst basisvariant vergeleken met die van de tweede referentie

Tabel 5.3 geeft naast de berekende economisch optimale overstromingskansen voor de basisvariant ook de economisch optimale overstromingskansen voor de tweede referentie.

Tabel 5.3 Economisch optimale overstromingskansen per jaar berekend met OptimaliseRing en de overstromingskansen per jaar in de referentiesituatie, voor zowel de basisvariant als de tweede referentie. Dijkkringdelen in Zuidwest-Nederland.

Nr.	Naam	Basisvariant		Tweede referentie	
		Overstromingskansen referentie-situatie	Economisch Optimale overstromingskansen	Overstromingskansen referentie-situatie	Economisch Optimale overstromingskansen
14-1	Zuid-Holland-Kust	1/10.000	1/9300	1/10.000	1/9300
14-2	Zuid-Holland-NweW.weg-West	1/10.000	1/1500	1/10.000	1/1700
14-3	Zuid-Holland-Nwe W.weg-Oost	1/10.000	1/7700	1/10.000	1/13.700
17-1	IJsselmonde	1/4000	1/6300	1/2000	1/4200
18-1	Pernis	1/10.000	1/8400	1/5000	1/12.300
19-1	Rozenburg	1/10.000	1/600	1/5000	1/500
20-1	Voorne-Putten-West	1/4000	1/3000	1/4000	1/3500
20-2	Voorne-Putten-Midden	1/4000	1/3500	1/4000	1/3000
20-3	Voorne-Putten-Oost	1/4000	1/15.100	1/4000	1/9300
25-1	Goeree-Overflakkee-Noordzee	1/4000	1/1600	1/4000	1/1500
25-2	Goeree-Overflakkee-Haringvliet	1/4000	1/300	1/2000	1/200
26-1	Schouwen-Duiveland-West	1/4000	1/2600	1/4000	1/2400
26-2	Schouwen-Duiveland-Oost	1/4000	1/2800	1/2000	1/3100
27-1	Tholen en St. Philipsland	1/4000	1/1800	1/4000	1/1600
28-1	Noord-Beveland	1/4000	1/700	1/4000	1/800
29-1	Walcheren-West	1/4000	1/800	1/4000	1/700
29-2	Walcheren-Oost	1/4000	1/2500	1/4000	1/2500
30-1	Zuid-Beveland-West	1/4000	1/900	1/4000	1/700
31-1	Zuid-Beveland-Oost	1/4000	1/700	1/4000	1/1100
32-1	Zeeuwsch-Vlaanderen-West	1/4000	1/300	1/4000	1/200
32-2	Zeeuwsch-Vlaanderen-Oost	1/4000	1/400	1/4000	1/400

Uit de tabel blijkt dat de economisch optimale overstromingskansen voor de tweede referentie gemiddeld 10 procent groter zijn dan die voor de basisvariant. Daarnaast zijn er ook een paar dijkringen waarvoor de economisch optimale overstromingskans in de tweede referentie kleiner is dan die in de basisvariant (bijvoorbeeld 14-3 en 18-1). Hier speelt mee dat de kosten van de tweede referentie lager zijn dan die van de basisvariant (zie ook voetnoot 22) en dat er sprongen in het verloop van de middenkans kunnen zitten (zie paragraaf 2.5). Desondanks leveren ook in dit geval de beide referenties geen significant andere beelden op ten aanzien van de economisch optimale overstromingskansen.

## Economisch optimale overstromingskansen vergeleken met de referentiekansen

Voor één dijkkringdeel in de basisvariant (20-3) en voor 3 dijkkringdelen in de tweede referentie (17-1, 18-1, en 20-3) is de overstromingskans uit de referentie 2 of meer keer zo groot als de berekende economisch optimale overstromingskans. Vanuit economisch oogpunt zou het wenselijk zijn om voor deze dijkkringdelen het beschermingsniveau te verhogen.

In de basisvariant is voor 19 en in de tweede referentie voor 16 van de 21 dijkkringdelen de overstromingskans uit de referentie kleiner dan de berekende economisch optimale overstromingskans. Vanuit economisch oogpunt ligt het niet direct voor de hand om hier het beschermingsniveau te verhogen

### Kanttekening

Dijkkringdeel 19-1 (Rozenburg) zou eigenlijk gezien moeten worden als onderdeel van de Maeslantkering (VWK nummer 8) en Europoort II/Hartelkering (VWK nummer 9). Beide keringen zijn belangrijk voor de bescherming van de dijkringen in het Rijnmondgebied. De huidige norm van dijkkringdeel 19-1 stemt ook overeen met die van deze twee verbindende waterkeringen.

#### 5.1.5 Maaskades

In de MKBA zijn vier Maaskades meegenomen. Deze vier worden representatief geacht voor de overige dijkringen langs de onbedijkte Maas in Limburg.

Tabel 5.4 geeft voor deze dijkringen naast de berekende optimale overstromingskans voor de basisvariant ook de economisch optimale overstromingskans voor de tweede referentie weer.

*Tabel 5.4 Economisch optimale overstromingskansen per jaar berekend met OptimaliseRing en de overstromingskansen per jaar in de referentiesituatie, voor zowel de basisvariant als de tweede referentie. Vier Maaskades in Limburg.*

Nr.	Naam	Basisvariant		Tweede referentie	
		Overstromings- kans referentiesituatie	Economisch Optimale overstromings- kans	Overstromings- kans referentiesituatie	Economisch Optimale overstromings- kans
65-1	Arcen	1/250	1/1000	1/125	1/800
68-1	Venlo-Velden Noord	1/250	1/800	1/125	1/600
86-1	Maasband	1/250	1/500	1/125	1/300
87-1	Meers	1/250	1/1800	1/125	1/1600

De economisch optimale overstromingskansen in de tweede referentie zijn gemiddeld 35% groter dan die in de basisvariant.

### Economisch optimale overstromingskansen vergeleken met de overstromingskansen uit de referentie

Zowel in de basisvariant als in de tweede referentie is voor alle dijkkringdelen de overstromingskans uit de referentie 2 of meer keer zo groot als de berekende economisch optimale overstromingskans. Vanuit economisch oogpunt zou het wenselijk zijn om voor deze dijkkringdelen het beschermingsniveau te verhogen.

### Kanttekeningen:

In de analyse van gevolgen van overstromingen zijn de Maaskades op dezelfde manier benaderd als de overige dijkringen in het bovenriviereengebied. Er zijn overstromingsdieptes en stijgsnelheden bepaald in geval van een doorbraak en voor de bepaling van slachtoffers is uitgegaan van een evacuatiefractie van 0.75. Deze uitgangspunten zijn omstreden. Wanneer



de kaden overstroombaar zijn (en dus niet breken), zouden overstromingsdiepten en stijgsnelheden op een andere manier moeten worden benaderd. Bij kleine dijkvingen zou een hogere evacuatiefractie realistisch kunnen zijn. Verdere verfijning van uitgangspunten valt evenwel buiten de reikwijdte van deze landelijke analyse. De hier gevolgde benadering zal naar verwachting voor de meeste Maaskaden een conservatieve aanpak blijken. Het aantal slachtoffers en de schade zijn eerder overschat dan onderschat.

Een tweede kanttekening is dat een overstroming van de Maaskades leidt tot een verlaging van de benedenstroomse waterstanden langs de bedijkte Maas van ongeveer 10 cm. Bij de huidige bepaling van de Hydraulische Randvoorwaarden voor de bedijkte Maas wordt dit effect (systeemwerking) meegenomen. Als de Maaskades moeten worden verhoogd om aan een hoger wettelijk beschermingsniveau te voldoen, dan moeten mogelijk ook de dijken langs de bedijkte Maas worden versterkt. Dit zal vooral het geval zijn als de wettelijke beschermingsniveaus langs de bedijkte Maas ongewijzigd blijven terwijl die van de onbedijkte Maas aangescherpt worden. Met de extra kosten is in de MKBA geen rekening gehouden.

Een laatste effect dat bij de onbedijkte Maas mogelijk optreedt, is dat bij een verhoging van het beschermingsniveau de grenzen van het winterbed veranderen. Dit kan gevolgen hebben voor de omkade gebieden. Wellicht zullen een aantal kades doorgetrokken moeten worden naar de 'nieuwe' winterbedgrenzen. Ook hiermee is in de MKBA geen rekening gehouden.

Alle drie de kanttekeningen wijzen erop dat de economisch optimale overstromingskansen groter zouden kunnen zijn dan in de MKBA berekend.

## 5.2 Nadere duiding van de resultaten

De in dit hoofdstuk berekende economisch optimale overstromingskansen worden uiteindelijk bepaald door de **verhouding** tussen de kosten die gemaakt moeten worden om de overstromingskans te verlagen en de schade die ontstaat bij overstromen. Voor dijkvingdelen met een grote schade wordt daardoor niet automatisch een heel kleine economisch optimale overstromingskans berekend als de kosten voor een reductie van de overstromingskans ook groot zijn, en vice versa.

Voorbeelden van dijkvingdelen met zowel een hoge schade als hoge kosten zijn 16-1 (Lopiker- en Krimpenerwaard) en 43-1 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden). De schade is in deze dijkvingen groot vanwege de grote overstromingsdiepten in combinatie met het landgebruik. Maar ook de kosten zijn hier hoog, in dijkvingdeel 16 vanwege de stedelijke lintbebouwing langs de dijken en in dijkvingdeel 43 vanwege de grote lengte aan keringen die deze dijkving beschermt. Daardoor worden in de basisvariant economisch optimale overstromingskansen berekend van circa 1/5000 per jaar, een overstromingskans die redelijk in het midden ligt ten opzichte van de economisch optimale overstromingskans die berekend is voor andere dijkving(del)en.

Zet hier tegenover de dijkvingdelen 8-2 (Flevoland zuidwest) en 44-1 (rivierzijde Kromme Rijn). Ook hier is de schade vergelijkbaar hoog, maar de kosten voor maatregelen in deze dijkvingen zijn veel lager vanwege het onbebouwde karakter van de dijken (8-2) of de zeer geringe lengte aan keringen (44-1). Daardoor worden economisch optimale overstromingskansen berekend van circa 1/10.000 tot 1/40.000 per jaar. Dijkvingdeel 45-1 (rivierzijde Gelderse Vallei) is de grootste uitschieter met een economisch optimale overstromingskans van 1/170.000 per jaar in de basisvariant. Hier is weliswaar de schade redelijk groot (niet zo groot als die in de dijkvingen die hierboven besproken zijn), maar de belangrijkste oorzaak voor deze heel kleine economisch optimale overstromingskans is dat dit deel van de dijkving beschermt wordt door een dijk langs de Nederrijn-Lek van slechts 5

kilometer aan lengte. Hierdoor is het relatief goedkoop om deze dijkkring een hoog beschermingsniveau te bieden.

### **Vergelijking van de uitkomsten met de directe methode**

In paragraaf 2.7 is aangegeven dat er naast *OptimaliseRing* ook een directe methode bestaat om de economisch optimale overstromingskans te benaderen. De formule voor de directe methode laat zien dat de economisch optimale overstromingskans direct afhankelijk is van de verhouding tussen kosten en schade. Tabel 5.5 vergelijkt de economisch optimale overstromingskansen berekend met *OptimaliseRing* voor de basisvariant met die berekend zijn met de directe methode. Daaruit blijkt dat de resultaten op één uitzondering na erg dicht bij elkaar liggen. Deze uitzondering is dijkkringdeel 8-2: Flevoland Zuidwest, waar de directe methode in een 2 keer kleinere optimale overstromingskans resulteert.

## **5.3 Vergelijking met eerdere studies**

In deze laatste paragraaf van dit hoofdstuk wordt tenslotte kort nagegaan hoe de in de MKBA berekende economisch optimale overstromingskansen zich verhouden tot uitkomsten van eerdere studies.

### 5.3.1 Recente studies

#### **Kosten-batenanalyse Ruimte voor de Rivier (2005)**

In het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier (RvdR) is een (maatschappelijke) kosten-batenanalyse uitgevoerd (Eijgenraam, 2005). Onderdeel hiervan was een studie naar de economisch optimale beschermingsniveaus voor een aantal dijkkringen in het rivierengebied. De methode die voor de KBA RvdR ontwikkeld is, is later ook in doorontwikkelde vorm in de KKBA en MKBA WV21 gebruikt.

De economisch optimale overstromingskansen voor de dijkkringen in het rivierengebied die berekend zijn in de basisvariant van de MKBA WV21 zijn gemiddeld 2 keer kleiner dan die berekend in het kader van de KBA RvdR, zie Figuur 5.4.<sup>25</sup> De verklaring hiervoor is vooral gelegen in de lagere bedragen voor de totale (materiële en immateriële) schade die in de KBA RvdR zijn gebruikt. Een tweede reden is dat in de KBA RvdR geen rekening is gehouden met het aftoppen van de Rijnaafvoer en daarom voor dijkkringen in het bovenrivierengebied gerekend is met grotere decimeringshoogtes (en daarmee hogere kosten voor extra veiligheid) dan in de MKBA WV21.

De onderlinge verhoudingen van de economisch optimale overstromingskansen tussen de dijkkringen zoals die berekend zijn in de KBA RvdR en MKBA WV21, komen goed overeen, zoals Figuur 5.4 ook laat zien: de relatief kleinste economisch optimale overstromingskansen worden in het rivierengebied berekend voor dijkkring(del)en 44-1 (Kromme Rijn-Rijn) en 45-1 (Gelderse Vallei-Rijn) en de relatief grootste optimale overstromingskansen voor de dijkkringen 49 (IJsselland) en 51 (Gorssel).

25. Het begrip 'middenkans' doet voor het eerst zijn intrede in een notitie van het CPB aan de Tweede Kamer (CPB, 2005). Deze notitie is een aanvulling op het oorspronkelijke rapport KBA Ruimte voor de Rivier. In deze notitie staan voor 21 dijkkringen de economisch optimale overstromingskansen (middenkansen) voor verschillende jaren. In deze paragraaf zijn de middenkansen voor 2045 uit de CPB notitie gebruikt. Deze liggen het dichtst aan tegen de in de MKBA WV21 berekende middenkansen voor 2050.

Tabel 5.5 Economisch optimale overstromingskansen voor de basisvariant, berekend met OptimaliseRing en de directe methode

Nr	Naam	OptimaliseRing	Directe Methode	Nr	Naam	OptimaliseRing	Directe Methode
1-1	Schiermonnikoog	1/400	1/400	28-1	Noord-Beveland	1/700	1/600
2-1	Ameland	1/200	1/200	29-1	Walcheren-West	1/800	1/500
3-1	Terschelling	1/300	1/400	29-2	Walcheren-Oost	1/2500	1/2400
4-1	Vlieland	1/400	1/400	30-1	Zuid-Beveland-West	1/900	1/700
5-1	Texel	1/500	1/600	31-1	Zuid-Beveland-Oost	1/700	1/700
6-1	Friesland-Groningen-Lauwersmeer	1/800	1/700	32-1	Zeeuwsch-Vlaanderen-West	1/300	1/300
6-2	Friesland-Groningen-Groningen	1/700	1/600	32-2	Zeeuwsch-Vlaanderen-Oost	1/400	1/400
6-3	Friesland-Groningen-Noord-Friesland	1/800	1/600	34-1	West-Brabant	1/1000	1/900
6-4	Friesland-Groningen-IJsselmeer	1/300	1/200	34a-1	Geertruidenberg	1/2700	1/2000
7-1	Noordoostpolder	1/2800	1/2800	35-1	Donge	1/4900	1/6900
8-1	Flevoland-Noordoost	1/7300	1/7000	36-1	Land v Heusden/de Maaskant	1/6300	1/7600
8-2	Flevoland-Zuidwest	<b>1/8600</b>	<b>1/22400</b>	36a-1	Keent	1/400	1/400
9-1	Vollenhove	1/2900	1/2100	37-1	Nederhemert	1/400	1/300
10-1	Mastenbroek	1/2700	1/2300	38-1	Bommelerwaard-Waal	1/10700	1/9900
11-1	IJsseldelta	1/1500	1/1100	38-2	Bommelerwaard-Maas	1/5200	1/5400
12-1	Wieringen	1/2700	1/2900	39-1	Alem	1/800	1/800
13-1	Noord-Holland-Noord	1/1400	1/900	40-1	Heerwaarden-Waal	1/47200	1/41700
13-2	Noord-Holland-West-Friesland	1/4800	1/4500	40-2	Heerwaarden-Maas	1/500	1/400
13-4	Noord-Holland-Waterland	1/2300	1/1800	41-1	Land van Maas en Waal-Waal	1/10000	1/8900
13b-1	Marken	1/300	1/300	41-2	Land van Maas en Waal-Maas	1/3200	1/2800
14-1	Zuid-Holland-Kust	1/9300	1/7800	42-1	Ooij en Millingen	1/2600	1/2300
14-2	Zuid-Holland-Nieuwe Waterweg-West	1/1500	1/1800	43-1	Betuwe, Tieler- en C'waarden	1/4100	1/4400
14-3	Zuid-Holland-Nieuwe Waterweg-Oost	1/7700	1/7200	44-1	Kromme Rijn-Rijn	1/36500	1/39600
15-1	Lopiker- en Krimpenerwaard	1/8000	1/7000	44-2	Kromme Rijn-Meren	1/900	1/800
16-1	Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden	1/6200	1/4600	45-1	Gelderse Vallei-Rijn	1/169800	1/198900
17-1	IJsselmonde	1/6300	1/4600	45-2	Gelderse Vallei-Meren	1/300	1/300
18-1	Pernis	1/8400	1/8800	46-1	Eempolder	1/1100	1/800
19-1	Rozenburg	1/600	1/700	47-1	Arnhemse- en Velpsebroek	1/8000	1/4400
20-1	Voorne-Putten-West	1/3000	1/2500	48-1	Rijn en IJssel-Boven	1/7800	1/7000
20-2	Voorne-Putten-Midden	1/3500	1/2700	48-2	Rijn en IJssel-Beneden	1/11700	1/10100
20-3	Voorne-Putten-Oost	1/15100	1/15200	49-1	IJsselland	1/800	1/600
21-1	Hoekse Waard	1/600	1/600	50-1	Zutphen	1/10300	1/7500
22-1	Eiland van Dordrecht	1/3100	1/2100	51-1	Gorssel	1/1400	1/700
24-1	Land van Altena	1/2600	1/2100	52-1	Oost Veluwe	1/1300	1/800
25-1	Goeree-Overflakkee-Noordzee	1/1600	1/900	53-1	Salland	1/5300	1/4900
25-2	Goeree-Overflakkee-Haringvliet	1/300	1/300	65-1	Arcen	1/1000	1/1000
26-1	Schouwen-Duiveland-West	1/2600	1/2000	68-1	Venlo-Velden Noord	1/800	1/900
26-2	Schouwen-Duiveland-Oost	1/2800	1/2400	86-1	Maasband	1/500	1/400
27-1	Tholen en St. Philipsland	1/1800	1/1500	87-1	Meers	1/1800	1/2200

**KKBA WV21 (2008)**

De in de MKBA WV21 berekende economisch optimale overstromingskansen zijn gemiddeld ongeveer 3 tot 4 keer groter dan die uit de KKBA WV21 (Kind, 2008)<sup>26</sup>, zie ook Figuur 5.4. Wel blijken ook in dit geval de onderlinge verhoudingen van de economisch optimale overstromingskansen die berekend zijn voor de KKBA WV21 en de MKBA WV21 redelijk met elkaar overeen te komen.

Het gaat te ver om de verschillen tussen de uitkomsten van de KKBA en MKBA precies te beschrijven. Voor veel dijkringen is het verschil voor een belangrijk deel terug te voeren op de gebruikte gegevens over schade en getroffen. In de KKBA waren deze meestal groter dan die in de MKBA. In de KKBA waren deze voor een belangrijk deel gebaseerd op grovere schattingen. De ramingen voor schade en getroffen in de MKBA zijn gebaseerd op overstromingsscenario's die zoveel mogelijk overeenkomen met die van VNK-2 en de provinciale risicokaart. Een andere oorzaak is dat in de KKBA een lagere disconteringsvoet is gebruikt dan in de MKBA.

**Grensoverschrijdende studie dijkringen 42 en 48 (2009)**

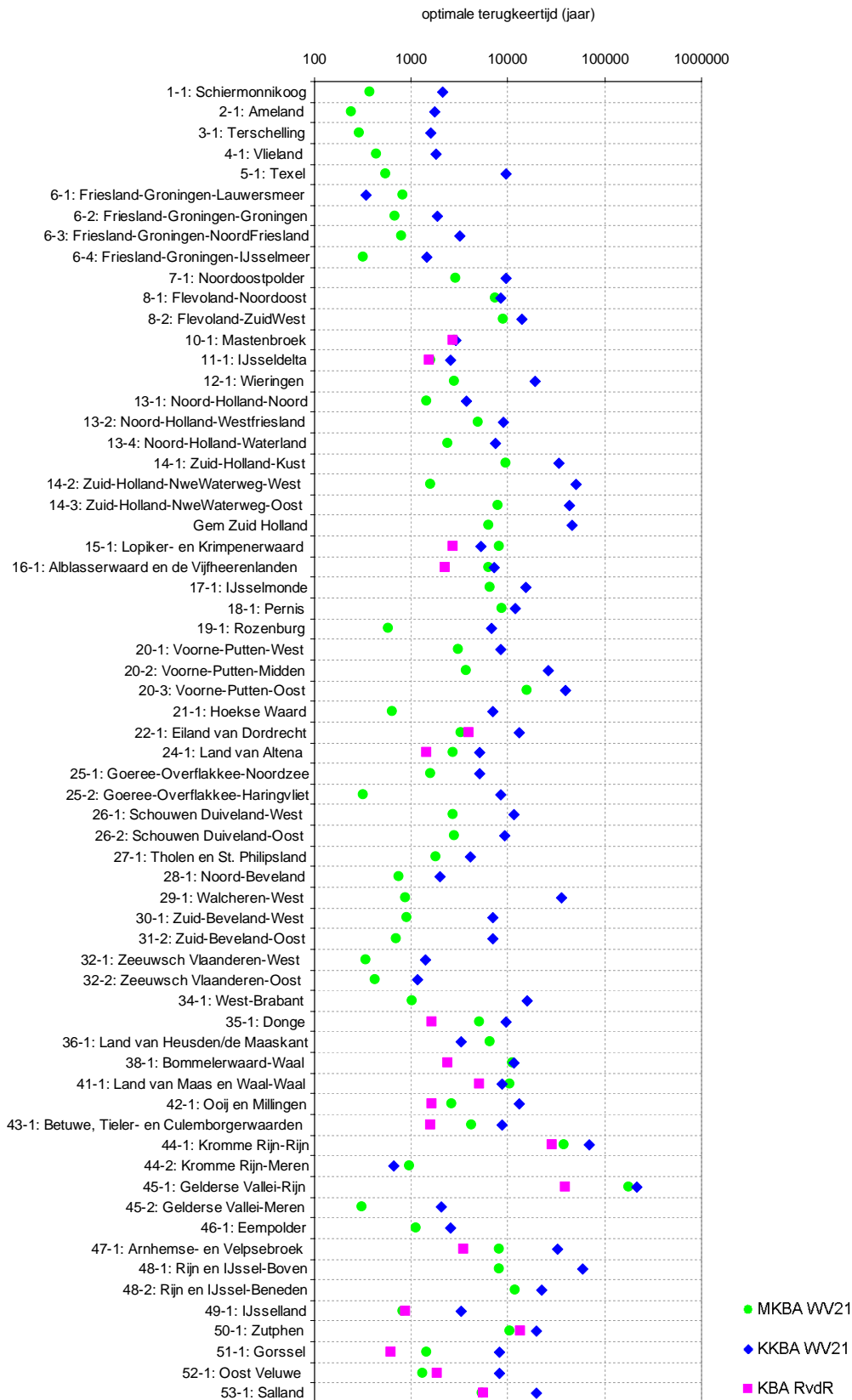
Voor het realiseren van een hoger beschermingsniveau van de dijkringen 42 (Ooij en Millingen) en 48 (Rijn en IJssel) zijn ook maatregelen in Duitsland nodig zijn. Zeker een doorbraak in het Duitse deel van dijkkring 48 kan grote gevolgen hebben voor veel dijkringen in Nederland die langs de IJssel liggen, doordat het water 'achterlangs' deze dijkringen instroomt. In een eerdere studie van de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater (2009abc) werd geconcludeerd dat maatregelen om dit risico verder te reduceren in deze beide dijkringen niet rendabel zijn. In de MKBA WV21 wordt juist wel geconcludeerd dat het op termijn rendabel is om maatregelen te nemen om het beschermingsniveau te verhogen. Vergeleken met WV21 kent de studie van de Werkgroep een andere methode, andere uitgangspunten en heeft deze een veel kortere tijdshorizon (namelijk 2015 in plaats van 2050 in de MKBA).

**5.3.2 Studie van de eerste Deltacommissie**

Voor het kustdeel van dijkkring 14 (dijkringdeel 14-1) en voor het deel van dijkkring 14 dat langs de Nieuwe Waterweg achter de Maeslantkering ligt (dijkringdeel 14-3) is in de basisvariant van de MKBA WV21 een economisch optimale overstromingskans berekend van 1/9300 respectievelijk 1/7700 per jaar. Dit zijn veel grotere economisch optimale overstromingskansen dan de economisch optimale overstromingskans van 1/125.000 per jaar zoals die voor de eerste Deltacommissie berekend werd door Van Dantzig in 1960 voor dijkkring 14 als geheel (Van Dantzig en Kriens, 1960). De redenen hiervoor zijn divers, zoals het gebruik van andere gegevens over kosten, kansen en schade, het gebruik van een ander (eenvoudiger) beslistkundig model en andere aannames. Hierna worden twee opmerkelijke verschillen besproken tussen de MKBA WV21 en de berekeningen van Van Dantzig die een belangrijk deel van het verschil in uitkomst verklaren.

26. Voor de vergelijking met de economisch optimale overstromingskansen uit de MKBA WV21 voor het jaar 2050 zijn de economisch optimale kansen die berekend zijn in de KKBA WV21 voor het jaar 2021 gecorrigeerd voor 29 jaar economische groei van 1,9% per jaar. De economisch optimale overstromingskansen uit de KKBA worden hierdoor een factor  $1,019^{29} = 1,73$  kleiner.

**Figuur 5.4** Economisch optimale overstromingskansen voor de basisvariant van de MKBA WV21 vergeleken met die van de KKBA WV21 en KBA RvdR



Ten eerste heeft de door Van Dantzig berekende economisch optimale overstromingskans het meest weg van een ontwerpnorm. Een ontwerpnorm is per definitie een kleiner getal dan een toetsnorm, zie ook hoofdstuk 2. Eijgenraam (2006) heeft ook een middenkans (toetsnorm) berekend op basis van verder precies dezelfde gegevens als Van Dantzig. Eigenraam berekent in dat geval een middenkans van 1/10.000 tot 1/15.000 per jaar in plaats van 1/125.000 per jaar.

Een tweede punt is dat in de berekening van Van Dantzig de schade bij overstrooming in Centraal Holland gelijk genomen werd aan het in Centraal Holland geïnvesteerde vermogen van 24,2 miljard gulden (ruim 10 miljard euro). Daarbij werd aangetekend dat dit bedrag juist zou zijn, *'indien de dit bedrag verhogende factoren (productiederving in en buiten Centraal – Holland, niet-economische waarden) tegen de dit bedrag verlagende factoren (gedeeltelijk behoud van goederen in hoog gelegen delen en gedeeltelijk behoud van de produktiviteit van de bevolking) wegvallen'* (Van Dantzig 1960, p II.2-7.2). Een schadebedrag van ruim 10 miljard euro in 1960 zou globaal overeen moeten komen met een huidige schatting van de schade bij overstrooming van dijkkring 14 van orde 250 miljard euro.<sup>27</sup> Dat is een schade die vele malen groter is dan de schade die in de MKBA WV21 gebruikt is (in totaal 14 + 8,4 = 22,4 miljard euro voor materiële schade, zie Tabel 4.1. Na toepassing van de opslagfactor van 1,6 op de materiële schade en de toevoeging van immateriële schade neemt dit bedrag toe tot circa 69 miljard euro). Kortom, de schade in de berekening van Van Dantzig is volgens huidige inzichten hoog en daardoor is door Van Dantzig een relatief kleine economisch optimale overstromingskans berekend.

---

27. Het bruto nationaal product is sinds 1960 met een factor 4 gegroeid en de prijsinflatie tussen 1960 en 2010 bedraagt circa 600%; het bedrag zou dan circa 24 keer hoger moeten uitkomen.



## 6 Gevoeligheidsanalyse en varianten

*In het vorige hoofdstuk zijn de berekende economisch optimale overstromingskansen gepresenteerd voor zowel de basisvariant als voor de tweede referentie. In dit hoofdstuk worden rondom de resultaten van de basisvariant verschillende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd en worden de resultaten van een Monte Carlo-analyse gepresenteerd. Aan het einde van het hoofdstuk worden ook de economisch optimale overstromingskansen berekend voor een drietal locatiespecifieke varianten.*

*De aanvullende gegevens over kansen, kosten en gevolgen die hiervoor zijn gebruikt, zijn opgenomen in de betreffende rapporten over basisinformatie. Een uitgebreide beschrijving van de werkwijze en resultaten van de Monte Carlo-analyse kan worden teruggevonden in bijlage G.*

### 6.1 Enkelvoudige gevoeligheidsanalyses

#### 6.1.1 Overzicht

Bij de enkelvoudige gevoeligheidsanalyses wordt onderzocht hoe gevoelig de economisch optimale overstromingskansen zijn voor een verandering van één van de belangrijkste, onzekere variabelen.

In Tabel 6.1 wordt een samenvattend overzicht van deze analyses en resultaten gegeven. Als indicator is daarvoor het gemiddelde van de procentuele verschillen tussen de berekende economisch optimale overstromingskans voor de basisvariant en die voor de gevoeligheidsanalyse bepaald. Een percentage van bijvoorbeeld +17% betekent dat de economisch optimale overstromingskans uit de gevoeligheidsanalyse 1,17 keer de economisch optimale overstromingskans uit de basisvariant is (dus van 1/1000 naar  $1,17 \times 1/1000 = 1/854$ ). Een percentage van -29% betekent dat de economisch optimale overstromingskans die volgt uit de gevoeligheidsanalyse 0,71 (=1-0,29) keer de economisch optimale overstromingskans uit de basisvariant is (dus van 1/1000 naar  $0,71 \times 1/1000 = 1/1408$ ).



Tabel 6.1 Overzicht en uitkomsten gevoeligheidsanalyses

Nr.	Onderdeel	Basisvariant	Gevoeligheids-analyse	Toegepast op	Gemiddeld Verschil
1a	Overslagdebiet	1 l/s-m	5 l/s-m	Alle dijkringen	Gering
1b	Overslagdebiet	1 l/s-m	10 l/s-m	Alle dijkringen	Gering
2	Kosten		Kosten + 50%	Alle dijkringen	+44%
3	Overhoogte/oversterke	Niet meegenomen	Wel meegenomen (indien aanwezig)	Dijkringdelen 26-1; 26-2; 36	-37%
4a	Klimaat-/ en aftopscenario	W+, met aftoppen	G+, met aftoppen	Alle dijkringen	+ 3%
4b	Klimaat-/ en aftopscenario	W+, met aftoppen	W+, zonder aftoppen	Bovenrivierengebied Rijn	+ 74%
5a	Berekening verwachtingswaarde schade en slachtoffers	Bovenmaatgevend scenario bij 10 x kleinere kans	Bovenmaatgevend scenario bij 100 x kleinere kans	Alle dijkringen, behalve 9, 10, 11, 14-3, 15, 16, 17, 20-2, 20-3, 21, 22, 24, 30, 31, 34, 35	+ 19%
5b	Berekening verwachtingswaarde schade en slachtoffers	Bovenmaatgevend scenario bij 100 x kleinere kans	Bovenmaatgevend scenario bij 10 x kleinere kans	Dijkringen 9, 10, 11, 14-3, 15, 16, 17, 20-2, 20-3, 21, 22, 24, 30, 31, 34, 35	-25%
6a	Evacuatiefracties	Verschillende percentages voor verschillende gebieden	Geen evacuatie	Alle dijkringen	-12%
6b	Evacuatiefracties	15% evacuatie	75% evacuatie	Dijkringen 15, 16, 24, 34, 34a, 35	+21%
6c	Evacuatiefracties	15% evacuatie	% evacuatie per scenario	Dijkringen 15, 16, 24, 34, 34a, 35	+20%
7a	Discontovoet incl. risico-opslag	5,5%	4%	Alle dijkringen	-25%
7b	Discontovoet incl. risico-opslag	5,5%	7%	Alle dijkringen	+24%
8a	Opslagfactor op de schade	1,6	1,25	Alle dijkringen	+17%
8b	Opslagfactor op de schade	1,6	1,95	Alle dijkringen	-12%
9a	Waarde VOSL	6,7 miljoen euro	1,4 miljoen euro	Alle dijkringen	+17%
9b	Waarde VOSL	6,7 miljoen euro	11,3 miljoen euro	Alle dijkringen	-11%
10	Schade	Materiële schade	Materiële schade + 50%	Alle dijkringen	-26%
11a	Economisch scenario (WLO)	TM (BBP groei van 1,9% per jaar)	Regional Comm. (0,7%)	Alle dijkringen	+58%
11b	Economisch scenario (WLO)	TM (BBP groei van 1,9% per jaar)	Global Economy (2,6%)	Alle dijkringen	-22%

## 6.1.2 Nadere uitwerking

### Hoger kritiek overslagdebiet

In de basisvariant is er van uitgegaan dat de bekleding van een dijk beschadigd raakt en de dijk vervolgens bezwijkt indien er meer dan 1 liter water per seconde per meter (l/s/m) over de dijk stroomt. Praktijkproeven (de zgn. overslagproeven met de overslaggenerator) suggereren dat dijken mogelijk een hoger overslagdebiet kunnen weerstaan dan waar tot nu toe bij de toetsing en het ontwerp van dijken van uitgegaan wordt.

Bij het afleiden van de overstromingskansen en de decimeringshoogtes die als invoer in de MKBA zijn gebruikt, zijn daarom twee gevoeligheidsanalyses (1a en 1b) uitgevoerd, waarbij verondersteld is dat het maximale overslagdebiet respectievelijk 5 l/m/s en 10 l/m/s bedraagt (zie Kuijper et al., 2011). Uit deze analyses volgt dat de decimeringshoogtes maximaal 10% kleiner worden bij een hogere waarde voor het kritieke overslagdebiet. De invloed op de ligging van het economische optimum zal hierdoor beperkt zijn (zie ook paragraaf 2.7).

### Hogere kosten

Rondom de kosten zijn een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd (De Grave en Baarse, 2011). Op basis daarvan is geschat dat er een kans van 10% bestaat dat de kosten meer dan 50% groter zijn dan die uit de basisvariant. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de economisch optimale overstromingskansen gemiddeld met 45% toenemen wanneer de kosten 50% hoger zijn (bijvoorbeeld van 1/1000 naar  $1,45 \times 1/1000 \approx 1/690$  per jaar).

### Met overhoogte

In de basisvariant is bij het bepalen van de kosten en van de kansen in de referentiesituatie geen rekening gehouden met overhoogte. Nagegaan is wat het mogelijke effect is op de economisch optimale overstromingskansen wanneer er wel rekening gehouden zou zijn met overhoogte.<sup>28</sup> Deze analyse is uitgevoerd voor een vijftal dijkkringdelen waarvoor de overhoogte redelijk bekend is. Daarbij is verondersteld dat deze overhoogte ook daadwerkelijk kerend is (de dijk is dus ook voldoende breed). Deze gevoeligheidsanalyse moet daarom gezien worden als een bovengrensbepaling.

Tabel 6.2 *Economisch optimale overstromingskansen per jaar voor een aantal dijkkringdelen voor de situatie zonder en met overhoogte*

Nr.	Naam	Overstromingskans referentie	Economisch Optimale overstromingskans zonder overhoogte (basisvariant)	Economisch optimale overstromingskans met overhoogte	Vershil
26-1	Schouwen-Duiveland-West	1/4000	1/2600	1/4600	-43%
26-2	Schouwen-Duiveland-Oost	1/4000	1/2800	1/11900	-76%
36-1	Land van Heusden/de Maaskant	1/1250	1/6300	1/5700	11%

NB: de berekeningen voor dijkkringdelen 44-1 en 44-2 leidden niet tot resultaat door de zeer kleine kansen in de referentiesituatie als overhoogte wordt meegenomen.

28. Deze overhoogte is bepaald als het (positieve) verschil tussen de door de beheerder aangeleverde hoogte van de waterkering en de benodigde hoogte die nodig is om aan de referentiesituatie te voldoen.

In twee gevallen vallen de economisch optimale overstromingskansen veel kleiner uit wanneer overhoogte in de berekeningen zou zijn meegenomen. Dat komt doordat er nu niet in alle trajecten gelijktijdig of evenveel geïnvesteerd hoeft te worden om de overstromingskansen te reduceren. Bij dijkkring 36-1 leidt het meenemen van overhoogte tot een iets grotere economisch optimale overstromingskans. Dit is het resultaat van de in paragraaf 2.5 beschreven sprongen die kunnen optreden bij het berekenen van de middenkans.

### **Ander klimaatscenario**

In de basisvariant is uitgegaan van het KNMI scenario Warm+. In een gevoeligheidsanalyse is uitgegaan van klimaatscenario Gematigd+. Dit heeft nauwelijks effect op de economisch optimale overstromingskansen: de economisch optimale overstromingskansen worden dan gemiddeld zo'n 3% groter.

### **Geen overstromingen in Duitsland ('zonder aftoppen')**

In de basisvariant is er van uitgegaan dat het verschil in beschermingsniveaus tussen dijkringen langs de Rijn in Nederland en Duitsland blijft voortbestaan. Hierdoor zullen overstromingen in Duitsland al optreden voordat in Nederland de maatgevende afvoeren worden bereikt. Dit zorgt er voor dat de maximaal mogelijke Rijnafvoer bij Lobith wordt beperkt hetgeen aangeduid wordt als aftoppen. Dit leidt tot geringe decimeringshoogtes in het bovenrivierengebied en bijgevolg tot kleine economisch optimale overstromingskansen.

In een gevoeligheidsanalyse is er van uitgegaan dat de beschermingsniveaus in Duitsland worden verhoogd en dat de voor Nederland gunstige situatie verandert. De Rijnafvoer wordt dan niet langer afgetopt en de decimeringshoogtes en de kosten nemen toe. Hierdoor nemen de berekende economisch optimale overstromingskansen in het bovenrivierengebied gemiddeld met ongeveer 70% toe (bijvoorbeeld van 1/1000 naar  $1,7 * 1/1000 \approx 1/590$  per jaar).

### **Andere weging van het bovenmaatgevende scenario**

In paragraaf 4.3 is aangegeven dat voor de berekening van de verwachtingswaarde rekening gehouden is met de kans op meerdere bressen door gewichten af te leiden voor enkelvoudige doorbraakscenario's en bovenmaatgevende scenario's. Voor de meeste dijkringen is er van uitgegaan dat het bovenmaatgevend scenario een tien keer kleinere kans heeft dan het enkelvoudige doorbraakscenario samen. Voor een aantal dijkringen in het benedenrivierengebied<sup>29</sup> is er echter van uitgegaan dat het bovenmaatgevend scenario een kans heeft die honderd keer zo klein is als het enkelvoudige doorbraakscenario samen.

In twee gevoeligheidsanalyses is uitgegaan van andere aannames. Bij een minder zware weging van het bovenmaatgevend scenario (een honderd keer kleinere kans) vallen de economisch optimale overstromingskansen voor de dijkringen buiten het benedenrivierengebied gemiddeld 19% groter uit (bijvoorbeeld van 1/1000 naar  $1,19 * 1/1000 \approx 1/850$  per jaar).

Bij een zwaardere weging van het bovenmaatgevend scenario in het benedenrivierengebied vallen de economisch optimale overstromingskansen voor deze dijkringen gemiddeld 25% kleiner uit (bijvoorbeeld van 1/1000 naar  $0,75 * 1/1000 \approx 1/1350$  per jaar).

---

29. Dijkkringen 9, 10, 11, 14-3, 15, 16, 17, 20-2, 20-3, 21, 22, 24, 30, 31, 34, 35.

### **Andere aanname over het succes van evacuatie**

In de basisvariant van de MKBA is bij het berekenen van het verwachte aantal dodelijke slachtoffers uitgegaan van de gemiddelde evacuatiefracties voor verschillende gebieden (zie De Bruijn en Van der Doef, 2011). Naar aanleiding van discussies in de regiobijeenkomsten zijn ten aanzien van de evacuatiefractie een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd.

In een gevoeligheidsanalyse (6a) is het aantal dodelijke slachtoffers berekend in de extreme veronderstelling dat preventieve evacuatie onmogelijk is. Hierdoor worden de economisch optimale overstromingskansen gemiddeld 12% kleiner. De effecten hiervan zijn het grootst in het bovenrivierengebied omdat dit de gebieden zijn waarvoor in de basisvariant is verondersteld dat de evacuatiefractie het grootst is (ca 75%). De effecten zijn het kleinst in het benedenrivierengebied en langs de kust omdat hier in de basisvariant verondersteld is dat slechts 15% wordt geëvacueerd.

In twee andere gevoeligheidsanalyses (6b en 6c) zijn voor een zestal dijkringen in het benedenrivierengebied<sup>30</sup> andere evacuatiefracties aangenomen dan in de basisvariant. In gevoeligheidsanalyse 6b is voor deze dijkringen niet uitgegaan van een evacuatiefractie van 15% (zoals voor de kust), maar van 75% (zoals voor het rivierengebied). Gemiddeld genomen leidt dit tot 21% grotere economisch optimale overstromingskansen. In gevoeligheidsanalyse 6c is op basis van de individuele overstromingsscenario's de evacuatiefractie per scenario aangepast. Hierbij is steeds nagegaan of het overstromingsscenario kust- of riviergedomineerd is. Dit leidt tot gemiddeld 20% grotere economisch optimale overstromingskansen voor deze dijkringdelen.

### **Andere discontovoet**

In de basisvariant is een discontovoet van 5,5% gehanteerd. Deze waarde is gebaseerd op kabinetsvoorschriften (zie paragraaf 4.6). Er is gevarieerd met een discontovoet van 4% en 7%. Bij een discontovoet van 4% worden de economisch optimale overstromingskansen zo'n 25% kleiner en bij een discontovoet van 7% worden ze zo'n 25% groter.

### **Andere opslagfactor schade**

In de basisvariant is een opslagfactor van 1,6 op de materiële schade van HIS-SSM gebruikt. Deze factor is opgebouwd uit twee delen. Een opslag van 50% op de materiële schade is gebruikt om een systematische onderschatting van de overstromingsschade als gevolg van ontbrekende schadeposten te voorkomen. De waarde van 1,5 is gebaseerd op literatuuronderzoek en *case studies* en kent een grote mate van onzekerheid. Daarnaast is een opslag van 10% gebruikt om rekening te houden met risicoaversie van huishoudens.

In de gevoeligheidsanalyses is eerst een factor van 1,25 toegepast (een opslag van 25% voor materiële schade en geen opslag voor risicoaversie); de economisch optimale overstromingskansen nemen hierdoor 17% toe. Vervolgens is een factor van 1,95 toegepast (een opslag van 75% op de materiële schade en 20% voor risicoaversie) waardoor de economisch optimale overstromingskansen met 12% afnemen.

### **Andere waarde van een statistisch mensenleven**

In de basisvariant is een waarde gebruikt van 6,7 miljoen euro voor de waardering van een statistisch mensenleven (VOSL). Schattingen van de VOSL vertonen echter een grote bandbreedte. Daarom zijn in twee gevoeligheidsanalyses alternatieve waarden voor de VOSL genomen.

30. *Dijkringdelen 15-1, 16-1, 24-1, 34-1, 34a en 35-1*

In een eerste gevoeligheidsanalyse is uitgegaan van een bedrag per dodelijk slachtoffer van 1,4 miljoen euro als ondergrens. Dit leidt gemiddeld tot 17% grotere economisch optimale overstromingskansen. Grotere toenames zien we in die dijkringen waar de slachtofferschade een groot deel uitmaakt van de totale overstromingsschade (met name dijkringdelen 14-3 en 18-1).

In een tweede gevoeligheidsanalyse is uitgegaan van een bedrag van 11,3 miljoen euro per dodelijk slachtoffer als bovengrens. Dit leidt gemiddeld tot 11% kleinere economisch optimale overstromingskansen.

De range van waarden voor de VOSL uit de gevoeligheidsanalyse sluit aan bij de gebruikelijke bandbreedte in de literatuur (zie ook bijlage D).

### Hoger schadebedrag

De hoogte van de verwachte schade is onzeker. Bijvoorbeeld door onzekerheid over het overstromingsverloop en de standzekerheid van regionale keringen. Ook de schadefuncties en maximale schadebedragen in de schademodule zijn onzeker. In een gevoeligheidsanalyse is nagegaan wat het effect is van een 50% grotere (materiële) schade. Hierdoor worden de economisch optimale overstromingskansen gemiddeld zo'n 25% kleiner.

### Andere economisch groeiscenario's

In de basisvariant is de groeivoet van het Bruto Binnenlands Product van 1,9% per jaar voor het *Transatlantic Market* scenario gebruikt. In een gevoeligheidsanalyse is een lagere groei genomen, 0,7% per jaar (*Regional Communities* scenario). Hierdoor worden de economisch optimale overstromingskansen gemiddeld 58% groter. In een tweede gevoeligheidsanalyse is de impact van een hogere groei bestudeerd. Hiervoor is het groeicijfer van het *Global Economy* scenario genomen (2,6% per jaar). Hierdoor worden de economisch optimale overstromingskansen gemiddeld 22% kleiner.

#### 6.1.3 Conclusie enkelvoudige gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyses laten zien dat de economisch optimale overstromingskansen fors groter of kleiner kunnen zijn bij verschillende waarden voor onzekere variabelen. De economisch optimale overstromingskansen blijken het meest gevoelig te zijn voor het aftoppen van de Rijnafvoer en voor het economisch groeiscenario.

In Figuur 6.1 is per dijkringdeel een bandbreedte getoond rondom de economisch optimale overstromingskansen van de basisvariant. Deze bandbreedte is bepaald op basis van de grootste en kleinste economisch optimale overstromingskansen die berekend zijn in de gevoeligheidsanalyses.

De grootste economisch optimale overstromingskans is gemiddeld zo'n 70% groter dan de economisch optimale overstromingskans uit de basisvariant en de kleinste economisch optimale overstromingskans gemiddeld zo'n 30% kleiner. De verhouding van de grootste ten opzichte van de kleinste economisch optimale overstromingskans is ongeveer 2,5. Dat betekent dat wanneer een economisch optimale overstromingskans van 1/2000 per jaar berekend wordt voor de basisvariant, op grond van de resultaten van de gevoeligheidsanalyses de bandbreedte hieromheen een economisch optimale overstromingskans van afgerond 1/1200 tot 1/3000 per jaar is.

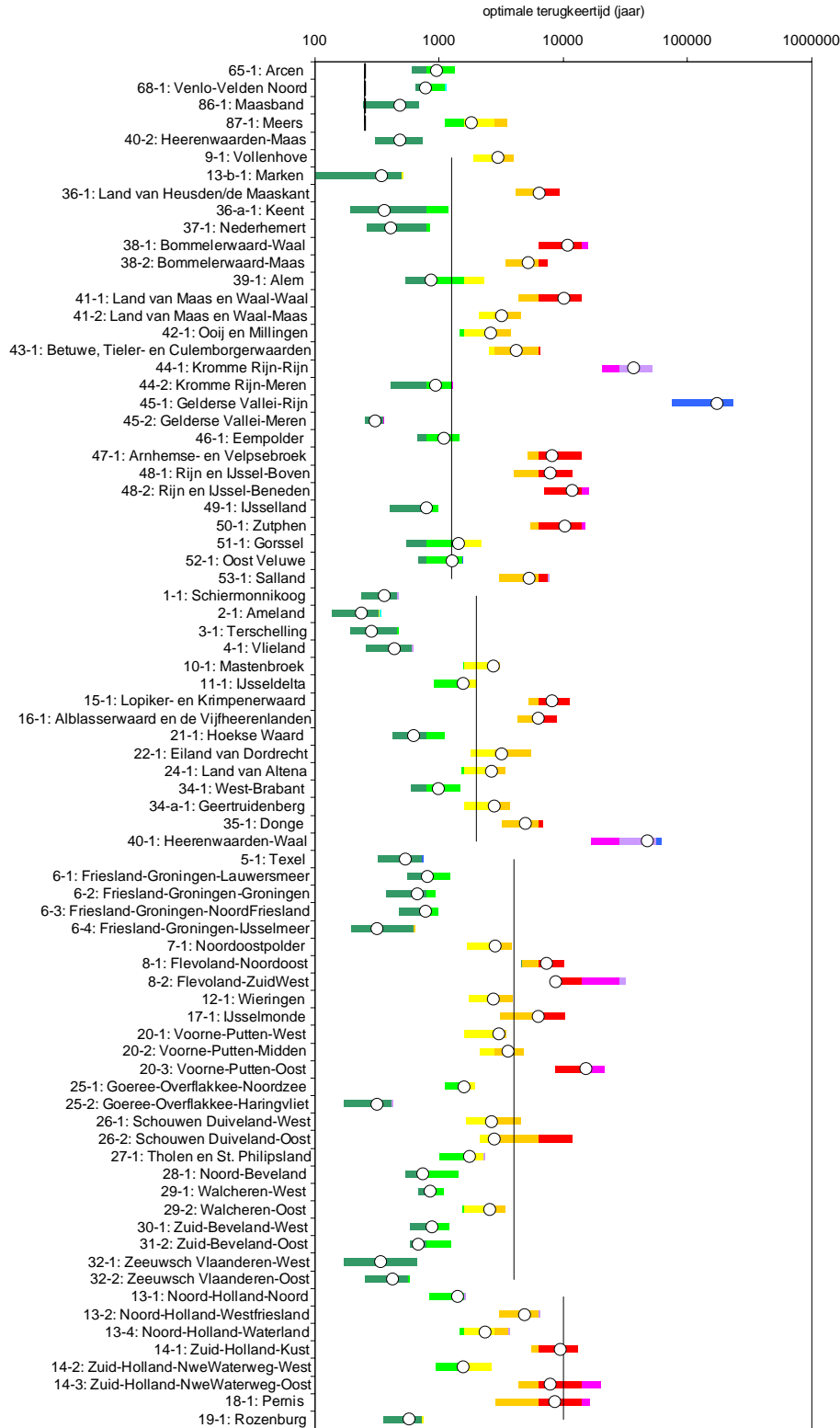
De dijkringdelen zijn in Figuur 6.1 gegroepeerd op basis van de huidige normen (in termen van overschrijdingskansen); deze zijn door middel van verticaal doorgetrokken lijnen

aangegeven. De economisch optimale overstromingskansen zoals die berekend zijn voor de basisvariant zijn aangegeven met zwartomlijnde witte cirkels. De schaalverdeling en kleurstelling voor de economisch optimale overstromingskansen komen overeen met die in hoofdstuk 5

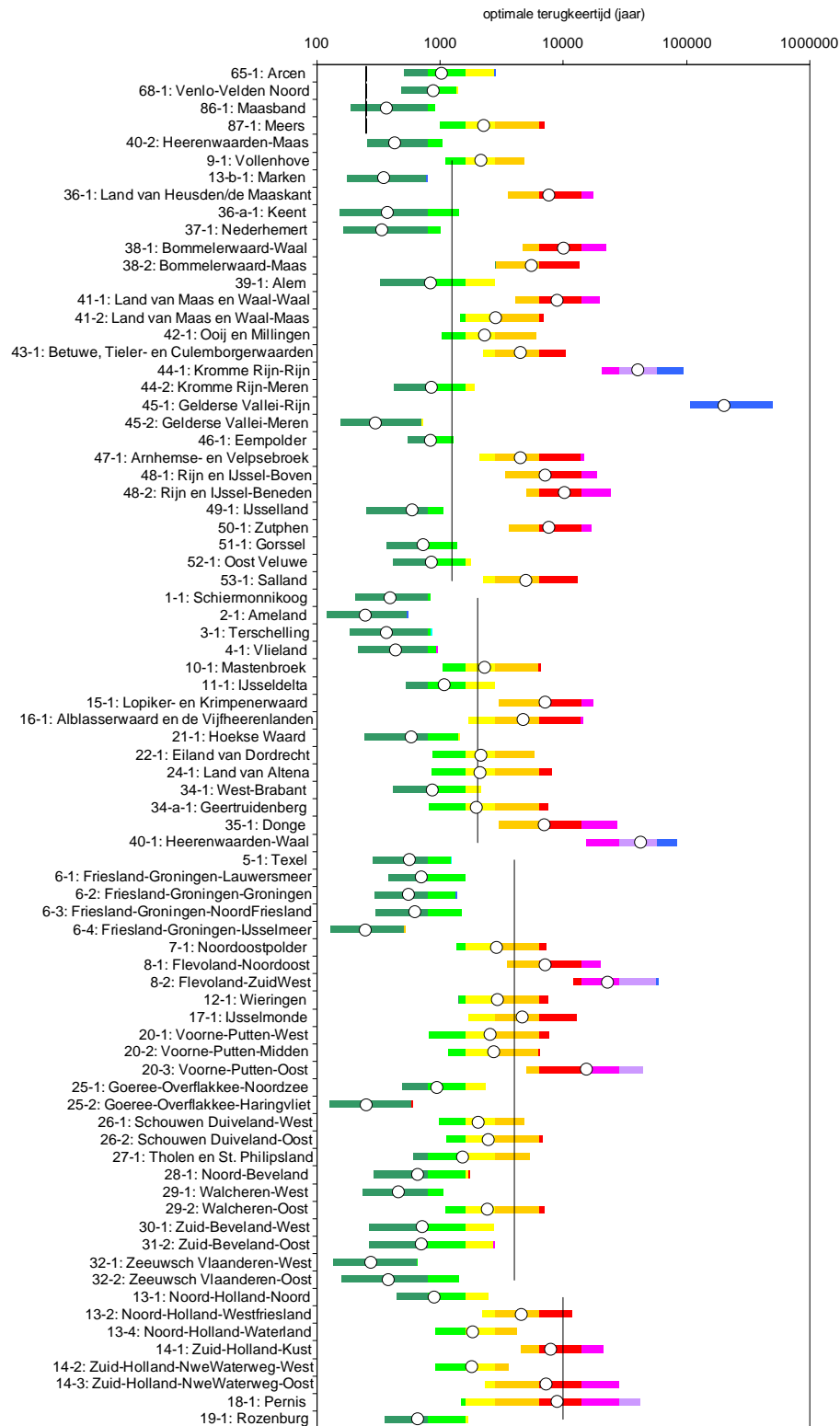
De figuur laat zien dat ook uit de gevoeligheidsanalyse geconcludeerd kan worden dat met name de economisch optimale overstromingskansen voor de dijkringdelen in het rivierengebied kleiner zijn dan die uit de referentiekansen uit de basisvariant en die voor de Waddeneilanden, Friesland, Groningen en Zeeland juist groter. Voor de overige dijkringdelen is dit beeld minder eenduidig. In de figuur kan dit gezien worden aan de gekleurde horizontale balken die de bandbreedte van de economisch optimale overstromingskansen aangeven en die voor veel dijkringen duidelijk links of rechts van de verticale doorgetrokken lijnen liggen.

In Figuur 6.1 valt ook dijkringdeel 8-2 (Flevoland-Zuidwest) op. De economisch optimale overstromingskans zoals die berekend is voor de basisvariant (aangegeven met een cirkel) ligt aan het linkeruiteinde van de gekleurde balk. Dit komt ook overeen met het eerder geconstateerde relatief grote verschil in de economisch optimale overstromingskans voor deze dijkkring zoals die berekend met *OptimaliseRing* en met de directe benaderingsmethode (zie paragraaf 5.2).

**Figuur 6.1** Bandbreedte van de berekende economisch optimale overstromingskansen uit de basisvariant op basis van gevoeligheidsanalyses



Figuur 6.2 80%-betrouwbaarheidsinterval rondom de economisch optimale overstromingskans uit de basisvariant op basis van de Monte Carlo-analyse





## 6.2 Monte Carlo-analyse

Figuur 6.2 laat de uitkomsten van de Monte Carlo-analyse zien. De analyse wordt in deze paragraaf besproken.

In de voorgaande paragraaf is het effect van het variëren van aannames over afzonderlijke onzekere variabelen op de economisch optimale overstromingskans verkend. De resultaten van de enkelvoudige gevoeligheidsanalyses zijn vervolgens verwerkt tot een bandbreedte rondom de economisch optimale overstromingskansen voor de basisvariant.

In deze paragraaf wordt het resultaat van een Monte Carlo-analyse voor de basisvariant besproken. In een Monte Carlo-analyse wordt niet één maar worden de belangrijkste onzekere variabelen allemaal tegelijkertijd gevarieerd. Het resultaat is geen bandbreedte, maar een kansverdeling van de economisch optimale overstromingskans zelf. Uit die kansverdeling kunnen vervolgens betrouwbaarheidsintervallen afgeleid worden. In de Monte Carlo-analyse spelen expertoordelen over de kansverdelingen rondom de onzekere variabelen een belangrijke rol.

Uit de Monte Carlo-analyse blijkt dat voor de meeste dijkringen met 80% waarschijnlijkheid de economisch optimale overstromingskans zich in een bandbreedte van ongeveer -60% tot +100% ten opzichte van de uitkomst in de basisvariant bevindt (een factor 5 tussen boven- en ondergrens). Bijvoorbeeld, indien in de basisvariant een economisch optimale overstromingskans van 1/2000 per jaar berekend wordt, dan ligt deze kans met een waarschijnlijkheid van 80% tussen 1/1000 per jaar en 1/5000 per jaar. Deze bandbreedtes zijn groter dan die in de enkelvoudige gevoeligheidsanalyses gevonden zijn (-30% tot + 70%).

Indien een betrouwbaarheidsinterval van 90% gekozen wordt, dan verruimt de bandbreedte tot ongeveer -70% en +150% van de uitkomst in de basisvariant (bijvoorbeeld tussen 1/800 en 1/6700 per jaar indien de uitkomst in de basisvariant 1/2000 per jaar is).

De bandbreedtes zijn doorgaans iets groter voor de dijkringdelen waar relatief veel dodelijke slachtoffers verwacht worden. Behalve de onzekerheid rondom de materiële schade speelt daar ook de onzekerheid van het aantal dodelijke slachtoffers en de waardering daarvan een belangrijke rol, waardoor de totale onzekerheid toeneemt. Een extreem voorbeeld hiervan is dijkkring 18 (Pernis), waar het 80% betrouwbaarheidsinterval van de economisch optimale overstromingskans tussen 1/1500 en 1/42.000 per jaar ligt.

Voor alle dijkringdelen is de gemiddelde economisch optimale overstromingskans in de Monte Carlo-analyse kleiner dan de uitkomst in de basisvariant (berekend met de directe benadering). Het verschil bedraagt voor de meeste dijkringdelen tussen 15% en 30%. De verschillen zijn het grootste voor de dijkringdelen die de grootste onzekerheid in schade hebben. Deze aan schade gerelateerde onzekerheden hebben meestal een rechtsscheve verdeling hebben, waardoor de gemiddelde waarde van de schade hoger is dan de meest waarschijnlijke waarde die in de basisvariant is gehanteerd. Hogere schadebedragen resulteren in een kleinere economisch optimale overstromingskans.

**Box 6.1      Werkwijze Monte Carlo-analyse**

De Monte Carlo-analyse is in vier stappen uitgevoerd.

Eerst zijn de variabelen geïdentificeerd die belangrijk zijn voor de uitkomsten van de MKBA en waarover kennisonzekerheid bestaat. De volgende variabelen zijn in de Monte Carlo-analyse meegenomen:

- discountvoet;
- kosten van dijkverhoging, opgedeeld in twee elementen:
  - onzekerheid van kostenraming;
  - impact van aftoppen;
- decimeringshoogte;
- onzekerheid van overstromingspatroon;
- onzekerheid van schaderaming door HIS-SSM;
- opslag voor overige schadeposten;
- evacuatiefractie;
- aantal getroffen en;
- mortaliteitsfractie;
- immateriële kosten per dodelijk slachtoffer;
- immateriële kosten per getroffene;
- economische groei tussen basisjaar (2011) en jaar waarvoor de middenkans wordt berekend (2050).

Vervolgens hebben verschillende experts voor elk van deze variabelen een kansverdeling bepaald. Waar nodig zijn de kansverdelingen per dijkkringdeel gedifferentieerd. Daarna zijn per dijkkringdeel 10.000 trekkingen uit de kansverdelingen van de onzekere variabelen gedaan.

Voor elke trekking is de economisch optimale overstromingskans berekend. Daarvoor is gebruik gemaakt van de formule van de directe benadering zoals beschreven in paragraaf 2.7. Het uiteindelijke resultaat is een kansverdeling per dijkkringdeel van de economisch optimale overstromingskans. Uit deze kansverdelingen kunnen twee interessante gegevens afgeleid worden:

- bandbreedte inclusief betrouwbaarheidsinterval van de economisch optimale overstromingskansen;
- verhouding tussen de gemiddelde economisch optimale overstromingskans en de economisch optimale overstromingskans in de basisvariant (waarbij deze laatste met de directe benaderingsmethode berekend is, zodat ze met de resultaten van de Monte Carlo-analyse vergelijkbaar is).

Voor meer details over de aanpak en de resultaten van de Monte Carlo-analyse, zie bijlage G.

De meeste kostengerelateerde onzekerheden hebben daarentegen een min of meer symmetrische verdeling, behalve de onzekerheid over de impact van aftoppen die ook een uitgesproken rechtsscheve verdeling heeft. In de dijkkringdelen die erg gevoelig zijn voor aftoppen compenseren daardoor de effecten van de rechtsscheve schade- en kostengerelateerde onzekerheidsfactoren elkaar. Het gevolg is dat voor deze dijkkringdelen de verschillen tussen het gemiddelde van de Monte Carlo-analyse en de uitkomst van directe benaderingsmethode kleiner zijn (bijvoorbeeld in dijkkringdeel 40-1 Heerewaarden-Waal leiden beide methoden tot ongeveer dezelfde economisch optimale overstromingskans).

In de meeste dijkkringdelen zijn het overstromingsverloop en de kostenraming van de dikversterking de twee belangrijkste bronnen van onzekerheid. Uitzonderingen vormen (1) de

'bakjesdijkeringen'<sup>31</sup>, waar de onzekerheid over het overstromingsverloop relatief klein is, en (2) de dijkringdelen met een hoog aantal dodelijke slachtoffers (zoals Pernis), waar de onzekerheid over de slachtoffergelateerde factoren (evacuatie, monetaire waardering van dodelijke slachtoffers, etc.) dominant is.

Figuur 6.2 lijkt op Figuur 6.1 maar is gebaseerd op het 80-procents betrouwbaarheidsinterval uit de Monte Carlo-analyse. De bandbreedte is in deze figuur groter dan die afgeleid uit de enkelvoudige gevoeligheidsanalyses. Maar ook in dit geval ligt het zwaartepunt van de economisch optimale overstromingskans voor veel dijkringdelen duidelijk links of rechts van de overstromingskans uit de referentiesituatie.

### 6.3 Varianten

In deze paragraaf wordt nagegaan in hoeverre de berekende economisch optimale overstromingskansen uit de basisvariant ook robuust zijn in enkele regionale situaties waar afwegingen gemaakt worden over enkele specifiek te nemen maatregelen. Daarbij wordt nadrukkelijk niet ingegaan op nut en noodzaak van deze maatregelen zelf – daarvoor zijn of worden immers andere studies uitgevoerd. In deze paragraaf worden de berekende economisch optimale overstromingskansen gepresenteerd in de veronderstelling dat de keuze voor maatregelen anders uitvalt dan eerder in de basisvariant is aangenomen. Voor het overige zijn de veronderstellingen gelijk aan die in de basisvariant.

#### C-keringen dijkringen 14, 15 en 44

In de basisvariant is er vanuit gegaan dat de C-keringen langs de Hollandsche IJssel en het Amsterdam-Rijnkanaal voldoen aan de hydraulische randvoorwaarden, waardoor er na een overstroming langs de Nederrijn-Lek geen water loopt vanuit dijkringdelen 15-1 (Lopiker en Krimpenerwaard) of 44-1 (Kromme Rijn) naar dijkkringdeel 14 (Zuid-Holland).

Uit de Compartimenteringstudie (Asselman et al., 2008) blijkt dat deze twee C-keringen op dit moment nog niet de beoogde bescherming bieden en dat dijkkring 14 wel degelijk onder water kan komen te staan via de aangrenzende dijkringen 15 en 44. In de WV21-gebiedspilot *Nadere verkenning Waterveiligheid Centraal Holland* (Van der Vat et al., 2010) worden de mogelijkheden tot verbetering onderzocht.

Als variant is hier uitgegaan van de huidige situatie van de C-keringen langs het Amsterdam-Rijnkanaal en de Hollandse IJssel. Tabel 6.3 laat zien dat de totale gevolgen dan groter zijn, doordat ook delen van dijkkring 14 onderlopen. Het effect hiervan is het grootst op het aantal getroffen en schade en slachtofferaantallen nemen minder toe. Tegenover de extra schade in dijkkring 14 staat overigens een afname van de schade in dijkkring 44 en 15 zelf, doordat er minder water in deze dijkringen zelf zal blijven (dit laatste is niet zichtbaar in de tabel).

---

31. Zie voor een overzicht *De Bruijn en Van der Doef, 2011*

Tabel 6.3 Verwachtingswaarde voor de schade en aantallen getroffen en dodelijke slachtoffers in 2011 voor doorbraken in de dijkringdelen 15-1 en 44-1, voor de basisvariant (waarbij de C-keringen op orde zijn) en een variant waarbij de C-keringen niet op orde zijn<sup>32</sup>

Nr	Naam	Basisvariant (C-keringen op orde)			Variant (C-keringen niet op orde)		
		Schade (M euro)	Aantal Getroffenen	Aantal Slacht- offers	Schade (M euro)	Aantal Getroffenen	Aantal Slacht- offers
15-1	Lopiker- en Krimpenerwaard	13 000	170 000	1 100	16 800	340 000	1 500
44-1	Kromme Rijn-Rijn	22 000	480 000	360	24 700	670 000	390

In de basisvariant zijn economisch optimale overstromingskansen van 1/8000 per jaar voor dijkkring 15-1 en 1/36.000 per jaar voor dijkkringdeel 44-1 berekend. Voor de variant waarin de C-keringen niet op orde zijn, worden iets kleinere economisch optimale overstromingskansen berekend van 1/11.000 per jaar voor dijkkring 15-1 en 1/42.000 per jaar voor dijkkring 44-1.

De economisch optimale overstromingskansen voor dijkkringdelen 15-1 en 44-1 zijn dus redelijk onafhankelijk van de staat van de C-keringen die deze dijkringen van dijkkring 14 scheiden.

### Compartmentering van dijkkring 43

Uit eerdere verkenningen (zie o.a. Ter Maat et al., 2008) is geconcludeerd dat compartimentering van dijkkring 43 langs het Amsterdam-Rijnkanaal mogelijk een wenselijke maatregel is. Daarom zijn de economisch optimale overstromingskansen berekend voor een situatie waarin dijkkring 43 gecompartmenteerd zou zijn in een westelijk en een oostelijk deel.

Door de compartimentering nemen de gevolgen van een oostelijke doorbraak af. Immers niet de gehele dijkkring, maar slechts het oostelijk deel zal onderlopen. Voor een doorbraak in het westen zijn de gevolgen vergelijkbaar. De totale gevolgen van de twee delen zijn iets groter dan die in de ongecompartmenteerde situatie.

Tabel 6.4 Verwachtingswaarde voor de schade en aantallen getroffen en dodelijke slachtoffers in 2011 dijkkring 43, basisvariant en variant met compartimentering<sup>33</sup>

Nr	Naam	Basisvariant (zonder compartimentering)			Variant (met compartimentering)		
		Schade (M euro)	Aantal Getroffenen	Aantal Slacht- offers	Schade (M euro)	Aantal Getroffenen	Aantal Slacht- offers
43-1	Betuwe, Tieler- en C'waarden	18 000	220 000	340	nvt	nvt	nvt
	- westelijk compartiment	nvt	nvt	nvt	10 900	103 000	180
	- oostelijk compartiment	nvt	nvt	nvt	8 000	153 000	160

De kosten voor een verhoging van het beschermingsniveau met een factor 10 zijn voor het westelijk deel ongeveer 15 procent lager dan voor het oostelijk deel (De Grave en Baarse, 2011).

32. Zie voetnoten 10 en 13.

33. Zie voetnoten 10 en 13.

In de basisvariant (zonder compartimentering) is een economisch optimale overstromingskans berekend van 1/4100 per jaar. Met compartimentering berekent *OptimaliseRing* een economisch optimale overstromingskans van 1/6300 per jaar voor het westelijk deel en 1/4300 per jaar voor het oostelijk deel.

Aandachtspunt is de eis die wordt gesteld aan de compartimenteringsdijk langs het Amsterdam-Rijnkanaal. In bovenstaande berekeningen is aangenomen dat een doorbraak in het oostelijk deel in geen enkel scenario leidt tot schade in het westelijk deel. Is dat wel het geval en neemt de schade bij een doorbraak in het oostelijk deel toe, dan zal ook voor het oostelijk deel de economisch optimale overstromingskans kleiner zijn.

## **IJsselmeerpeil**

In het Nationaal Waterplan wordt er vanuit gegaan dat het peil van het IJsselmeer vanaf 2035 meestijgt met de zeespiegel. Hierdoor kan onder vrij verval water worden geloosd op de Waddenzee maar moeten de dijken rondom het IJsselmeer worden verhoogd. Als alternatief worden in het kader van het deelprogramma IJsselmeergebied ook opties onderzocht om het IJsselmeerpeil meer of juist minder te laten stijgen. In de MKBA WV21 zijn twee opties doorgerekend: het IJsselmeerpeil stijgt na 2035 niet mee (het water moet dan uit het IJsselmeer gepompt worden) of het IJsselmeerpeil stijgt met 1 meter in de komende eeuw, ongeacht de mate van zeespiegelstijging. Beide opties leiden tot vrijwel dezelfde economisch optimale overstromingskansen voor 2050 als die berekend zijn voor de basisvariant. De discussie over het IJsselmeerpeil is daarmee niet relevant voor de uitkomsten van de MKBA.

## 7 Implicaties

*Dit hoofdstuk beschrijft de logische consequenties als gekozen zou worden voor de berekende economisch optimale overstromingskansen als norm. Als eerste wordt nagegaan wat de economisch optimale overstromingskansen uit de basisvariant zouden betekenen voor de A-keringen in termen van verhogingen van de maatgevende hoogwaterstanden en benodigde kruinhoogten. Vervolgens wordt nagegaan of, binnen de huidige systematiek, de keuze voor de economisch optimale overstromingskansen van de A-keringen ook gevolgen zou hebben voor de eisen die gesteld worden aan de B- en C-keringen. Als laatste geeft dit hoofdstuk een raming van de investeringskosten om de economisch optimale overstromingskansen te realiseren.*

### 7.1 A-keringen

#### 7.1.1 Verhogingen van maatgevende hoogwaterstanden

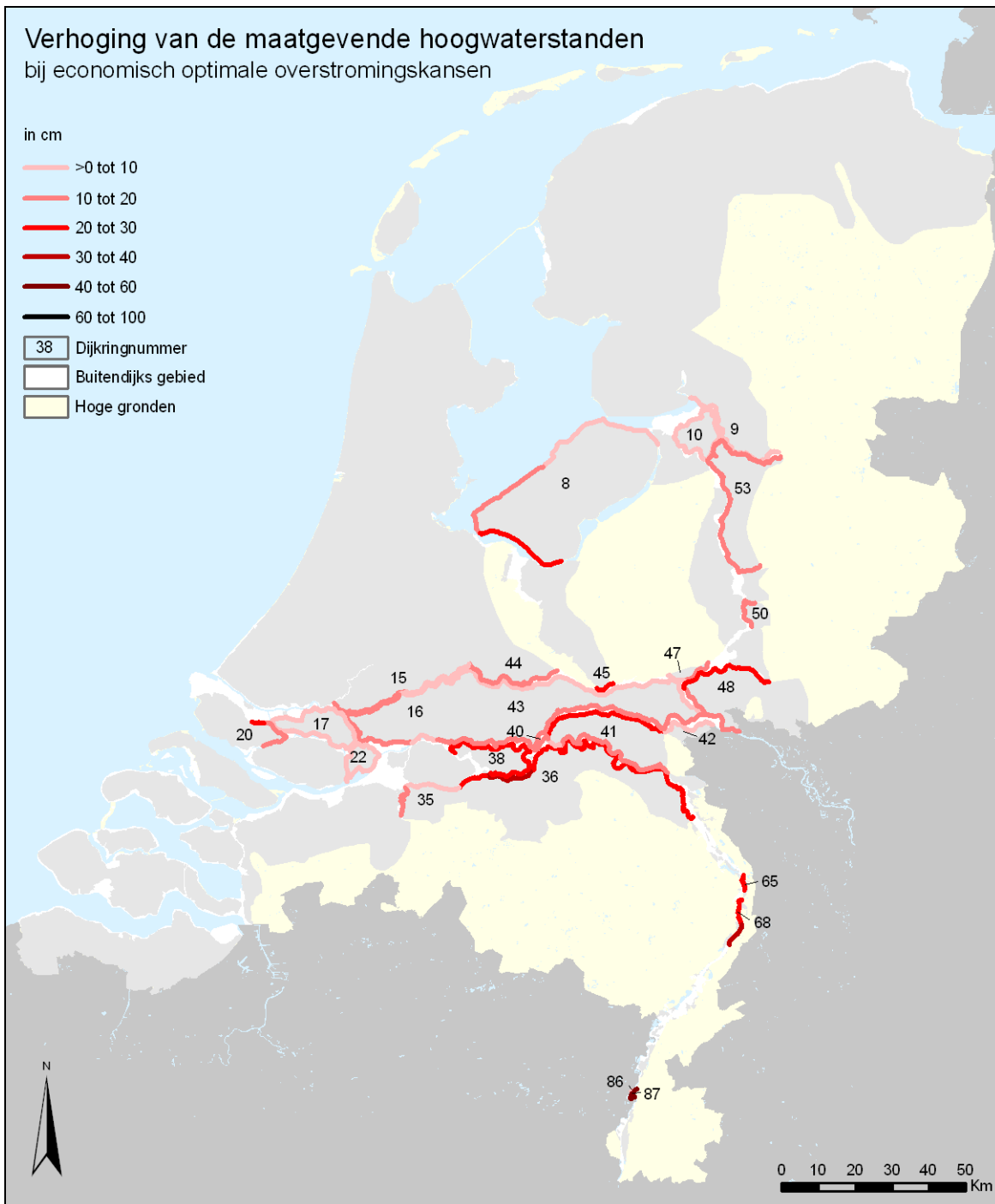
De maatgevende hoogwaterstand is een waterstand die een dijk nog veilig moet kunnen keren. Deze heeft een bepaalde kans om op te treden of overschreden te worden. Bij een hoger beschermingsniveau van dijken horen hogere maatgevende hoogwaterstanden.

De verhogingen van maatgevende hoogwaterstanden die de dijken moeten kunnen keren om de economisch optimale beschermingsniveaus van de basisvariant te bereiken, zijn berekend op basis van de decimeringshoogtes voor de waterstand zoals die ook in de basisvariant zijn gebruikt (zie Figuur 4.4 uit paragraaf 4.2) en de verhouding van de economisch optimale overstromingskans ten opzichte van de referentiekans voor de basisvariant (zie hoofdstuk 5).

Decimeringshoogtes voor waterstanden zijn met name in het bovenrivierengebied relatief klein omdat er in de basisvariant van uit is gegaan dat de maximale Rijnafvoer wordt beperkt door overstromingen in Duitsland. Kleine decimeringshoogtes leiden tot kleine economisch optimale overstromingskansen omdat voor een reductie van de overstromingskans relatief weinig kosten hoeven te worden gemaakt. Maar ook het omgekeerde geldt: kleine overstromingskansen in het bovenrivierengebied kunnen worden gerealiseerd door geringe verhogingen van de maatgevende hoogwaterstanden als de decimeringshoogtes voor de waterstand klein zijn.

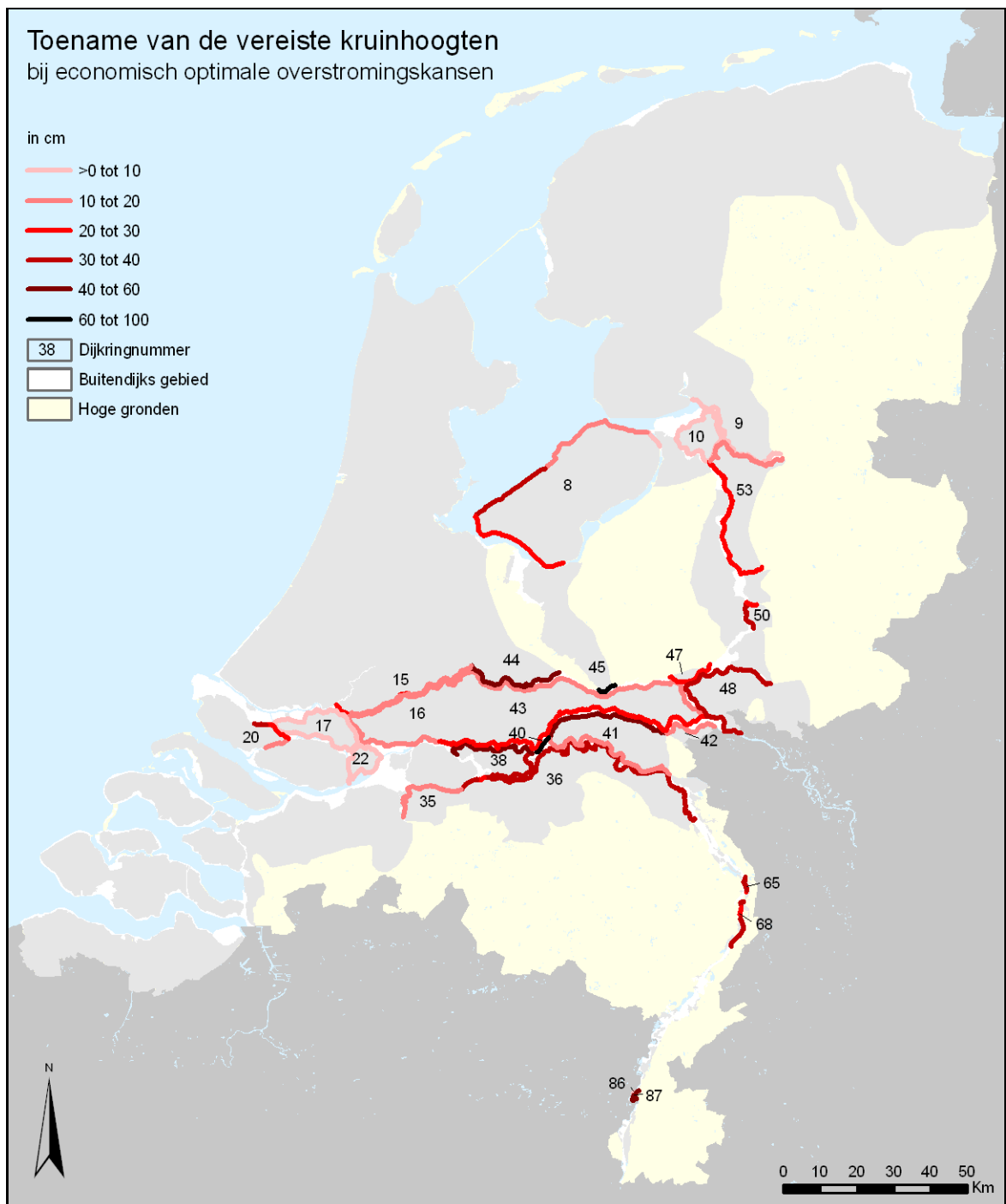
Figuur 7.1 toont de benodigde verhogingen van de maatgevende hoogwaterstanden voor de dijken die nodig zouden zijn bij een keuze van de economisch optimale overstromingskansen van de basisvariant. In deze figuur zijn alleen de positieve waarden getoond. Dat zijn waarden voor die dijkkringdelen waar de economisch optimale overstromingskans kleiner is dan de referentiekans. In de overige dijkkringdelen zijn immers geen verhogingen nodig omdat de referentiekansen daar al kleiner zijn dan de economisch optimale overstromingskansen. De benodigde extra verhogingen zijn die verhogingen die uitsluitend voor het bereiken van de economisch optimale overstromingskansen vereist zouden zijn. Wat daarnaast nodig is om de effecten van klimaatverandering en bodemdaling te compenseren, is in deze getallen dus niet meegenomen.

Zoals de figuur laat zien, zijn de verhogingen van de maatgevende hoogwaterstanden over het algemeen beperkt, gemiddeld zo'n 20 centimeter voor het rivierengebied en voor Flevoland.



Figuur 7.1

Verhogingen van de maatgevende hoogwaterstanden die nodig zouden zijn wanneer gekozen zou worden voor de economisch optimale overstromingskansen van de basisvariant. Voor de dijkeringen langs de onbedijkte Maas zijn alleen de 4 Maaskaden weergegeven waarvoor in de MKBA berekeningen zijn gemaakt. Verhogingen van maatgevende waterstanden voor de Duitse delen van dijkkring 42 en 48 zijn niet getoond.



Figuur 7.2

Benodigde verhogingen van de kruin die nodig zouden zijn wanneer gekozen zou worden voor de economisch optimale overstromingskansen van de basisvariant. Voor de dijkringen langs de onbedijkte Maas zijn alleen de 4 dijkringen weergegeven waarvoor in de MKBA berekeningen zijn gemaakt. Verhogingen van de benodigde kruinhoogten voor de Duitse delen van dijkkring 42 en 48 zijn niet getoond.



Merk op dat in het bovenrivierengebied hogere beschermingsniveaus ook kunnen worden bereikt door in plaats van de dijken te verhogen de maatgevende hoogwaterstanden in de rivier te verlagen. Dit kan worden gerealiseerd met rivierverruimende maatregelen zoals dijkerugleggingen, zomerbedverdieping, uiterwaardverlagingen of groene rivieren. Rivierverruiming sluit aan bij het vigerende beleid voor de grote rivieren.

### 7.1.2 Benodigde extra kruinhoogten

De benodigde extra kruinhoogten die nodig zijn om de economisch optimale beschermingsniveaus van de basisvariant te bereiken, zijn berekend op basis van de decimeringshoogtes voor de kruin zoals die ook in de basisvariant zijn gebruikt (zie Figuur 4.3 uit paragraaf 4.2) en de verhouding van de economisch optimale overstromingskans ten opzichte van de referentiekans voor de basisvariant (zie hoofdstuk 5).

Figuur 7.2 (zie vorige pagina) geeft de benodigde extra kruinhoogten. Net als Figuur 7.1 zijn hier alleen de positieve waarden getoond. De benodigde extra kruinhoogten die in het figuur getoond zijn, zijn die verhogingen die uitsluitend voor het bereiken van de economisch optimale overstromingskansen vereist zouden zijn. Wat daarnaast nodig is om de effecten van klimaatverandering en bodemdaling te compenseren, is in deze getallen dus niet meegenomen.

Gemiddeld is er in het rivierengebied zo'n 30 centimeter en in Flevoland zo'n 20 centimeter extra kruinhoogte nodig. Voor een aantal dijkringen is dit ook aanmerkelijk meer. Daarbij wordt opgemerkt dat geen rekening is gehouden met eventueel al aanwezige overhoogte van dijken. Van dijkkringdeel 44-1 en 45-1 is bijvoorbeeld bekend dat er overhoogte aanwezig is omdat hier in het verleden hogere maatgevende afvoeren zijn toegepast. Door overhoogte is een minder omvangrijke maatregel nodig. Dit leidt tot lagere kosten.

## 7.2 B-keringen

B-keringen zijn verbindende waterkeringen (VWK). Dit zijn keringen die in het water voor een A- of C-keringen liggen en buitenwater keren. Voor deze keringen zijn in de MKBA geen economisch optimale overstromingskansen berekend.

De huidige systematiek is dat een B-kering de strengste norm heeft van de aanliggende of achterliggende A-keringen.<sup>34</sup> Bij het bepalen van de economisch optimale overstromingskans van de A-keringen is er in de MKBA om verschillende redenen aan voorbij gegaan dat dit mogelijk ook tot extra kosten voor de B-kering zou kunnen leiden (zie ook paragraaf 1.5). Daarom is nagegaan of en in welke gevallen hier wel sprake van zou zijn, als de economisch optimale overstromingskans gevolgd zou worden. Tabel 7.1 geeft hiervan het resultaat.

---

34. Hoe efficiënt dit is, wordt op dit moment voor de Afsluitdijk onderzocht in het project MKBA norm Afsluitdijk, een studie van het Centraal Planbureau.

Tabel 7.1 Huidige norm van 8 B-keringen waarvoor geldt dat deze groter is dan de kleinste economisch optimale overstromingskans voor de aanliggende of achterliggende A-keringen

(VWK) Nr.	Naam	Huidige norm	Dijkringdelen	Maatgevend dijkkringdeel			
				Basisvariant		Tweede referentie	
				Nr.	Econ. optimale overstrom- ingskans	Nr.	Econ. optimale overstrom- ingskans
6	Spooldersluis	1/2000	9-1; 10-1; 53-1	53-1	1/5300	53-1	1/2900
8	Maeslantkering	1/10.000	Benedenrivierengebied	20-3	1/15.100	20-3	1/9300
9	Europoortkering II / Hartelkering	1/10.000	Benedenrivierengebied	20-3	1/15.100	20-3	1/9300
11	Haringvlietdam	1/4000	Benedenrivierengebied	20-3	1/15.100	20-3	1/9300
13	Afsluitdijk Andel en Wilhelminasluis	1/2000	24-1; 38-1	38-1	1/10.700	38-1	1/7500
24	Heerewaardense Afsluitdijk + Schutsluis St. Andries	1/2000	38-1; 40-1	40-1	1/47.200	40-1	1/20.300
26	Keersluis Heusdensch Kanaal	1/2000	24-1; 37-1; 38-2	38-2	1/5200	38-2	1/4600
27	Bergse Maasdijk	1/2000	24-1; 37-1; 38-2	38-2	1/5200	38-2	1/4600

In 8 gevallen blijkt de huidige (overschrijdingskans)norm van de B-kering groter te zijn dan de economisch optimale overstromingskans van de achterliggende of aanliggende B-kering.<sup>35</sup>

Met name de berekende economisch optimale overstromingskans van 1/15.000 per jaar voor dijkkringdeel 20-3 (Voorne-Putten-Oost) zou betekenen dat de normen voor de Maeslantkering (VWK 8), de Europoortkering II/Hartelkering (VWK 9) en Haringvlietdam (VWK 11) moeten worden aangescherpt. Met de kosten hiervoor is bij de bepaling van het economisch optimale beschermingsniveau voor dijkkringdeel 20-3 geen rekening gehouden. Wanneer strikt vastgehouden wordt aan het huidige beleid dat de voorliggende B-kering(en) de kleinste kans moet hebben van de achterliggende A-keringen, dan zou de eerder berekende economisch optimale overstromingskans voor dijkkringdeel 20-3 te klein zijn.

De kosten voor het verhogen van het beschermingsniveau van de overige B-keringen uit de tabel zijn ten opzichte van die voor de A-keringen relatief beperkt (zie De Grave en Baarse, 2011, alsmede bijlage F). Eventuele extra maatregelen aan de B-kering zullen daarom slechts een geringe invloed hebben op de economisch optimale overstromingskansen voor de dijkkringdelen genoemd in de tabel.

### 7.3 Compartimenterende C-keringen

Een compartimenterende C-kering zorgt voor een scheiding tussen twee dijkringen met een verschillende norm.<sup>36</sup> De compartimentering treedt in werking nadat een A- of B-kering heeft

35. Indien uitgegaan zou worden van een economisch optimale overstromingskans van circa 1/20.000 per jaar voor dijkkringdeel 8-2, dan gelden deze opmerkingen ook voor de sluisen bij IJmuiden (huidige norm 1/10.000 per jaar), de Afsluitdijk (huidige norm 1/10.000) en/of de Houtribdijk (huidige norm 1/10.000), de Kadoelersluis (huidige norm 1/4000 per jaar) en de Nijkerkersluis (huidige norm 1/4000 per jaar).

gefaald. In de huidige situatie geldt dat dit type C-kering in principe de strengste norm krijgt van de (eventueel meest benedenstroomse gelegen) dijkringen die door de C-kering gescheiden worden.<sup>37</sup> Bij de bepaling van de economisch optimale overstromingskansen voor de A-keringen is in de MKBA met dit principe geen rekening gehouden. Daarom is nagegaan in welke gevallen dit zou kunnen spelen, in het geval dat de economisch optimale overstromingskans gevolgd zou worden. Zie Tabel 7.2.

Tabel 7.2 2 compartimenterende C-keringen waarvoor geldt dat de huidige norm in termen van overschrijdingskansen groter is dan de berekende economisch optimale overstromingskansen voor de aangrenzende dijkringdelen.

Naam	Huidige norm	Dijkringdelen	Maatgevend dijkringdeel			
			Basisvariant		Tweede referentie	
			Nr	Economisch optimale overstromingskans	Nr	Economisch optimale overstromingskans
Diefdijklinie	1/2000	16-1; 43-1	16-1	1/6200	16-1	1/5200
Drongelens kanaal	1/2000	35-1; 36-1	36-1	1/6300	36-1	1/4100

Als de dijkringen een norm zouden krijgen die overeenkomt met de economisch optimale overstromingskansen, dan zou dit op grond van de huidige systematiek gevolgen kunnen hebben voor de eisen die aan de Diefdijk en het Drongelens kanaal worden gesteld.

Een ander geval doet zich mogelijk voor bij de Knardijk, die de grens vormt tussen dijkringdelen 8-1 en 8-2 in Flevoland. De Knardijk heeft op dit moment de status van een regionale kering. Wanneer gekozen zou worden voor de economisch optimale overstromingskansen als norm en het zuidwestelijk deel van Flevoland (dijkringdeel 8-2) zou een strengere norm krijgen dan het noordoostelijk deel (8-1), dan ligt het voor de hand om van de Knardijk een categorie C-kering te maken. Met de eventuele extra kosten die een aanpassing van de Knardijk met zich meebrengt, is bij het bepalen van de economisch optimale overstromingskansen van de dijkringdelen 8-1 en 8-2 in de MKBA geen rekening gehouden.

## 7.4 Investeringskosten

In deze laatste paragraaf worden de kosten van investeringen voor het bereiken van de economisch optimale overstromingskansen voor de basisvariant en de tweede referentie gegeven. De raming bestaat uit vier onderdelen: (1) kosten voor het bereiken van de referentiesituatie van de basisvariant (waarin de overstromingskansen per dijkringdeel gelijk zijn aan de wettelijk overschrijdingskansen), (2) kosten voor het aanpassen van de beschermingsniveaus naar de economisch optimale beschermingsniveaus, (3) kosten die nodig zijn voor het compenseren van klimaatverandering (en bodemdaling), en (4) kosten van alle overige programma's, projecten en onderdelen op het gebied van hoogwaterbescherming. Onderdelen (2) en (3) zijn het resultaat van de economisch optimale

36. Een ander type C-kering is een C-kering die achter een B-keringen ligt en binnenwater keert (bijv. de keringen langs het Volkerak-Zoommeer en de Veluwerandmeren). Voor deze keringen kunnen apart economisch optimale overstromingskansen worden afgeleid. Dit valt buiten de scope van de MKBA WV21.

37. De analyse van de variant van de C-keringen langs de Hollandsche IJssel en het Amsterdam-Rijnkanaal in paragraaf 6.3 geeft overigens voldoende aanleiding om te twijfelen aan de economische doelmatigheid van dit voorschrift.

investeringsstrategie zoals die berekend wordt door *OptimaliseRing*. De toedelingmethode van de totale kosten aan deze onderdelen is toegelicht in Bijlage E.

Tabel 7.3 geeft voor de twee referenties een overzicht van de kosten tot het jaar 2070. Dit zijn kosten op basis van dijkversterking. Het jaar van 2070 is hier gekozen omdat door de ingebouwde 'besteltijd' van 20 jaar in de middenkans, een middenkans van 2050 zal leiden tot het uitvoeren van maatregelen tot in circa 2070 (zie paragraaf 2.4).<sup>38</sup>

De getallen die in **vet** zijn weergegeven, zijn de verwachtingswaarden. Voor de kosten voor het bereiken van de referentiesituatie van de basisvariant en die samenhangen met het aanpassen van het beschermingsniveau staan tussen haakjes een ondergrens en bovengrens. Deze zijn gelijk gebaseerd op het 80% betrouwbaarheidsinterval (-20% en +50%) van De Grave en Baarse (2011).<sup>39</sup> Voor de kosten voor het compenseren van de effecten van klimaatsverandering is het niet mogelijk om een onder- en bovengrens te geven vanwege de onzekerheid over het optreden van deze klimaatsveranderingen. Hier zijn ze gebaseerd op het W+ scenario.

De kosten voor de basisvariant en de tweede referentie kunnen om twee redenen maar in beperkte mate met elkaar vergeleken worden. Ten eerste zijn de economisch optimale beschermingsniveaus van de basisvariant en de tweede referentie niet aan elkaar gelijk (zie hoofdstuk 5). Ten tweede is de Ausgangssituatie voor de basisvariant veiliger dan die voor de tweede referentie (zie hoofdstuk 3).

In de tabel worden de ramingen getoond onder twee verschillende aannames: één waarbij er vanuit gegaan wordt dat alle effecten van klimaatverandering worden gecompenseerd en de nieuwe beschermingsniveaus dus minimaal gelijk zijn aan de referentiekansen ('zonder achteruitgang'), en één waarbij er vanuit gegaan wordt dat deze effecten alleen worden gecompenseerd als dat ook economisch rendabel is ('met achteruitgang').<sup>40</sup>

Om aan te sluiten bij de begrotingssystematiek van het rijk, zijn de kosten in de tabel inclusief BTW. Ook zijn de kosten exclusief beheer en onderhoud (0,1 tot 0,6% van de investeringen, zie ook paragraaf 4.7). Dit wijkt af van de berekening van de economisch optimale overstromingskansen in de MKBA, waar BTW niet en beheer en onderhoud juist wel zijn meegenomen.

- 
38. Voor het Deltaprogramma is het ook gewenst om de kosten tot 2050 in beeld te brengen. Deze zijn in Tabel B.1 in Bijlage B gegeven.
39. Dit betrouwbaarheidsinterval is alleen van toepassing als er vanuit gegaan wordt dat voor 2050 de norm niet opnieuw zal worden herzien. Relevant in dit kader is dat in het Nationaal Waterplan wordt gesteld dat de norm iedere 12 jaar geëvalueerd zal worden.
40. Merk op dat in de Beleidsnota Waterveiligheid 2009-2015 wordt gesteld dat de nieuwe overstromingskansnormen ten minste een gelijkwaardige veiligheid bieden als de huidige overschrijdingskansnorm en dat niemand er in veiligheid op achteruit zal gaan.

Tabel 7.3 Geraamde investeringen in hoogwaterbescherming tot 2070 die nodig zijn voor het behalen en handhaven van de economisch optimale beschermingsniveaus uit de basisvariant en uit de tweede referentie. Kosten in miljard euro, prijspeil 2009, exclusief beheer en onderhoud, inclusief BTW.

	Basisvariant		Tweede referentie	
	met achter-uitgang	zonder achter-uitgang	met achter-uitgang	zonder achter-uitgang
1. Kosten voor het bereiken van de referentiekansen uit de basisvariant <sup>1)</sup>	(2,0) <b>2,5</b> (3,8)	(2,0) <b>2,5</b> (3,8)	-	-
2. Kosten voor aanpassen aan de economisch optimale beschermingsniveaus				
a) Op basis van huidige te beschermen waarden (~2020)	(1,1) <b>1,3</b> (2,0)	(1,1) <b>1,3</b> (2,0)	(2,4) <b>3,0</b> (4,6)	(2,4) <b>3,0</b> (4,6)
b) Door verwachte toename van de te beschermen waarden (na ~2020)	(2,4) <b>2,9</b> (4,4)	(2,4) <b>2,9</b> (4,4)	(2,8) <b>3,6</b> (5,3)	(2,8) <b>3,6</b> (5,3)
<b>Subtotaal kosten aanpassen aan de economisch optimale beschermingsniveaus</b>	(3,4) <b>4,3</b> (6,4)	(3,4) <b>4,3</b> (6,4)	(5,3) <b>6,6</b> (9,9)	(5,3) <b>6,6</b> (9,9)
3. Kosten door effecten klimaatverandering (exclusief zandsuppleties)	(...) <b>6,1</b> (...)	(...) <b>9,8</b> (...)	(...) <b>7,4</b> (...)	(...) <b>12,0</b> (...)
Totaal (1+2+3)	(...) <b>12,9</b> (...)	(...) <b>16,6</b> (...)	(...) <b>14,0</b> (...)	(...) <b>18,6</b> (...)
4. Kosten van overige programma's, projecten en onderdelen <sup>2)</sup>	<b>PM</b>	<b>PM</b>	<b>PM</b>	<b>PM</b>

De raming is inclusief een extrapolatie van de resultaten van de 4 Maaskaden die zijn meegenomen in de MKBA naar alle overige Maaskaden in Limburg. De kosten voor alle Maaskaden bedragen in de basisvariant circa 0,4 miljard euro en in de tweede referentie ongeveer 0,5 miljard euro van het totaal geraamde bedrag voor onderdeel 2 (4,3 respectievelijk 6,6 miljard euro).

<sup>1)</sup> Bron: Op basis van de kostenfuncties van De Grave en Baarse (2011) wordt een bedrag van 2,1 miljard euro exclusief BTW berekend. Dit komt overeen met een bedrag van 2,5 miljard euro inclusief BTW. In deze raming wordt er vanuit gegaan dat de maatregelen gelijktijdig met andere maatregelen worden uitgevoerd.

<sup>2)</sup> Waaronder (1) eventuele extra kosten t.b.v. natuur, ruimtelijke kwaliteit etc., (2) kosten lopende projecten (HWBP, RvdR, Zwakke Schakels Kust etc.), (3) kosten huidig onderhoud en beheer, (4) kosten van zandsuppleties, (5) kosten voor B- en C-keringen.

De totale geraamde kosten tot 2070 lopen uiteen van bijna 13 miljard euro (basisvariant met achteruitgang) tot bijna 19 miljard euro (tweede referentie zonder achteruitgang). Dat komt overeen met een gemiddeld bedrag van ongeveer 260 tot 370 miljoen euro per jaar.<sup>41</sup>

De kosten voor maatregelen die nodig zijn om de referentiekansen van de basisvariant, met als vertrekpunt de referentiekansen van de tweede referentie, te realiseren worden op basis van de kostenfuncties van De Grave en Baarse (2011) geraamd op circa 2,5 miljard euro, met een bandbreedte van 2,0 tot 3,8 miljard euro. Daarbij is uitgegaan dat deze maatregelen gelijktijdig met andere maatregelen uitgevoerd worden. Voor de tweede referentie zijn deze kosten per definitie gelijk aan 0.

De kosten tot 2070 voor het aanpassen van het beschermingsniveau naar het economisch optimale beschermingsniveau zijn voor de basisvariant geraamd op 4,3 miljard euro, met een bandbreedte van 3,4 tot 6,4 miljard euro. Voor de tweede referentie gaat het om een bedrag

41. Totaal bedrag gedeeld door 50 jaar (periode 2020-2070).

van 6,6 miljard euro, met een bandbreedte van 5,3 tot 9,9 miljard euro. Het bedrag voor de tweede referentie is groter doordat in de tweede referentie met name in het rivierengebied de referentiekansen groter zijn.

In het bedrag voor het aanpassen van het beschermingsniveau is nog een onderscheid gemaakt naar (a) de kosten die samenhangen met het aanpassen van het beschermingsniveau aan de huidige (ca 2020) te beschermen waarden en (b) de kosten die samenhangen met het (anticiperend) aanpassen van het beschermingsniveau aan toekomstige economische groei. In de basisvariant is (door de veiliger referentiesituatie) onderdeel (a) kleiner dan in de tweede referentiesituatie.

De kosten voor het compenseren van de effecten van klimaatverandering hangen niet direct samen met een keuze voor de economisch optimale beschermingsniveaus. Hier worden ze gegeven om de kosten voor het aanpassen van het beschermingsniveau in een breder perspectief te plaatsen. De tabel laat zien dat de investeringskosten tot 2070 die nodig zijn voor het compenseren van alle effecten van klimaatverandering (dus 'geen achteruitgang') 9,8 miljard euro in de basisvariant en 12,0 miljard euro in de tweede referentie bedragen. Ongeveer 40 procent van deze kosten zijn economisch gezien niet rendabel, maar zijn noodzakelijk als er voor wordt gekozen om minimaal de huidige veiligheid te handhaven.<sup>42</sup>

In het kader van de MKBA WV21 zijn de kosten van een aantal andere onderdelen, programma's en projecten niet geraamd. De hiervoor benodigde investeringskosten kunnen aanzienlijk zijn. In de tabel zijn deze *Pro Memorie* opgenomen.

---

42. In de basisvariant  $(9,8 - 6,1) / 9,8 = 0,4$  en in de tweede referentie  $(12,0 - 7,4) / 12,0 = 0,4$ .



## Begrippenlijst

Bodemdaling	Absolute daling van het maaiveld door inklinking van de bodem en oxidatie van veen.
Buitenwater	Oppervlaktewater waarvan de waterstand direct wordt beïnvloed door hoge stormvloed, hoge afvoer van één van de grote rivieren, hoog water van het IJsselmeer of het Markermeer, dan wel een combinatie daarvan.
Contante waarde	De waarde op dit moment van een bedrag dat in de toekomst beschikbaar komt. In de berekening wordt de interest op basis van een nader af te spreken percentage in mindering gebracht (zie ook discontovoet).
Decimeringshoogte kruin	De decimeringshoogte van de kruinhoogte is de dijkverhoging die nodig is om de overstromingskans ten gevolge van overslag met een factor 10 te laten afnemen.
Decimeringshoogte waterstand	De decimeringshoogte van de waterstand is de verhoging van de waterstand die met een factor 10 kleinere kans optreedt. Bij versterking van de dijk tot een 10 keer hoger beschermingsniveau moet de dijk, behalve met het oog op golfoverslag (zie decimeringshoogte van de kruin), ook voor andere faalmechanismen dusdanig worden versterkt dat de dijksterkte in overeenstemming is met de decimeringshoogte van de waterstand.
Dijkkring	Het stelsel van waterkeringen, of hoge gronden, dat een dijkkringgebied omsluit en beveiligd tegen overstromingen.
Dijkkringdeel	Deel van een dijkkring dat is onderscheiden voor de berekening van economisch optimale overstromingskansen met het oog op het feit dat de gevolgen van een overstroming afhangen van waar de waterkering doorbreekt.
Dijkkringgebied	Een gebied dat door een stelsel van waterkeringen, of hoge gronden beschermd is tegen overstroming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoge afvoeren van een van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of Markermeer of bij een combinatie daarvan.
Discontovoet	Rentevoet die bij een MKBA gebruikt wordt om de huidige (=contante) waarde te berekenen van de toekomstige kosten en opbrengsten van een project.
Faalmechanisme	Wijze waarop een waterkering wordt aangetast zodat dit leidt tot falen van de waterkerende functie.
Golfoverslag	De hoeveelheid water die door golven per strekkende meter gemiddeld per tijdseenheid over de waterkering slaat. De golfoverslag wordt meestal gegeven als een



Kosten-batenanalyse	<p>gemiddeld debiet per strekkende meter, bijvoorbeeld in <math>m^3/s</math> per m of in l/s/m.</p> <p>(ook: maatschappelijke KBA, MKBA): opstelling van de geldwaarde van alle voor- en nadelen die alle partijen in de (nationale) samenleving ondervinden van de uitvoering van een project, aangevuld met (bij voorkeur kwantitatieve) informatie over effecten die zich niet op verantwoorde wijze in geld laten uitdrukken.</p>
Kruin(hoogte) Lengte-effect	<p>Het hoogste punt van het dijklichaam.</p> <p>Dit is het effect dat er voor zorgt dat naarmate de dijk lengte toeneemt, de overstromingskans van de dijkkring (of het dijkkringdeel) toeneemt.</p>
Monte Carlo-analyse	<p>Een Monte Carlo-analyse is een simulatietechniek waarbij door vele herhalingen, elke keer met een andere startwaarde, een verdelingsfunctie wordt verkregen.</p>
Overhoogte, oversterkte	<p>Extra hoogte en sterkte ten opzichte van de hoogte en sterkte die waterkeringen moeten hebben om aan de wettelijke beschermingsnorm te voldoen</p>
Overschrijdingskans	<p>De kans dat een waterstand bereikt of overschreden wordt</p>
Overstromingskans	<p>De kans dat een gebied overstroomt doordat de waterkering rondom dat gebied (de dijkkring) op één of meer plaatsen faalt</p>
Piping	<p>(Ook: onderloopsheid): het verschijnsel waarbij onder een waterkering een snelle stroming ontstaat doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt.</p>
Primaire waterkering	<p>Dijken, duinen en constructies (zoals sluizen en gemalen) die een gebied beschermen tegen het buitenwater, zoals vastgelegd in de Waterwet (2010).</p>
Secundaire waterkering	<p>Waterkeringen binnen een dijkkring, veelal grenzend aan regionale oppervlaktewateren, waarvoor in de Waterwet (2010) geen beschermingsnormen zijn vastgesteld. Secundaire waterkeringen worden ook wel regionale waterkeringen genoemd.</p>
Systeemwerking	<p>Er is sprake van systeemwerking als een overstroming in een dijkkring effect heeft op de overstromingsrisico's in een andere dijkkring. Negatieve systeemwerking is het effect dat door een overstroming in een gebied een ander gebied eveneens geschaad wordt (cascade-effect), positieve systeemwerking is het effect dat door een overstroming van een gebied andere gebieden ontlast worden.</p>
Vitale infrastructuur	<p>We spreken van vitale infrastructuur als het gaat om producten, diensten en de onderliggende processen die, als zij uitvallen, maatschappelijke ontwrichting kunnen veroorzaken. Dat kan zijn omdat er sprake is van veel slachtoffers en grote economische schade, dan wel wanneer het herstel zeer lang gaat duren en er geen reële alternatieven voorhanden zijn, terwijl we</p>

VOSL

deze producten en diensten niet kunnen missen. De belangrijkste voorbeelden zijn elektriciteit, drinkwater, ICT en Telecom, keren en beheren van oppervlaktewater, gas en transport.

Afkorting van de Engelstalige term 'Value Of a Statistical Life'. De betalingsbereidheid voor meer veiligheid wordt doorgaans uitgedrukt als een bedrag per statistisch verwacht, vermeden dodelijk slachtoffer, en wordt 'waarde van een statistisch mensenleven' genoemd.



## Literatuur

### Documenten opgesteld in het kader van WV21:

Aalbers, R. en P. Broer, 2010. *Dikes at a Discount: Optimal Dike Height with Uncertain Future Flooding Risk*. CPB-note. In voorbereiding.

Beckers, J.V.L. en De Bruijn, K.M., 2011. *Analyse van slachtofferrisico's waterveiligheid 21<sup>e</sup> eeuw*. Projectnummer 1204144. Deltares, Delft.

Beckers, J., 2010. *Verwachtingswaarde gevolgen overstroming*. Memo. Deltares, 5 maart 2010.

Bočkarjova, M., P. Rietveld en E. Verhoef, 2009a. *First results immaterial damage valuation: VOSL in flood risk context – a stated preference study (I)*. VU Amsterdam, Department of Spatial Economics.

Bočkarjova, M., P. Rietveld en E. Verhoef, 2009b. *First results immaterial damage valuation: value of statistical life (VOSL) in flood risk context and value of travel time savings (VOT), a stated preference study (II)*. VU Amsterdam, Department of Spatial Economics.

Bočkarjova, M., P. Rietveld en E. Verhoef, 2009c. *First results immaterial damage valuation: value of statistical life (VOSL), value of evacuation (VOE) and value of injury (VOI) in flood risk context, a stated preference study (III)*. VU Amsterdam, Department of Spatial Economics.

Brekelmans, R.C.M., D. den Hertog en C. Roos, 2009. *Computing safe dike heights: A prototype optimization algorithm*. CentER rapport. Tilburg.

Bruijn, K.M. de en Van der Doef, M., 2011. *Gevolgen van overstromingen – Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21<sup>e</sup> eeuw*. Projectnummer 1204144. Deltares, Delft.

Centraal Planbureau, 2008. *Second opinion KKBA Waterveiligheid 21<sup>e</sup> eeuw*. CPB Notitie 17 september 2008.

Duits, M.T., 2011a. *OptimaliseRing – Gebruikershandleiding van een numeriek rekenmodel voor de economische optimalisatie van veiligheidsniveaus van dijkringen – Versie 2.3*. Rapport van HKV LIJN IN WATER. Lelystad.

Duits, M.T., 2011b. *OptimaliseRing – Technische documentatie van een numeriek rekenmodel voor de economische optimalisatie van veiligheidsniveaus van dijkringen – Versie 2.3*. Rapport van HKV LIJN IN WATER. Lelystad.

Gauderis, J., 2009. *Schade ten gevolge van productie-uitval bij overstromingen. Discussienotitie in het kader van de KBA Waterveiligheid 21<sup>e</sup> eeuw*. In opdracht van Deltares.

Geerse, C., 2010. *Omgang met B-keringen in WV21*. Oktober 2010. Rapport van HKV LIJN IN WATER. Lelystad.

Grave, P. de en Baarse, G., 2011. *Kosten van maatregelen – Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21<sup>e</sup> eeuw*. Projectnummer 1204144. Deltares, Delft.

Hartl, R.F., 2008. *Expert opinion on the phase 1 report Computing safe dike heights at minimal costs*. Universiteit van Wenen.

Hertog, D. den, en C. Roos, 2009. *Computing safe dike heights at minimal costs*. CentER rapport. Tilburg. Second version (March 18, 2009)

Kind, J., 2008. *Kengetallen Kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat/Rijkswaterstaat. Rapportnummer WD 2008.044

Kuijper, B., Stijnen, J. en van Velzen, E., 2011. *Overstromingskansen – Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw*. Projectnummer 1204144. Deltares, Delft

Maaskant, B., B. Kolen, R. Jongejan, B. Jonkman en M. Kok., 2009. *Evacuatieschattingen Nederland*. HKV LIJN IN WATER. Lelystad.

Terlaky, T., 2008. *Computing safe dike heights at minimal costs "by D. den Hertog and C. Roos"*. *Evaluation of scope and recommendations*. Universiteit van Hamilton.

Vat, M. van der, P. de Grave en R. van Buuren, 2010. *Nadere verkenning Waterveiligheid Centraal Holland*. Fase 1 gebiedspilot dijkkring 14. Deltares rapport.

## Overige literatuur

Asselman, N. en A. de Wit, A., 2009. *Nadere verkenning veiligheid Centraal Holland. Waterveiligheidsproblematiek dijkkring 14 in relatie tot dijkkring 15 en 44*. Deltares, Projectnummer 1200052. Delft.

Asselman, N., F. Klijn en H. van der Most, 2008. *Verkenning van nadere compartimentering van dijkkringgebieden: hoofdrapport compartimenteringstudie*. Deltares T2513. In opdracht van Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat.

Centraal Planbureau, 2005. *Urgentie van acties omtrent veiligheid tegen overstromen*. CPB notitie aan de Tweede Kamer, Vaste Commissie voor Verkeer en Waterstaat. 30 juni 2005.

Centraal Planbureau, Milieu- en Natuurplanbureau en Ruimtelijk Planbureau, 2006. *Welvaart en Leefomgeving: een scenariostudie voor Nederland in 2040*.

Commissie Rivierdijken, 1977. *Rapport Commissie Rivierdijken*.

Commissie Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterking, 1993. *Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterking. Advies van de Commissie*.

Deltacommissie, 1960. *Rapport Deltacommissie*, 's-Gravenhage.

Deltacommissie, 2008. *Samen werken met water. Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst*. Bevindingen van de Deltacommissie 2008.

Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2009a. *Risicoanalyse grensoverschrijdende dijkkringen Niederrhein*. Fase 2 en 3: Hoofdrapport. Aken en Lelystad, april 2009.

Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2009b. *Risicoanalyse grensoverschrijdende dijkkringen Niederrhein*. Fase 2 en 3: Deelrapport dijkkring 48. Aken en Lelystad, juli 2009.

Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2009c. *Risicoanalyse grensoverschrijdende dijkkringen Niederrhein*. Fase 2 en 3: Deelrapport dijkkring 42. Aken en Lelystad, juli 2009.

Eijgenraam, C., 2005. *Veiligheid tegen overstromen – Kosten-batenanalyse voor Ruimte voor de Rivier, deel 1* (CPB-document 82). Centraal Plan Bureau. Den Haag.

Eijgenraam, C., 2006. *Optimal safety standards for dike-ring areas*. CPB discussion paper No. 62.

Eijgenraam, C., 2008. *Toetsnorm voor waterveiligheid op basis van kosten-batenanalyse*. CPB Memorandum 195. 19 maart 2008

- Eijgenraam, C., 2009a. *Een algemeen toepasbare definitie voor de toetsnorm voor waterveiligheid*. Aanvulling en correctie op CPB memorandum 195 (5/2008/2, 19 maart 2008). CPB Memorandum 217. 11 maart 2009, verbeterd 11 november 2010
- Eijgenraam, C., 2009b. *From optimal to practical safety standards for dike-ring areas*. CPB Memorandum 213. 7 januari 2009
- Eijgenraam C., 2009c. *Toetsnorm als de schade bij overstromen kan variëren* (CPB-memorandum 219). Centraal Plan Bureau.
- Huizinga, F. B. Smid. *Vier vergezichten op Nederland. Productie, arbeid en sectorstructuur in vier scenario's tot 2040*. CPB, bijzondere publicatie nr. 55, november 2004.
- Kok, M., H. Huizinga, A. Vrouwenvelder en W. van den Braak. *Standaardmethode 2005 - Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen*. HKV LIJN IN WATER en TNO Bouw, november 2005.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009. *Hydraulische Randvoorwaarden voor de primaire waterkeringen categorie c voor de derde toetsronde 2006-2011*. Maart 2009.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 2009. *Beleidsnota Waterveiligheid 2009 – 2015*.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 2009. *Nationaal Waterplan 2009 – 2015*.
- RIVM, 2004. *Risico's in bedijkte termen, een thematische evaluatie van het Nederlandse veiligheidsbeleid tegen overstromen*. RIVM rapport 500799002.
- Ter Maat, J., F. Klijn, R. de Koning en A. Wijbenga, 2008. *Compartimenteringstudie. Casestudie Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden*. Deltares Rapportnummer T2513.35
- Van Dantzig, D., 1956. *Economic decision problems for flood prevention*. *Econometrica*, nr. 24, blz. 276-287.
- Van Dantzig, D. en J. Kriens, 1960. *Het economische beslissingsprobleem inzake de beveiliging van Nederland tegen stormvloeden*. in Deel 3, Bijlage JI.2 van het Rapport van de Deltacommissie.
- Van Mierlo, T., 2005a. *Uitwerking systeemwerking Maas*. Rapport Q4309, WL | Delft Hydraulics, Delft.
- Van Mierlo, T., 2005b. *Reductie overstromingsschade door systeemwerking (veiligheidsdiscussie)*. Rapport Q4019. WL | Delft Hydraulics, Delft, Nederland.
- Van Mierlo, T., 2006. *Verkenning van systeemwerking in het bovenrivierengebied van de Rijntakken*. Rapport Q4019, WL | Delft Hydraulics, Delft.
- Van Mierlo, M.C.L.M., Schweckendiek, T. and Courage, W.M.G., 2008. *Importance of river system behaviour in assessing flood risk*. *Flood Risk Management: Research and Practice – Samuëls et al (eds.)*, 2009. Taylor & Francis Group, London, pp 327-337. ISBN 978-0-415-48507-4.



## A Korte lijst van uitgangspunten voor de MKBA WV21

In deze bijlage staat een korte opsomming van de belangrijkste uitgangspunten en aannames die zijn gehanteerd in de basisvariant van de MKBA WV21 en in de onderliggende onderzoeken.

### A.1 Algemeen

- 1 De economisch optimale overstromingskansen zijn berekend op basis van de kosten en baten van dijkversterking. Dijkversterking is over het algemeen de goedkoopste maatregel om de overstromingskans te verkleinen. Verondersteld is dat de berekende economisch optimale overstromingskansen ook optimaal zijn als later gekozen wordt voor bijv. rivierverruiming.
- 2 De economisch optimale overstromingskansen (middenkansen) worden bepaald voor het jaar 2050. Deze middenkansen geven het moment aan waarop vanuit economisch oogpunt gestart zou moeten om de waterkering te verbeteren. In de middenkans zit een 'besteltijd' van 20 jaar voor waterveiligheid verwerkt. Gedurende deze periode mogen vanuit economische oogpunt de middenkansen (verder) overschreden worden (paragraaf 2.4).
- 3 De economisch optimale overstromingskansen worden berekend op het niveau van dijkringen of dijkkringdelen. In totaal zijn er 15 dijkringen opgedeeld in een of meerdere delen op grond van bedreiging of overstromingsverloop (paragraaf 3.1).

### A.2 Waterstanden en overstromingskansen

- 4 In de referentiesituatie wordt er in de basisvariant vanuit gegaan dat de overstromingskans van een dijkkringdeel precies gelijk is aan de normfrequentie in 2015 (paragraaf 3.2). Dat betekent ook dat overhoogte niet wordt meegenomen (paragraaf 4.2).
- 5 Voor het klimaat is uitgegaan van het W+ scenario van het KNMI (paragraaf 4.2).
- 6 Er is rekening meegehouden dat de Rijnafvoer bij Lobith wordt afgetopt wordt door overstromingen in Duitsland, omdat wordt aangenomen dat de beschermingsniveaus in Duitsland blijvend lager zullen zijn dan in Nederland (paragraaf 4.2).
- 7 Voor de open B-keringen is er vanuit gegaan dat de huidige sluitfrequenties worden gehandhaafd. Van de gesloten B-keringen wordt er vanuit gegaan dat deze niet falen. (paragraaf 1.5).
- 8 Doorbraken van duinen zijn in de MKBA niet meegenomen. Als gevolg van het Programma Kustlijn­zorg is de kans op een duindoorkraak over het algemeen tien keer kleiner dan die van de harde keringen. Kustlijn­zorg dient meer doelen dan de veiligheid alleen, waardoor het moeilijk is om de kosten direct aan veiligheid toe te schrijven (paragraaf 1.5).

### A.3 Overstromingsscenario's

- 9 De overstromingss­cenario's die gebruikt worden voor het bepalen van de schade en slachtoffers, zijn gebaseerd op VNK scenario's. Hierbij is aangenomen dat de meeste regionale waterkeringen standzeker zijn (paragraaf 4.3).
- 10 Aangenomen is dat de C-keringen op orde zijn (paragraaf 4.3).



## A.4 Schade

- 11 De schade is bepaald met de Schade en Slachtoffermodule van het Hoogwater Informatie Systeem (HIS-SSM versie 2.5). (paragraaf 4.4).
- 12 De schade zoals berekend met HIS SSM is verhoogd met 50% om rekening te houden met een aantal schadeposten die niet of onvolledig in HIS-SSM zijn opgenomen (waaronder indirecte schade en schade voor LNC-waarden) (paragraaf 4.4).
- 13 De schade zoals berekend met HIS-SSM is nog extra verhoogd met 10% om rekening te houden met 'risicoaversie' van huishoudens. Een bepalende aanname hierbij is de veronderstelling dat 75% van de materiële schade als gevolg van een overstroming, door de overheid wordt vergoed (paragraaf 4.6).
- 14 Aangenomen is dat de groei van de schade gelijk is aan de reële groei van het Bruto Binnenlands Product (BBP). In de basisvariant is uitgegaan van het WLO scenario *Transatlantic Market*, met een reële groei van 1,9% per jaar (paragraaf 4.6).

## A.5 Slachtoffers en getroffen

- 15 Voor het bepalen van het aantal dodelijke slachtoffers is uitgegaan van evacuatiefracties van 15% voor de kust en 75% voor het rivierengebied (paragraaf 4.5).
- 16 Dodelijke slachtoffers zijn in de MKBA gewaardeerd tegen een bedrag van 6,7 miljoen euro. Hierin zit een opslag voor gewonden (paragraaf 4.5).
- 17 De immateriële schade van getroffen worden door een overstroming is de MKBA gewaardeerd tegen 12.000 euro per getroffene. Dit bedrag is inclusief een opslag voor evacués die preventief geëvacueerd worden (paragraaf 4.5).

## A.6 Kosten

- 18 De kosten van dijkverhoging zijn geraamd door gebruik te maken van PRI/SSK systematiek (paragraaf 4.7).
- 19 De kosten van de basisvariant zijn bepaald volgens de huidige ontwerpfilosofie (paragraaf 4.7).
- 20 In de MKBA berekeningen is een toeslag van 11% op de investeringskosten gehanteerd als een soort 'bouwrente'. Dit is nodig omdat in de modelberekeningen geen rekening gehouden wordt met de uitvoeringstermijn van de dijkversterkingen. In werkelijkheid is de uitvoeringstermijn voor dijkversterkingsprojecten enkele jaren. In deze periode kosten de projecten wel geld maar leveren ze weinig of geen extra veiligheid op (paragraaf 4.7).

## A.7 Overig

- 21 Kosten en baten in de MKBA zijn prijspeil 2009.
- 22 In de MKBA is gewerkt met kosten en schade exclusief BTW en andere belastingen (paragraaf 4.1).
- 23 In de MKBA is een discontovoet inclusief risicopremie gehanteerd van 5,5% (paragraaf 4.6).

## B Raming van de investeringskosten tot 2050

In paragraaf 7.4 zijn de kosten van investeringen tot 2070 samengevat om de economisch optimale beschermingsniveaus van de basisvariant en de tweede referentie te bereiken. Voor het Deltaprogramma is het gewenst om de kosten tot 2050 in beeld te brengen. Deze zijn in Tabel B.1 samengevat. De inhoudelijke toelichting is conform die zoals beschreven in paragraaf 7.4.

Tabel B.1 Geraamde investeringen in hoogwaterbescherming tot 2050 die nodig zijn voor het behalen en handhaven van de economisch optimale beschermingsniveaus uit de basisvariant en uit de tweede referentie. Kosten in miljard euro, prijspeil 2009, exclusief beheer en onderhoud, inclusief BTW.

	Basisvariant		Tweede referentie	
	met achter-uitgang	zonder achter-uitgang	met achter-uitgang	zonder achter-uitgang
1. Kosten voor het bereiken van de referentiekansen uit de basisvariant	(2,0) <b>2,5</b> (3,8)	(2,0) <b>2,5</b> (3,8)	-	-
2. Kosten voor aanpassen aan de economisch optimale beschermingsniveaus				
a) Op basis van huidige te beschermen waarden (~2020)	(1,1) <b>1,3</b> (2,0)	(1,1) <b>1,3</b> (2,0)	(2,4) <b>3,0</b> (4,6)	(2,4) <b>3,0</b> (4,6)
b) Door verwachte toename van de te beschermen waarden (na ~2020)	(1,7) <b>2,1</b> (4,4)	(1,7) <b>2,1</b> (4,4)	(2,2) <b>2,7</b> (4,1)	(2,2) <b>2,7</b> (4,1)
<b>Subtotaal kosten aanpassen aan de economisch optimale beschermingsniveaus</b>	(2,7) <b>3,4</b> (6,4)	(2,7) <b>3,4</b> (6,4)	(4,6) <b>5,8</b> (8,6)	(4,6) <b>5,8</b> (8,6)
3. Kosten door effecten klimaatverandering (exclusief zandsuppleties)	(...) <b>4,4</b> (...)	(...) <b>6,8</b> (...)	(...) <b>5,7</b> (...)	(...) <b>8,3</b> (...)
Totaal (1+2+3)	(...) <b>10,4</b> (...)	(...) <b>12,8</b> (...)	(...) <b>11,5</b> (...)	(...) <b>14,1</b> (...)
4. Kosten van overige programma's, projecten en onderdelen	<b>PM</b>	<b>PM</b>	<b>PM</b>	<b>PM</b>

De raming is inclusief een extrapolatie van de resultaten van de 4 Maaskaden die zijn meegenomen in de MKBA naar alle overige Maaskaden in Limburg. De kosten voor alle Maaskaden bedragen in de basisvariant circa 0,4 miljard euro en in de tweede referentie ongeveer 0,5 miljard euro van het totaal geraamde bedrag voor onderdeel 1 (3,4 respectievelijk 5,8 miljard euro).