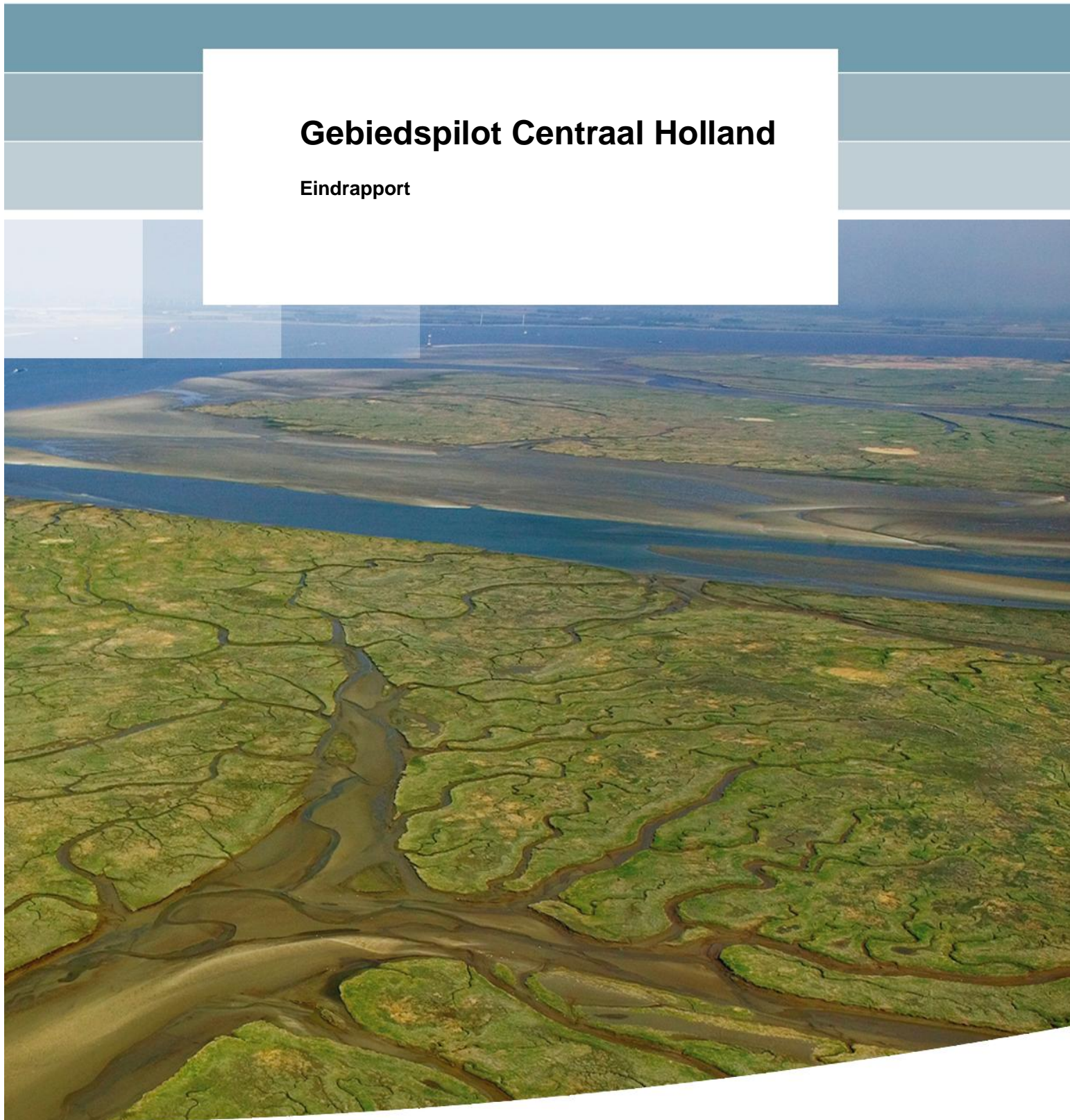


# **Gebiedspilot Centraal Holland**

**Eindrapport**





# **Gebiedspilot Centraal Holland**

## **Eindrapport**

Marnix van der Vat  
Rolf van Buren  
Peter de Grave  
Irene van der Zwan

1203964-000



**Titel**  
Gebiedspilot Centraal Holland

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat Waterdienst	1203964-000	1203964-000-ZWS-0003	52

**Trefwoorden**  
Overstroming, waterveiligheid, SOBEK

**Samenvatting**  
Zie begin rapport

**Referenties**  
-

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.1	mrt. 2011	Marnix van der Vat		Nathalie Asselman		Toon Segeren	

**Status**  
definitief



## Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>a</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Aanleiding en kader	1
1.2 Leeswijzer	2
<b>2 Projectgebied en doelstelling</b>	<b>3</b>
2.1 Projectgebied	3
2.2 Samenvatting conclusies eerder onderzoek	4
2.3 Doelstelling	6
<b>3 Aanpak</b>	<b>9</b>
3.1 Overstromingsmodellering	9
3.1.1 Bepaling Hydraulische Randvoorwaarden	9
3.1.2 Compartimenteringstudie en Nadere Verkenning Waterveiligheid 2009	10
3.1.3 Modelaanpassingen	11
3.2 Kostenraming	12
3.2.1 Definitie van de uitgangssituatie	12
3.2.2 Ontwerp nieuwe waterkering	13
3.2.3 Kostenraming	13
3.3 Schade- en slachtoffermodellering	14
3.4 Bepaling Lokaal individueel Risico	15
<b>4 Analyse resultaten</b>	<b>17</b>
4.1 Overzicht varianten en resultaten	17
4.2 Huidige situatie	18
4.3 C-keringen voldoen aan de norm	20
4.3.1 Kosten Traject Gekanaliseerde Hollandse IJssel	20
4.3.2 Kosten Traject Amsterdam-Rijnkanaal	21
4.3.3 Conclusies voor aan de norm voldoen C-keringen	23
4.4 Hogere norm Lekdijk	23
4.4.1 Kosten hogere norm Lekdijk dijkkring 15	23
4.4.2 Kosten hogere norm Lekdijk dijkkring 44	31
4.4.3 Conclusies hogere norm Lekdijk	32
4.5 Uitlaatwerk	33
4.6 Compartimentering	33
4.7 Gevoeligheidsanalyse	34
4.7.1 Golfvorm	34
4.7.2 Bresgroei	35
4.7.3 Bresbreedte	36
4.7.4 Bresdiepte	36
4.7.5 Doorbraakmoment	37
4.7.6 Correctie maatgevende waterstand	38
4.7.7 Combinatie	39
4.8 Relatie met Rijnmond-Drechtsteden	40
4.9 Relatie met Algera-stormvloedkering	42

<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>45</b>
5.1 Conclusies	45
5.2 Aanbevelingen	49



## Samenvatting

Dit rapport beschrijft de resultaten van de eerste en tweede fase van de Gebiedspilot Centraal Holland. Doel van deze studie is bij te dragen aan de beantwoording van de vraag wat gedaan kan worden aan het veiligheids tekort van dijkkring 14, Centraal Holland, nu de waterkeringen langs de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel en Amsterdam-Rijnkanaal (zogenaamde C-keringen) afgekeurd zijn in de derde toetsronde. Daarnaast is het tweede doel om de projectgroep en de stuurgroep te voorzien van materiaal om de discussie over het nieuwe normeringstelsel met betrekking tot waterveiligheid te voeren toegespitst op de veiligheid van Centraal Holland.

Op basis van een eerdere verkennende studie in het kader van Randstad Urgent (Asselman en De Wit, 2009) heeft de stuurgroep besloten om de volgende oplossingsrichtingen nader uit te werken:

- Versterken van de C-keringen langs de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel en het Amsterdam-Rijnkanaal, opdat ze voldoen aan de norm van 1/10.000 per jaar.
- Het aan de hogere norm van 1/10.000 per jaar laten voldoen van (een gedeelte van) de noordelijke Lekdijk (dijkkring 15) om op deze wijze de veiligheid van Centraal Holland te laten voldoen aan de norm van 1/10.000 per jaar.
- Te onderzoeken of de aanleg van een uitlaatwerk in het westen van dijkkring 15 (in de Krimpenerwaard) kan helpen om de veiligheid van Centraal Holland te vergroten en de gevolgen van een overstroming te beperken.

De resultaten van deze studie leiden tot de conclusie dat verhoging van de norm voor een gedeelte van de waterkering langs de Nederrijn/Lek de meest efficiënte oplossing is voor het veiligheidstekort van dijkkring 14 dat veroorzaakt wordt door het afkeuren van de C-keringen langs de Gekanaliseerde Hollandse IJssel en het Amsterdam-Rijnkanaal.

Het verhogen van de norm zou in dit geval noodzakelijk zijn voor het traject van Amerongen tot ongeveer Bergambacht.

Aanleg van een uitlaatwerk in het westen van de Krimpenerwaard zal de lengte van dit traject slechts in geringe mate kunnen beperken. Wel helpt een uitlaatwerk om de gevolgen van een overstroming te beperken.

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse laten zien dat de uitkomsten van individuele berekeningen sterk afhankelijk zijn van de verschillende aannames met name met betrekking tot de bresdiepte, de bresgroei en de correctie van het toetspeil. Dit geldt in sterkere mate voor dijkkring 44 dan voor dijkkring 15. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door hoger buitendijks voorland in dijkkring 44 en de geringere omvang van dijkkring 15, waarbij het instromende volume mede beperkt wordt door de reeds bereikte waterstand binnendijks.

De conclusies van de studie blijken echter robuust onder de verschillende aannames. Van alle uitgevoerde berekeningen zou slechts één combinatie van aannames leiden tot aanpassing van de conclusies voor dijkkring 44. Dit betreft echter een vrij onwaarschijnlijke combinatie van best-case aannames. Voor dijkkring 15 blijven de conclusies gelden voor alle doorgerkende varianten.

Als gekozen wordt voor het verder onderzoeken en uitwerken van het verhogen van de norm voor een gedeelte van de Lekdijk wordt aanbevolen om hierbij in het bijzonder aandacht te besteden aan de volgende punten:

- Na te gaan onder welke juridische voorwaarden het mogelijk is een (gedeelte van een) dijkkring een strengere norm op te leggen om een achterliggende dijkkring te beschermen.
- Nieuwe maatgevende waterstanden voor de Lek te bepalen voor zowel de huidige norm van dijkkring 15 (1/2.000 per jaar) als dijkkring 14 (1/10.000), waarbij rekening wordt gehouden met recente aanpassingen in het rivierbed.
- Af te wegen of een verhoging van de norm voor een gedeelte van de noordelijke Lekdijk (dijkkring 15) ook gevolgen dient te hebben voor de norm van de zuidelijke Lekdijk (dijkkring 16) en dit eventueel mee te nemen in voorontwerp en kostenraming.
- Opstellen van een voorontwerp voor dijkverbetering, waarbij alle beschikbare gegevens over de hoogte en opbouw van de dijken gebruikt wordt in plaats van de representatieve profielen die hier gebruikt zijn.
- Op basis van het voorontwerp opstellen van een kostenraming, omdat de hier gebruikte kostenramingen niet voldoende gedetailleerd zijn om budgetten uit af te leiden.
- In voorontwerp en kostenraming bijzondere aandacht te besteden aan het waterfront van Schoonhoven vanwege de aanwezige kunstwerken, de cultuurhistorische waarde en de moeilijke inpasbaarheid van een dijkverbetering.
- Na te gaan of de C-keringen een waterkerende functie (bijvoorbeeld als compartimenteringsdijk) zouden moeten behouden en de kosten daarvoor te ramen.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en kader

Om na te gaan of compartimentering een geschikte maatregel is om de gevolgen van een overstroming te beperken, heeft het Ministerie van Verkeer & Waterstaat in 2007-2008 de *Compartimenteringstudie* uit laten voeren (Asselman et al, 2008). Binnen de casestudie Centraal Holland ("Verkenning Compartimentering Centraal Holland", Asselman, 2008) is geconcludeerd dat compartimentering weliswaar een reductie van het aantal slachtoffers kan geven maar op dit moment economisch niet rendabel is. Wel laat de verkenning zien dat overstromingen uit rivieren een reële dreiging zijn voor Centraal Holland en dat de primaire categorie C-keringen niet de beoogde bescherming bieden. Via de aangrenzende dijkringen 15 (Lopiker- en Krimpenerwaard) en 44 (Kromme Rijn) kan een deel van dijkkring 14 onderlopen wanneer zich een doorbraak vanuit de rivieren voordoet.

In het kader van Randstad Urgent is daarom in 2009 een vervolgstudie uitgevoerd naar de aard en omvang van dit probleem en naar mogelijke oplossingen (Asselman en De Wit, 2009). Voor de volledigheid zijn de conclusies van deze studie opgenomen in paragraaf 2.2. De studie heeft geresulteerd in een selectie van een aantal kansrijke maatregelen om dijkkring 14 aan de wettelijke norm te laten voldoen. Op basis van de verkennende studie heeft de stuurgroep besloten om voor overstromingen via dijkkring 15 de volgende oplossingsrichtingen nader uit te werken:

- een uitlaatwerk benedenstrooms in dijkkring 15 aanbrengen gecombineerd met aanvullende maatregelen;
- de norm voor de gehele Lekdijk of een gedeelte daarvan strenger te maken tot een kans van 1:10.000 per jaar (door of versterking van de dijk of vermindering van de rest levensduur);
- het versterken van de bestaande C kering op de grens van dijkkring 15 en dijkkring 14.

Verder is besloten om voor overstromingen via dijkkring 44 de volgende oplossingsrichtingen nader uit te werken:

- de norm voor de Lekdijk strenger te maken tot 1/10.000 jaar (door of versterking van de dijk of vermindering van de rest levensduur);
- het versterken van de bestaande C kering op de grens van dijkkring 44 en dijkkring 14.

In de eerste helft van 2010 heeft Deltares de eerste fase van een nadere verkenning uitgevoerd, wat op 17 juni 2010 geresulteerd heeft in een conceptrapport (Van der Vat et al, 2010). Op 10 november 2010 heeft Deltares offerte uitgebracht voor de werkzaamheden voor fase 2 van de nadere verkenning, waarvoor RWS Waterdienst op 17 november 2010 opdracht gegeven heeft. Dit rapport beschrijft de gecombineerde resultaten van fase 1 en 2 van deze nadere verkenning.

Directe opdrachtgever voor de studie is RWS Waterdienst, mede namens de overige deelnemers in de Projectgroep:

- DG Water;
- Provincie Utrecht;
- Provincie Noord-Holland;
- Provincie Zuid-Holland;
- HHS Schieland en de Krimpenerwaard;
- HHS Delfland;
- HHS Rijnland;
- HHS De Stichtse Rijnlanden;
- HHS Amstel Gooi en Vecht;
- RWS Utrecht.

WS Rivierenland is als agendalid geïnformeerd over de voortgang en resultaten van deze gebiedspilot.

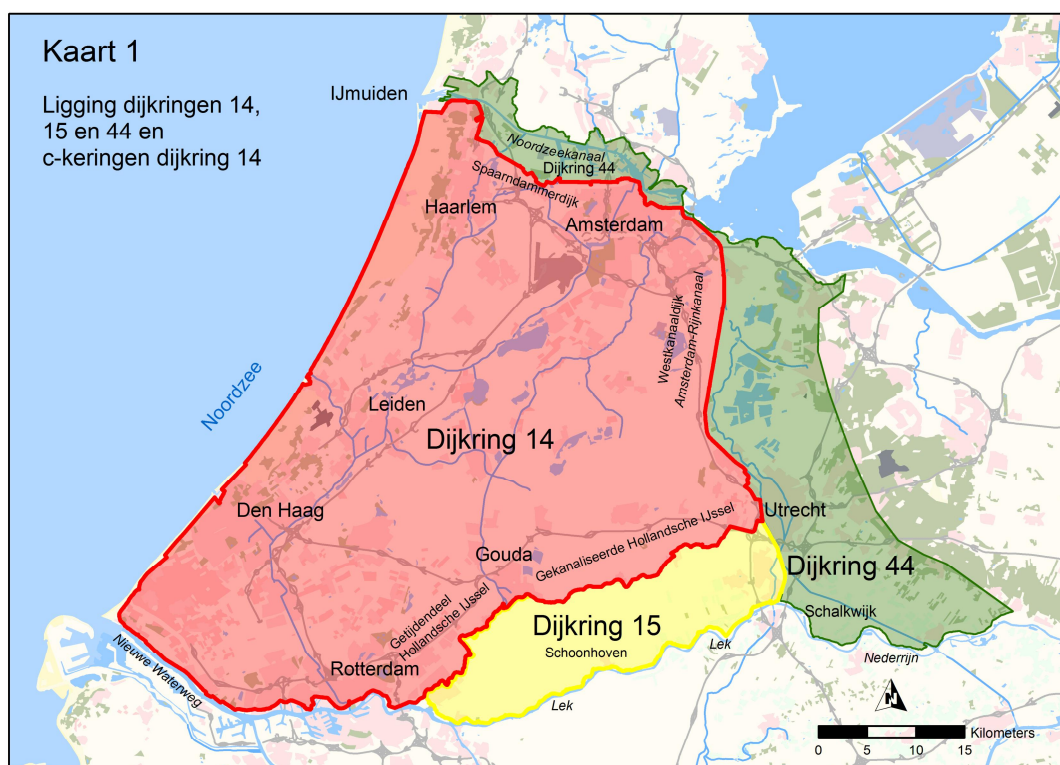
## 1.2 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de resultaten van de eerste en tweede fase van de nadere verkenning. Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft het projectgebied, de conclusies van de eerdere studie in het kader van Randstad Urgent en de doelstelling van het project. In hoofdstuk 3 wordt de aanpak beschreven die gevolgd is voor het uitvoeren van de berekeningen. Ook worden in dit hoofdstuk bevindingen beschreven met betrekking tot de gevolgde aanpak in eerdere studies, zoals het bepalen van de Hydraulische Randvoorwaarden voor C-keringen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009; Oost en Slootjes, 2008; Slootjes en Hoffman, 2008) en de *Compartimenteringstudie* (Asselman et al, 2008). In hoofdstuk 4 worden de varianten gepresenteerd en de resultaten van de doorrekening van deze varianten met betrekking tot het overstromingspatroon, de kosten, de schade en het LIR (lokaal individueel risico). In hoofdstuk 5 tot slot worden op basis van deze resultaten conclusies getrokken en worden enkele aanbevelingen geformuleerd voor een eventueel vervolg op deze studie en voor andere projecten.

## 2 Projectgebied en doelstelling

### 2.1 Projectgebied

Centraal Holland, ofwel dijkkring 14, ligt in de provincies Zuid-Holland, Noord-Holland en Utrecht (zie Figuur 2.1). In de dijkkring bevinden zich enkele grote steden, waaronder delen van Amsterdam, Rotterdam en Utrecht, Den Haag, Leiden en Haarlem. In het westen wordt de dijkkring begrensd door de Noordzee. In het noorden vormt het Noordzeekanaal de grens. In het oosten valt de grens samen met het Amsterdam-Rijnkanaal en in het zuiden met de Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas en Hollandsche IJssel.



Figuur 2.1 Ligging van dijkkringen 14, 15 en 44

De aangrenzende dijkkringen aan de oostzijde zijn dijkkring 15 (Lopiker- en Krimpenerwaard) en dijkkring 44 (Kromme Rijn). De Lopiker- en Krimpenerwaard bevinden zich ten zuidoosten van dijkkring 14, tussen de Hollandsche IJssel en de Lek. De Kromme Rijn ligt ten oosten en ten noorden van dijkkring 14, doordat de dijkkring zich uitstrekt vanaf de Nederrijn-Lek via het Noordzeekanaal tot aan de Noordzeekust bij IJmuiden. De grens tussen dijkkring 14 en de aangrenzende dijkkringen 15 en 44 wordt gevormd door zogenaamde primaire waterkeringen, categorie C. Het projectgebied bestaat uit het totaal van dijkkring 14, 15 en 44 voor zover het overstromingspatroon wordt beïnvloed door de categorie C waterkeringen tussen dijkkring 44 en 14 en tussen dijkkring 15 en 14.

De belasting voor de beschouwde C-keringen is alleen afkomstig van de Nederrijn en Lek. In theorie zouden voor dijkkring 44 ook doorbraken vanuit de Noordzee en het Markermeer

beschouwd moeten worden. Het sluiscomplex bij IJmuiden heeft echter al een norm van 1/10.000 per jaar en overstromingen in dijkkring 44 uit het Markermeer bereiken volgens de bestaande berekeningen dijkkring 14 niet. Daarom zijn in deze studie alleen doorbraken langs de Nederrijn en Lek beschouwd.

## 2.2 Samenvatting conclusies eerder onderzoek

Voor de volledigheid worden in deze paragraaf de conclusies van het eerdere onderzoek in het kader van Randstad Urgent weergegeven. Deze paragraaf is gebaseerd op de samenvatting van Asselman en De Wit (2009).

De volgende (alternatieve) maatregelen zijn onderzocht:

- ophoging van de C-keringen langs de Hollandsche IJssel en het Amsterdam-Rijnkanaal (referentiemaatregel);
- aanwijzing boezemkade binnen dijkkring 14 als categorie C-kering;
- aanleg van een nieuwe dijk, parallel aan de bestaande C-kering, die makkelijker inpasbaar is in het landschap en/of goedkoper is;
- aanbrengen van een uitlaatwerk in dijkkring 15 en/of dijkkring 44;
- vergroten van de afvoercapaciteit van het Amsterdam-Rijnkanaal door het kanaal te verbreden of te verdiepen;
- aanleg van een compartimenteringsdijk, zodat het water de C-kering niet bereikt;
- onbezwijkbaar of overstroombaar maken van de primaire waterkering van dijkkring 15 en/of 44 zodat er minder water het gebied in stroomt en de waterstand lager blijft;
- samenvoegen van dijkkring 14, 15 en 44 met een gelijke norm waardoor de C-keringen hun functie verliezen (aangenomen wordt dat de norm van de samengevoegde dijkkring 1:10.000 bedraagt).

Voor de beoordeling van de maatregelen is gebruik gemaakt van het beoordelingskader uit de compartimenteringstudie. De gehanteerde beoordelingscriteria zijn:

- hydraulische effectiviteit: op basis van computersimulaties is het verschil in waterdiepte en overstroomd oppervlak bepaald;
- getroffen personen en slachtoffers: deze zijn berekend met behulp van het HIS-SSM;
- economische aantrekkelijkheid: met behulp van beschikbare kostenkennallen uit de compartimenteringstudie zijn de kosten per maatregel globaal geraamd. Het HIS-SSM is gebruikt om het verschil in economische schade en daarmee de verwachte baat te bepalen. Hiermee is het eerstejaarsrendement per maatregel berekend;
- ruimtelijke kwaliteit: gekeken is naar landschappelijke inpasbaarheid en perspectieven voor meekoppeling van functies;
- robuustheid: een maatregel is robuust als deze ervoor zorgt dat het systeem te alle tijden blijft functioneren, ook onder zeer zware omstandigheden (bijvoorbeeld bij afvoeren boven de afvoer waarop de maatregel is ontworpen). Onafhankelijkheid van (falend) menselijk handelen is een pre;
- flexibiliteit: de mogelijkheid om de maatregel aan te passen aan veranderende omstandigheden, onder andere op het gebied van ruimtelijke ontwikkeling;
- maatschappelijke onrust: bijvoorbeeld als gevolg van langdurige ontregeling van de dagelijkse gang van zaken.

Tabel 2.1 en Tabel 2.2 tonen de relatieve beoordeling ten opzichte van de referentiemaatregel ophoging van de C-kering. Indien het vlak geel gekleurd is betekent dit dat de maatregel op dit criterium een vergelijkbare score heeft met de referentiemaatregel.

Een groene kleur betekent dat de maatregel beter scoort en een rode kleur dat de maatregel slechter scoort.

Tabel 2.1 Relatieve beoordeling onderzochte maatregelen dijkkring 15, ten opzichte van ophoging van de C-kering als referentiemaatregel

		ophogen c-kering HIJ	boezemkade in dkr 14 als c-kering	nieuwe dijk in dkr 15	uitlaatwerk dkr 15, 200 m met terugslagklep	uitlaatwerk dkr 15, 600 m zonder terugslagklep	verhogen norm dkr 15 tot 1:10.000	versterken oostelijk deel dkr 15
hydraulische effectiviteit	voldoet aan norm	groen	oranje	groen	oranje	oranje	oranje	oranje
	afwentelen	groen	oranje	groen	oranje	oranje	oranje	oranje
getroffenen en slachtoffers	getroffenen	groen	oranje	groen	oranje	oranje	oranje	oranje
	slachtoffers	groen	oranje	groen	oranje	oranje	oranje	oranje
econ. aantrekkelijkheid	kosten	groen	oranje	groen	oranje	oranje	oranje	oranje
	baten per gebeurtenis	groen	oranje	groen	oranje	oranje	oranje	oranje
	rendement	groen	oranje	groen	oranje	oranje	oranje	oranje
ruimtelijke kwaliteit	landschappelijk inpasbaarheid	groen	oranje	groen	oranje	oranje	oranje	oranje
	meekoppelen	groen	oranje	groen	oranje	oranje	oranje	oranje
robuustheid	onderhoud-/beheersbaarheid	groen	oranje	groen	oranje	oranje	oranje	oranje
	gevoeligheid randvoorwaarden	groen	oranje	groen	oranje	oranje	oranje	oranje
overig	maatschappelijke onrust	groen	oranje	groen	oranje	oranje	oranje	oranje

Tabel 2.2 Relatieve beoordeling onderzochte maatregelen dijkkring 44, ten opzichte van ophoging van de C-kering als referentiemaatregel

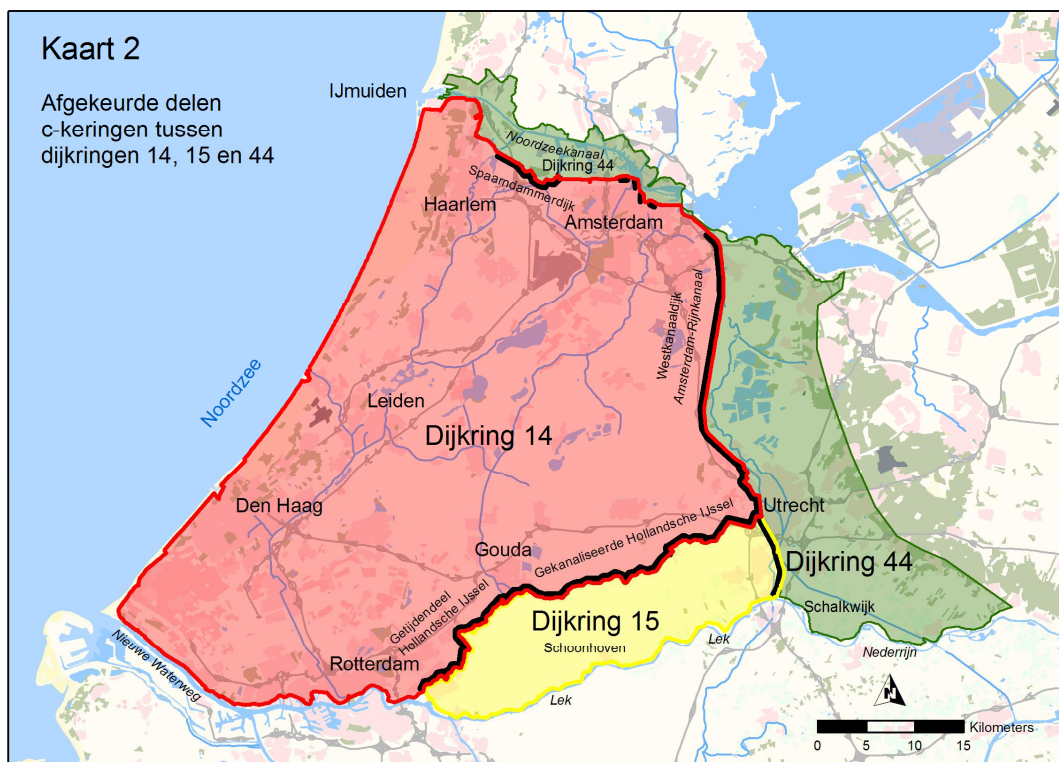
		ophogen c-kering ARK	optimalisering spui- en gemaalcapaciteit naar Noordzee en Markermeer	spuien + vergroten afvoercapaciteit ARK (verdieping + ophoging kerfingen)	spuien + compartimentering (vertraging) via A12 en A27	compartimentering (kerend) door KrommeRijng gebied	versterken primaire kering dkr 44 (gebaseerd op onbezwijkbaar maken)
hydraulische effectiviteit	voldoet aan norm	groen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
	afwentelen	groen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
getroffenen en slachtoffers	getroffenen	groen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
	slachtoffers	groen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
econ. aantrekkelijkheid	kosten	groen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
	baten	groen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
	rendement	groen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
ruimtelijke kwaliteit	landschappelijk inpasbaarheid	groen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
	meekoppelen	groen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
robuustheid	onderhoud-/beheersbaarheid	groen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
	gevoeligheid randvoorwaarden	groen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
overig	maatschappelijke onrust	groen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje

Op basis van de onderzoeksresultaten beveelt de studie aan naast de versterking van de C-keringen de volgende alternatieve maatregelen nader te onderzoeken:

- het aanbrengen van een uitlaatwerk in het westen van dijkkring 15, in combinatie met mogelijkheden voor tijdelijke, of anderszins minder ingrijpende aanpassing van de C-kering langs de Hollandsche IJssel;
- het geheel of gedeeltelijk versterken van de primaire waterkering langs de Lek ter hoogte van dijkkring 15;
- het versterken van de primaire waterkering langs de Nederrijn/Lek ter hoogte van dijkkring 44.

## 2.3 Doelstelling

Voor 2011 is gepland dat het rijk een principebesluit over normering van Waterveiligheid neemt in het kader van het deelprogramma Veiligheid van het Deltaprogramma. Begin 2011 zijn ook de resultaten van de derde toetsronde beschikbaar gekomen, waaruit gebleken is dat de Categorie C-keringen aan de achterkant van dijkkring 14 niet aan de gestelde veiligheidsnorm voldoen (zie Figuur 2.2). Doel van deze studie is om enerzijds de projectgroep en de stuurgroep te voorzien van materiaal om de discussie over het nieuwe normeringstelsel met betrekking tot waterveiligheid te voeren en anderzijds bij te dragen aan de beantwoording van de vraag wat aan het geconstateerde veiligheidstekort gedaan kan worden: is het nodig om de C-kering zelf te versterken of is daarvoor een alternatief mogelijk?



Figuur 2.2 Gedeelten van de C-keringen afgekeurd in de derde toetsronde

De nadere uitwerking van oplossingsrichtingen heeft daarom tot doel om - in combinatie met de uitkomsten van de toetsing en het principe besluit over normeringen - een keuze te maken voor een oplossingsrichting. De gekozen oplossingsrichting kan bestaan uit het versterken van de categorie C kering zelf of uit een alternatieve oplossing.

Binnen een oplossingsrichting zijn verschillende alternatieven mogelijk. Deze alternatieven dienen in een planstudie/MER nader uitgewerkt te worden. Dit project maakt geen deel uit van een planstudie/MER.



Om tot een keuze te kunnen komen dienen de volgende vragen m.b.t. de huidige situatie en de verkende maatregelen te worden beantwoord:

- 1 Wat zijn de gevolgen van een doorbraak van de Lekdijk in de huidige situatie?
- 2 Wat zijn de gevolgen van een doorbraak van de Lekdijk als de C-keringen aan de norm voldoen en wat is de ordegraote van de kosten om de C-keringen aan de norm te laten voldoen?
- 3 Wat zijn de gevolgen van een doorbraak van de Lekdijk als deze (gedeeltelijk) zou voldoen aan de huidige norm van dijkkring 14 en wat is de ordegraote van de kosten om de Lekdijk (eventueel inclusief de zuidelijke Lekdijk) hieraan te laten voldoen?
- 4 Wat zijn de gevolgen van een doorbraak van de Lekdijk in dijkkring 15 als er bij Krimpen aan de Lek een uitlaatwerk aangelegd?
- 5 Wat zijn de gevolgen van een doorbraak van de Lekdijk bij meer of minder compartimentering van dijkkring 15?
- 6 Wat is de gevoeligheid van de berekende gevolgen voor aannamen met betrekking tot:
  - Golfvorm
  - Bresgroei
  - Bresbreedte
  - Bresdiepte
  - Doorbraakmoment
  - Correctie maatgevende waterstand
  - Een combinatie van bovenstaande elementen
- 7 Wat is het effect op de oplossingsrichtingen van mogelijke maatregelen die overwogen worden in het kader van het Deelprogramma Rijnmond-Drechtsteden van het Deltaprogramma?
- 8 Wat is de verhouding tussen het overstromingsrisico als gevolg van het veiligheidstekort van de C-keringen en het overstromingsrisico als gevolg van het veiligheidstekort van de Algera-stormvloedkering?

Bovenstaande vragen en hun beantwoording worden nader beschreven in hoofdstuk 4.

De gevolgen van overstromingen worden in deze studie uitgedrukt als het areaal overstromd oppervlak, het te verwachten aantal slachtoffers, de te verwachten schade, het maximaal Lokaal Individueel Risico (LIR) en de contante waarde van het overstromingsrisico. De methode om deze gevolgen te bepalen en de methode om de ordegraote van de kosten van dijkverbetering te bepalen worden in het volgende hoofdstuk beschreven.



## 3 Aanpak

Uitgangspunt van de aanpak was zoveel mogelijk aan te sluiten bij de overstromingssimulaties die ten grondslag liggen aan de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden voor de C-keringen (Oost en Slootjes, 2008; Slootjes en Hoffman, 2008) en de berekeningen die zijn gebruikt in het kader van het project WV21. Op deze manier wordt aangesloten bij zowel de toetsing van de C-keringen als bij de discussie over een nieuwe normeringsystematiek.

### 3.1 Overstromingsmodellering

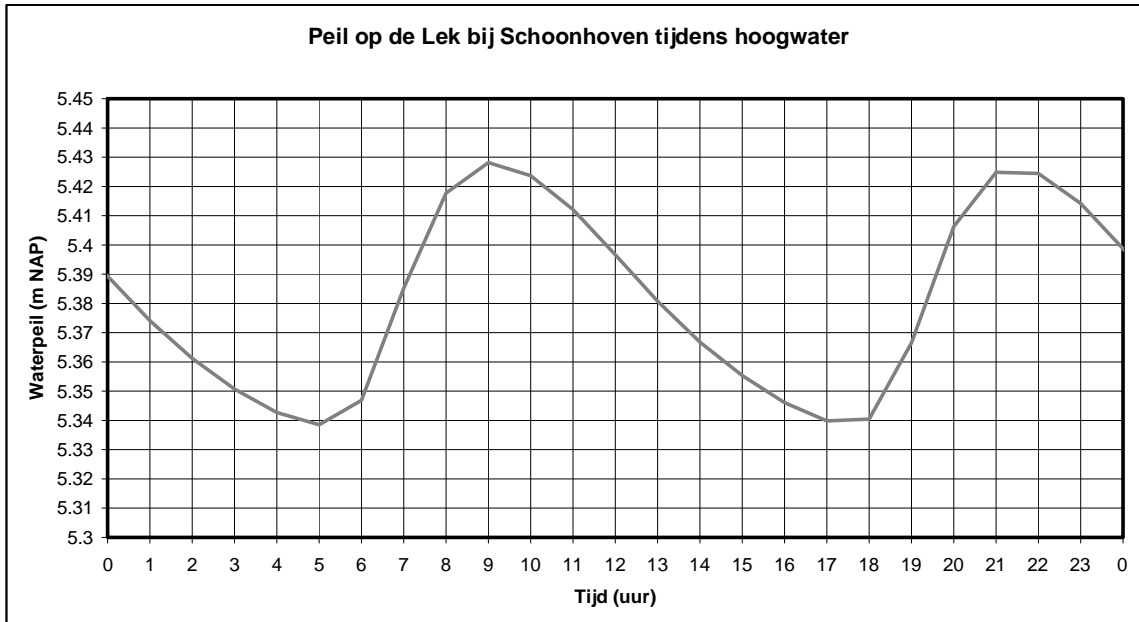
#### 3.1.1 Bepaling Hydraulische Randvoorwaarden

De overstromingsmodellering is gebaseerd op het overstromingsmodel zoals gebruikt voor het bepalen van de hydraulische randvoorwaarden voor de C-keringen (Oost en Slootjes, 2008, en Slootjes en Hoffman, 2008).

Alle randvoorwaarden en invoerparameters voor de huidige studie zijn overgenomen uit het randvoorwaarden (HR) model. Belangrijke parameters zijn in dit geval het bodemniveau van de bres en het doorbraakmoment, omdat deze parameters een grote invloed hebben op het totale volume water dat door de bres stroomt.

Als bodemniveau van de bres is de hoogte gebruikt van het maaiveld binnendijks. Het lijkt inderdaad aannemelijk te veronderstellen dat de bres zal uitslijten tot het niveau van het binnendijkse maaiveld. Dit niveau kan echter sterk variëren op korte afstand. Hierdoor wordt het totale volume dat door de bres stroomt (en daarmee de uiteindelijke diepte en oppervlakte van de overstroming) sterk bepaald door de keuze van de breslocatie. Voor het bepalen van de randvoorwaarden zijn de dijkringen opgedeeld in dijkringdelen: “..het deel van het dijkringgebied waarbinnen het doorbraakscenario niet significant verandert [Van Manen, 2001]” (Slootjes en Hoffman, 2008, p.9). Voor dijkring 15 zijn 7 en voor dijkring 44 zijn 4 dijkringdelen onderscheiden. Het lijkt twijfelachtig of hiermee de variatie in instroomdebiet als gevolg van de hoogteligging van het maaiveld binnendijks voldoende beschreven wordt. Mogelijk zou de afhankelijkheid van de keuze van de breslocatie binnen een dijkringdeel beperkt kunnen worden door als bodemniveau van de bres te kiezen voor de gemiddelde binnendijkse maaiveld hoogte in het dijkringdeel.

Als doorbraakmoment is gekozen voor het moment waarop het waterpeil in de rivier het toetspeil overschrijdt (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009). Dit klinkt logisch en zal voldoen voor het bepalen van de randvoorwaarden voor alle A-keringen en de C-keringen buiten het getijdengebied. In het getijdengebied wordt op deze wijze echter het doorbraakmoment afhankelijk van het samenvallen met de getijdenbeweging. Tijdens hoogwater is de invloed van het getij op de waterstand zeer beperkt (Figuur 3.1). Het kan echter wel van doorslaggevend invloed zijn op het moment van overschrijden van het toetspeil. De timing van de getijdenbeweging kan zo een invloed hebben van 12 uur (of 24 uur bij ongelijke getijdenbeweging gedurende de dag) op het doorbraakmoment. Hierdoor kunnen het instroomdebiet, het overstromingspatroon en uiteindelijk ook de randvoorwaarden voor de C-keringen significant beïnvloed worden. Mogelijk zou deze invloed beperkt kunnen worden door af te spreken het doorbraakmoment te kiezen op basis van de getijdengemiddelde waterstand en zo de invloed van het toevallige samenvallen met de getijdenbeweging uit te sluiten.

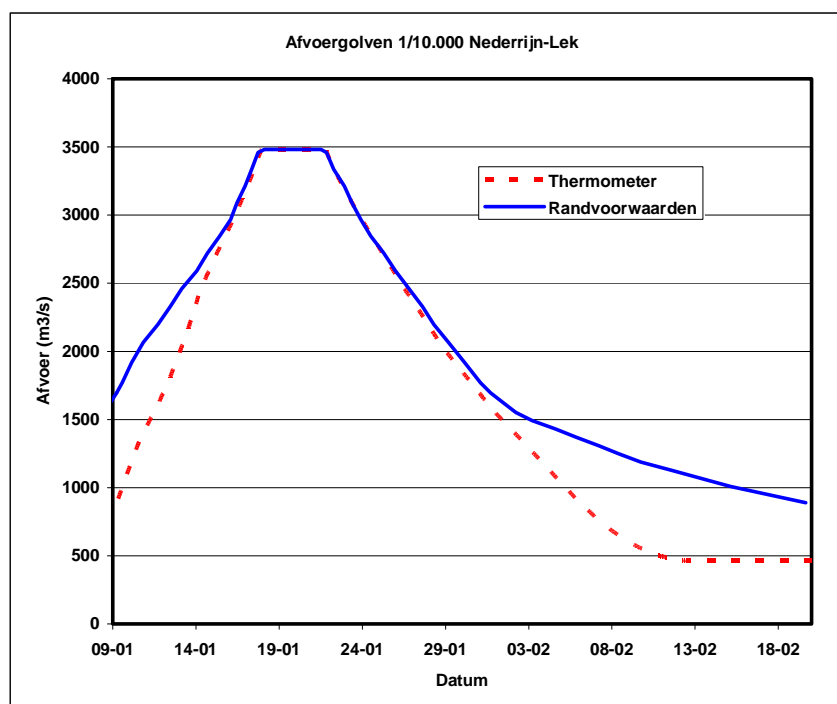


Figuur 3.1 Verloop van de waterstand op de Lek nabij Schoonhoven tijdens hoogwater

### 3.1.2 Compartimenteringstudie en Nadere Verkenning Waterveiligheid 2009

Bij het uitvoeren van de *Nadere verkenning Waterveiligheid* in 2009 is gebleken dat de omvang van de overstroming beperkter was dan in de resultaten van de berekeningen in het kader van het bepalen van de hydraulische randvoorwaarden (Asselman en De Wit, 2009). Om goed aan te sluiten bij de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden is in de offerte voor deze studie aangeboden uit te zoeken waardoor dit verschil veroorzaakt is. Hiervoor is de invoer van de gebruikte modellen vergeleken. Hieruit blijkt dat verschillende afvoergolven gebruikt zijn. Bij het opstellen van de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 is dezelfde vorm van de afvoergolf gebruikt als voor de Hydraulische Randvoorwaarden 2001 (Figuur 3.2). Bij het uitvoeren van de *Compartimenteringstudie* is ervoor gekozen een nieuwere golfvorm te gebruiken, de zogenaamde *Thermometergolf*.

De hoogte van de piekafvoer is voort beide golfvormen gelijk, maar de Thermometer golf stijgt en daalt aanzienlijk sneller, waardoor de duur van de golf en de totale afvoer aanzienlijk kleiner zijn dan bij de Randvoorwaarden golf (Figuur 3.2). In de studie *Nadere verkenning Waterveiligheid* in 2009 is de Thermometer golf gebruikt, waardoor de omvang van de berekende overstroming kleiner is dan in het resultaat van de berekeningen in het kader van de hydraulische randvoorwaarden.



Figuur 3.2 Vergelijking van de verschillende afvoergolven zoals gebruikt als randvoorwaarde voor de Nederrijn/Lek

### 3.1.3 Modelaanpassingen

In deze studie is de modelschematisatie gebruikt als in de *Nadere verkenning Waterveiligheid* uit 2009, die weer gebaseerd is op de schematisatie die gebruikt is voor het bepalen van de randvoorwaarden van de C-keringen (Oost en Slootjes, 2008; Slootjes en Hoffman, 2008). De afvoergolf is ook overgenomen uit de bepaling van de randvoorwaarden voor de C-keringen (tenzij anders vermeld). Ook de parametrisatie van de bres is uitgevoerd conform de bepaling van de randvoorwaarden.

In het kader van deze studie hebben de volgende correcties van het model plaatsgevonden:

- 1 Bij Halfweg bleek de Ringvaart van de Haarlemmermeer niet voldoende nauwkeurig aan te sluiten op het terrein model, waardoor er water uit de ringvaart de polder instroomde. Dit is gecorrigeerd door de ligging van de Ringvaart aan te passen.
- 2 De breedte en hoogte van de keringen in de versimpelde weergave van de Amsterdamse grachten was niet correct en is aangepast op basis van gegevens van Waternet.

In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de overstromingsmodellering gepresenteerd als kaarten en als getallen. De kaarten van het overstromingspatroon geven de maximale waterdiepte weer, zoals berekend voor een periode van minimaal twee weken na het moment van de doorbraak. In de kaarten van de maximale diepte en omvang van de overstroming zijn bestaande meren niet opgenomen, tenzij deze overstroomd worden en het waterpeil stijgt. Ook in het berekende areaal van de overstroming zijn meren in het overstroomde gebied alleen meegenomen als het waterpeil er gestegen is doordat de meren overstroomden.

## 3.2 Kostenraming

De kostenramingen binnen deze studie zijn uitgevoerd met behulp van het KOSWAT-instrumentarium, dat is ontwikkeld ten behoeve van de kosten baten analyse (KBA) welke is uitgevoerd binnen het project WV21. Bij de ontwikkeling van het instrumentarium zijn naast Deltares ook marktpartijen als Arcadis, DHV en Fugro betrokken geweest. Een uitgebreide beschrijving van de gebruikte methodes en data is te vinden in (De Grave en Baarse, 2010).

Globaal ziet het gevolgde proces om tot een kosteninschatting van de diverse beschouwde maatregelen te komen er als volgt uit:

- 1 Definitie van de uitgangssituatie
- 2 Ontwerp nieuwe waterkering gegeven de nieuwe randvoorwaarden
- 3 Kostenraming

In deze paragraaf wordt beknopt op de aanpak en uitgangspunten ingegaan die bij de verschillende onderdelen zijn gehanteerd.

### 3.2.1 Definitie van de uitgangssituatie

Om te beginnen zijn de te beschouwen dijktrajecten opgedeeld in een aantal representatieve dijkvakken. Dit gebeurt op basis van het heersende hydraulisch regime en het huidige aanwezige dijkprofiel (in combinatie met de eventuele overhoogte). Tevens zijn hierbij de verschillen in aanwezige ondergrond beschouwd, welke zijn vastgesteld op basis van de zgn. DINO database (TNO Bouw en Ondergrond). Deze vakindeling is binnen WV21 voor alle A-keringen van Nederland reeds gemaakt in samenwerking met de waterkeringbeheerders. Voor de in deze studie beschouwde regionale C-keringen is een zeer globale indeling gemaakt op basis van de door de beheerders aangeleverde toetsrapportages.

De kostenramingen worden in principe gemaakt op basis van de hierbij vastgestelde representatieve dijkprofielen. In enkele ramingen van de A-keringen is echter uitgegaan van het conceptuele uitgangspunt dat de dijk in de aanvangssituatie exact op orde is. Hiertoe is de kruinhoogte van het door de beheerder aangeleverde representatieve dijkprofiel aangepast, zodat deze precies aan de gestelde eisen voldoet, zoals deze zijn gedefinieerd in het kansenspoor van WV21. Eventuele aanwezige overhoogte is hierbij buiten beschouwing gelaten. Binnen WV21 is begin 2011 geconstateerd dat het huidige systeem op veel plaatsen nog niet aan de gekozen referentiesituatie voldoet, met name door de bijdrage van het faalmechanisme piping aan de overstromingskans. Er dienen dus additionele kosten gemaakt te worden om in de aanvangssituatie voor piping op orde te komen. Deze kosten zijn in de ramingen meegenomen. Tevens is bij het bepalen van de benodigde versterkingsmaatregelen bij een stijgende waterstand rekening gehouden met de nieuwe inzichten ten aanzien van piping uit VNK. Kosten om eventueel op orde te komen voor stabiliteit zijn niet onderkend.

Voor alle gedefinieerde dijkvakken is op basis van kaartmateriaal (TOP10NL) bepaald hoeveel bebouwing en infrastructuur in de invloedzone van de versterkingsmaatregel aanwezig is. Hiermee wordt rekening gehouden bij het ontwerp van de nieuwe kering en de raming van de kosten.

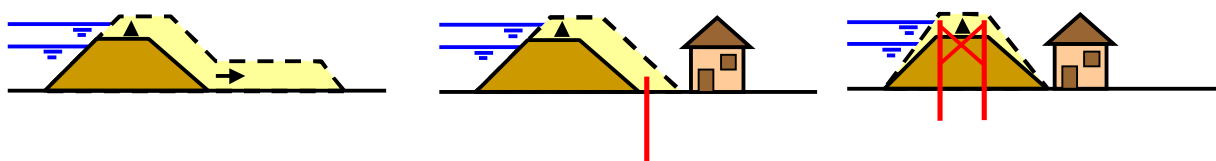
### 3.2.2 Ontwerp nieuwe waterkering

Gegeven een set hydraulische randvoorwaarden en de ondergrondschematisatie ter plaatse wordt op basis van het profiel in de uitgangssituatie een nieuwe kering ontworpen. De belangrijkste gehanteerde ontwerpproblemen hierbij zijn:

- Aanpassing van de bestaande keringen ('business as usual'), dijkverleggingen en andere (innovatieve) maatregeltypen worden in dit verband niet beschouwd.
- Benodigde versterkingsmaatregelen worden bepaald vanuit de huidige ontwerpfilosofie.
- Toepassing van grondmaatregelen zolang voldoende ruimte beschikbaar.
- Bestaande bebouwing (woningen, bedrijven) stelt harde grens aan beschikbare ruimte. Bebouwing wordt NIET gesloopt.
- Gebruik van constructieve maatregelen als niet voldoende ruimte beschikbaar is.
- Versterkingsmaatregelen in principe binnendijks.
- Bestaande infrastructuur in invloedzone maatregel wordt per definitie vervangen.

Kunstwerken en andere constructieve elementen in de kering, zoals keermuren en dergelijke worden apart geïnventariseerd en geraamd.

Globaal wordt het volgende schema gevolgd bij het ontwerp van een nieuwe kering, waarvan de uitgangssituatie een grondlichaam betreft. Allereerst wordt gekeken naar een oplossing volledig in grond. Al naar gelang de beschikbare ruimte kleiner is wordt een meer constructieve en dus duurdere constructie aangebracht.



Figuur 3.3 Dijkversterkingsmaatregelen KOSWAT

In het ontwerp van de nieuwe kering worden mechanismen als (macro-)stabiliteit en piping expliciet meegenomen.

### 3.2.3 Kostenraming

De kostenberekeningen worden uitgevoerd volgens de Standaard Systematiek Kostenramingen (SSK en PRI) die binnen het ministerie van V&W algemeen wordt toegepast. De basis voor de kostenbepaling wordt gevormd door de berekening van een aantal directe kostenposten. Voor dijkversterking zijn dit de directe bouwkosten, de kosten voor vastgoed (uitsluitend de verwerving van grond) en de kosten voor compensaties van natuur- en landschapswaarden (LNC-waarden). Voor de berekening van de directe kosten wordt gebruik gemaakt van eenheidsprijzen die betrekking hebben op de specifieke hoeveelheden, handelingen en componenten die samenhangen met de realisatie van het betreffende onderdeel. Voor het omzetten van de directe kosten naar totale (eenmalige) investeringskosten wordt gebruik gemaakt van opslagfactoren. De opslagfactoren zijn gebaseerd op het beschouwen van een aantal additionele kostenposten die als percentage van de directe kosten worden geraamd (zaken als: diverse algemene kosten, winst, engineering, onvoorzien).

Binnen WV21 is begin 2011 geconstateerd dat het huidige systeem op veel plaatsen nog niet aan de gekozen referentiesituatie voldoet, met name door de bijdrage van het faalmechanisme piping aan de overstromingskans. Er dienen dus additionele kosten gemaakt te worden om in de aanvangssituatie op orde te komen.

Deze kosten zijn in de ramingen meegenomen. Tevens is bij het bepalen van de benodigde versterkingsmaatregelen bij een stijgende waterstand rekening gehouden met de nieuwe inzichten ten aanzien van piping uit VNK.

### 3.3 Schade- en slachtoffermodellering

De schade- en slachtoffermodellering is uitgevoerd met de Schade- en slachtoffermodule (SSM) van het Hoogwater Informatie Systeem (HIS). Hiervoor zijn dezelfde methode en data gebruikt als voor WV21 (De Bruijn en Van der Doef, 2010). De bepaling van het aantal slachtoffers is gebaseerd op de volgende resultaten van de overstromingsmodellering:

- 1 Maximale overstromingsdiepte;
- 2 Maximale stroomsnelheid;
- 3 Stijgsnelheid.

Een belangrijke aanname voor de slachtoffermodellering is het percentage van de inwoners van een gebied dat in het gebied aanwezig is. In WV21 is voor het getijdengebied aangehouden dat 85% aanwezig is en voor het rivierengebied 25%, omdat de waarschuwingstijd voor een overstroming als gevolg van hoge rivierafvoer veel groter is dan de waarschuwingstijd voor een hoogwater op zee. In WV21 is voor dijkkring 44 25% aanwezigheid en voor dijkkring 15 85% aanwezigheid verondersteld. Overstroming van dijkkring 15 wordt echter sterk bepaald door de rivierafvoer, hoewel het samenvallen met hoogwater op zee wel van belang is. Daarom is in de gevoeligheidsanalyse van WV21 ook een berekening gemaakt met een aanwezigheidspercentage van 25%. In WV21 is voor dijkkring 14 een percentage van 85% aanwezigen aangehouden.

Omdat het in deze studie duidelijk gaat om overstroming als gevolg van een hoge rivierafvoer is er voor gekozen in alle drie de dijkringen de slachtofferberekeningen te baseren op een aanwezigheid van 25% van de inwoners.

In WV21 zijn de verwachtingswaarde van de schade, het aantal slachtoffers, de mortaliteit en het Lokaal Individueel Risico (zie volgende paragraaf) berekend op basis van de conditionele kans door overstromingen vanuit verschillende doorbraaklocaties te combineren (Nelen & Schuurmans, 2010a en 2010b). Voor dijkkring 15 zijn 7 doorbraaklocaties gebruikt (Nelen en Schuurmans, 2010a) en voor dijkkring 44 3 (Nelen & Schuurmans, 2010b).

In deze studie is er voor gekozen te werken met een beperkt aantal doorbraaklocaties. Daarom is het niet mogelijk de conditionele kans te berekenen. Het blijft natuurlijk wel mogelijk de uitkomsten voor de verschillende varianten onderling te vergelijken, maar de absolute waarde zal hierdoor afwijken van die berekend in WV21.

De resultaten van het HIS-SSM hebben betrekking op het jaar 2000. Dit is omgezet naar het jaar 2011 door een vermenigvuldigingsfactor van 1.4 te gebruiken voor de schade en van 1.05 voor het aantal getroffen en het aantal slachtoffers (Kind, 2010). Niet alle vormen van schade als gevolg van overstromingen worden in HIS-SSM beschouwd. Hiervoor is gecorrigeerd door een vermenigvuldigingsfactor van 1.5 toe te passen op de berekende schade (Kind, 2010). De gerapporteerde schadebedragen hebben betrekking op 2011 en zijn gecorrigeerd voor ontbrekende vormen van schade.

Tot slot is de contante waarde bepaald van het overstromingsrisico. Per slachtoffer is hiervoor een schadebedrag gehanteerd 6,7 miljoen euro en per getroffene van 12 duizend euro (Kind, 2010).



De jaarlijkse schade is berekend door de totale berekende schade te vermenigvuldigen met de kans van voorkomen (1/1.250, 1/2.000 of 1/10.000 per jaar). De contante waarde is berekend over een oneindige periode op basis van een discontovoet van 4% per jaar en een verwachte toename van de economische waarde van 1.9% (Kind, 2010). Dit levert een vermenigvuldigingsfactor voor de jaarlijkse schade op van 47.6.

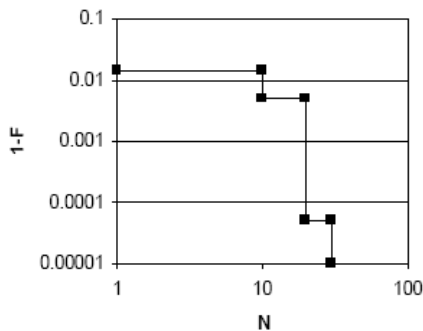
### 3.4 Bepaling Lokaal individueel Risico

Ook voor het bepalen van het LIR is aangesloten bij WV21 (De Bruijn en Van der Doef, 2010). De bepaling van het LIR is uitgevoerd per buurt (van de Wijk- en buurtkaart 2008 van het Centraal Bureau voor de Statistiek). De mortaliteit voor iedere buurt is bepaald conform de functie in de schade- en slachtoffermodellering op basis van de mediane waarde van de maximale diepte, maximale stroomsnelheid en maximale stijgsnelheid per buurt, zoals berekend met het overstromingsmodel. De mortaliteit is gedefinieerd als de fractie van het aantal aanwezigen in een cel dat om zou komen en is dus onafhankelijk van het aantal aanwezigen in de cel. Het LIR per buurt is vervolgens berekend door de mortaliteit te vermenigvuldigen met de fractie aanwezigheid (waarvoor 25% is aangenomen, zoals beschreven in de vorige paragraaf) en de kans op voorkomen van de betreffende gebeurtenis. Dit levert een lijst op van het LIR per buurt. Als maat voor het LIR per variant is gekeken naar de maximale waarde van het LIR voor de verschillende buurten.

In WV21 wordt de LIR net als de verwachtingswaarde voor schade en slachtoffers berekend op basis van de conditionele kans van verschillende doorbraken (zie vorige paragraaf). In deze studie is slechts een beperkt aantal doorbraaklocaties per dijkkring beschouwd. Verder is in deze studie altijd gerekend met een afvoergolf met een kans van voorkomen van 1/10.000 per jaar. Hierdoor zullen de berekende waarden voor het LIR kleiner zijn dan die berekend in WV21 voor gebeurtenissen met een grotere kans (1/1.250 en 1/2.000). De varianten kunnen echter wel met elkaar vergeleken worden op basis van het berekende LIR.

In de offerte voor fase 1 van deze nadere verkenning is aangeboden naast het LIR ook het groepsrisico te berekenen. Het groepsrisico wordt gepresenteerd als een  $F_n$ -curve, waarin de kans op een gebeurtenis wordt uitgezet tegen het aantal slachtoffers van die gebeurtenis (zie Figuur 3.4 voor een voorbeeld). Deze curve zal altijd een dalende trend vertonen omdat er minder kans is op een gebeurtenis met meer slachtoffers.

In WV21 is deze curve afgeleid voor het aantal slachtoffers als gevolg van overstromingen voor Nederland als geheel en voor iedere dijkkring afzonderlijk. De punten op de curve voor de dijkkring beschrijven gebeurtenissen die horen bij verschillende doorbraaklocaties en evacuatiescenario's. De kans per doorbraaklocatie bestaat uit de overstromingskans van de dijkkring vermenigvuldigd met een conditionele kans gebaseerd op de aanname dat iedere kilometer dijk rond een dijkkring een gelijke bijdrage aan de overstromingskans heeft. Bij ieder doorbraakscenario horen een aantal evacuatiescenario's met ieder ook weer een bepaalde conditionele kans (afhankelijk van hoeveel dagen voorafgaand aan de overstroming de beslissing tot evacuatie genomen is) (De Bruijn en Van der Doef, 2010).



Figuur 3.4 Voorbeeld van een  $F_n$ -curve met op de Y-as de kans van voorkomen en op de X-as het aantal slachtoffers (De Bruijn, 2009)

In deze studie worden de gevolgen van overstromingen berekend voor slechts één doorbraaklocatie per dijkkring. Daarom is er geen differentiatie van de kans tussen verschillende locaties mogelijk. De variatie in kansen in de  $F_n$ -curve zou dus alleen gebaseerd kunnen worden op verschillende evacuatiescenario's. Aangezien er geen reden is de evacuatiescenario's en hun kansen te variëren voor de verschillende varianten, zal de vorm van de curve voor alle varianten hetzelfde zijn en slechts verschuiven langs de horizontale as op basis van de verwachtingswaarde voor het aantal slachtoffers. Op deze manier voegt het groepsrisico geen informatie toe aan de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers. Daarom is besloten het groepsrisico niet te berekenen voor de verschillende varianten.

## 4 Analyse resultaten

In dit hoofdstuk worden de geanalyseerde varianten en hun resultaten beschreven. In paragraaf 4.1 wordt een overzicht gegeven van alle varianten. In de volgende paragrafen worden de resultaten van de analyses gebruikt om de vragen zoals geformuleerd in de doelstellingen (paragraaf 2.3) te beantwoorden.

### 4.1 Overzicht varianten en resultaten

Een overzicht van alle geanalyseerde varianten en de resultaten wordt gepresenteerd in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Overzicht van de geanalyseerde varianten en de resultaten

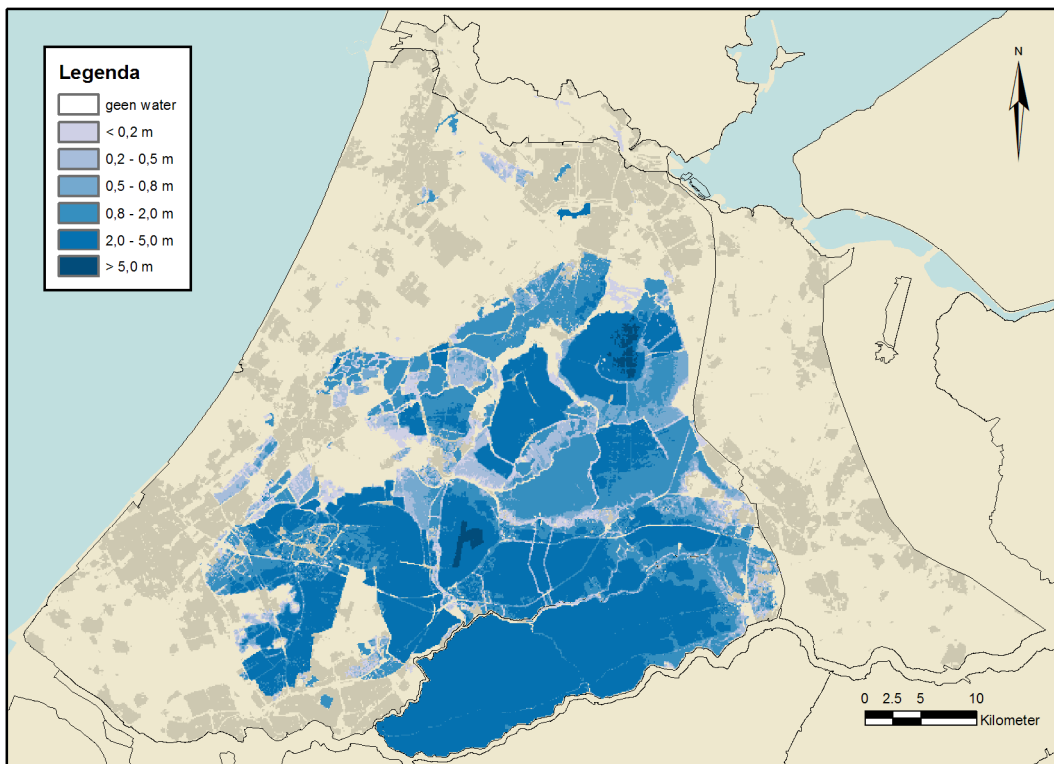
Variant	Areaal overstroomd	Slachtoffers	Schade	Maximaal Lokaal Individueel Risico	Contante Waarde Risico	Kosten
	(1000 ha)	aantal	1000 M€	(1E-7/jaar)	M€	M€
<b>Huidige situatie</b>						
1 Bres Lopik (dijkkring 15)	114	3.700	66	4.2	2.400	-
2 Bres Amerongen (dijkkring 44)	23	200	6	3.7	400	-
3 Bres Schalkwijk (dijkkring 44)	102	1.600	41	6.5	2.300	-
4 Bres Ammerstol (dijkkring 15)	67	1.400	25	4.5	900	-
5 Bres Bergambacht (dijkkring 15)	50	1.000	17	3.5	600	-
6 Bres Lekkerkerk (dijkkring 15)	24	300	6	3.7	200	-
<b>C-kering op orde</b>						
7 Bres Lopik	31	2000	33	4.7	1.100	600
8 Bres Amerongen	23	200	6	3.7	400	150
9 Bres Schalkwijk	58	1.700	40	11.7	2.200	150
<b>Strengere norm langs Nederrijn / Lek</b>						
10 Bres Lopik, gedeelte dijkkring 15 strengere norm				0.8	480	120
11 Bres Amerongen, dijkkring 44 strengere norm				0.5	50	-
12 Bres Schalkwijk, dijkkring 44 strengere norm				0.8	288	-
13 Bres Ammerstol, gedeelte dijkkring 15 strengere norm				0.9	180	120
14 Bres Bergambacht, gedeelte dijkkring 15 strengere norm				0.7	120	120
<b>Uitlaatwerk</b>						
15 Bres Lopik met uitlaatwerk	102	2.400	43	4.2	1.600	10
16 Bres Ammerstol met uitlaatwerk	47	1.000	16	3.8	600	10
17 Bres Lopik en C-kering op orde met uitlaatwerk	31	1.500	24	4.2	900	610
<b>Aanpassing compartimentering</b>						
18 Bres Lopik, aanvullende compartimentering langs de Vlist in dijkkring 15	109	5300	103	4.2	3.600	60
19 Bres Lopik, verlagen C-keringen	120	4300	78	4.3	2.800	Hoog
<b>Gevoeligheid - golfvorm</b>						
20 Bres Lopik, Thermometer golf (verder als 1)	110	3100	55	4.2	2.000	-
21 Bres Ammerstol, Thermometergolf (verder als 4)	56	1.100	19	3.5	700	-
22 Bres Schalkwijk, Thermometergolf (verder als 3)	98	1.500	38	8.3	2.200	-
<b>Gevoeligheid - bresgroei</b>						
23 Bres Schalkwijk, bresgroei als klei (verder als 3)	82	1.100	30	3.9	1.700	-
24 Bres Lopik, bresgroei als klei (verder als 1)	108	2.900	52	4.2	1.900	-
<b>Gevoeligheid - bresbreedte</b>						
25 Bres Lopik, met uitlaatwerk en verbreedde bres (verder als 15)	101	2300	40	4.2	1.500	10
26 Bres Ammerstol, met uitlaatwerk en verbreedde bres (verder als 16)	51	1.000	17	3.9	600	10
<b>Gevoeligheid - bresdiepte</b>						
27 Bres Schalkwijk, met diepte als hoogste cel binnendijks (verder als 3)	91	1.300	35	5.6	2.000	-
28 Bres Schalkwijk, met diepte als voorland (verder als 3)	33	400	14	3.6	800	-
29 Bres Lopik, met diepte als voorland (verder als 1)	29	700	10	3.3	400	-
<b>Gevoeligheid - doorbraakmoment</b>						
30 Bres Lopik, doorbraakmoment gunstig met getij (verder als 1)	113	3.400	61	4.2	2.200	-
<b>Gevoeligheid - correctie maatgevende waterstand</b>						
31 Bres Schalkwijk, correctie maatgevende waterstand in model (verder als 3)	85	1.200	32	4.5	1.800	-
32 Bres Amerongen, correctie maatgevende waterstand in model (verder als 2)	28	300	8	3.7	500	-
<b>Gevoeligheid - combinaties</b>						
33 Bres Schalkwijk, bresgroei klei, diepte voorland, correctie toetspeil (comb. 23, 28 & 31, verder als 3)	11	20	1	2.3	50	-
34 Bres Amerongen, bresgroei klei, diepte voorland, correctie toetspeil (verder als 2)	5	40	2	2.5	100	-

De risico's van varianten 10 t/m 14 zijn bepaald op basis van de resultaten voor varianten 1 t/m 5 door de kans aan te passen.

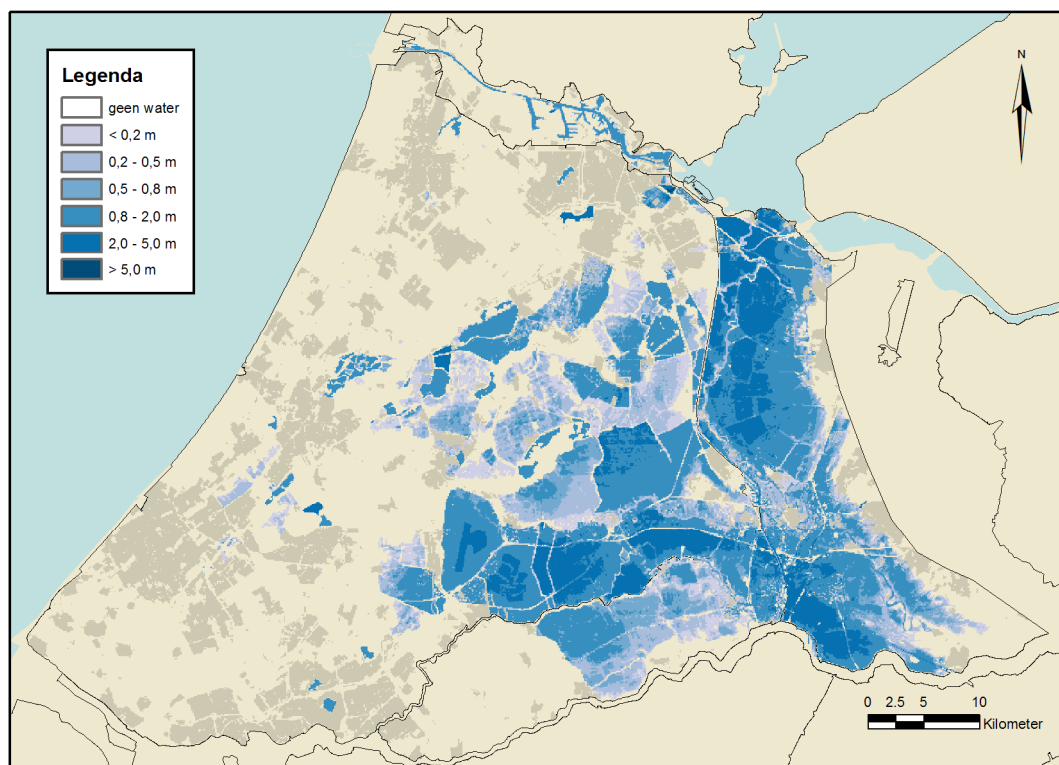
#### 4.2 Huidige situatie

De resultaten voor de huidige situatie beschrijven de overstrooming bij een kans van 1/1.250 per jaar voor doorbraken van de Lekdijk van dijkkring 44 en 1/2.000 per jaar voor dijkkring 15. Verder is in het hoogtemodel uitgegaan van de huidige hoogte van de C-keringen.

De resultaten laten zien dat de gevolgen van een doorbraak sterk afhankelijk zijn van de breslocatie. Doorbraken bij Lopik (Figuur 4.1) en Schalkwijk (Figuur 4.2) leiden tot de ernstigste gevolgen.

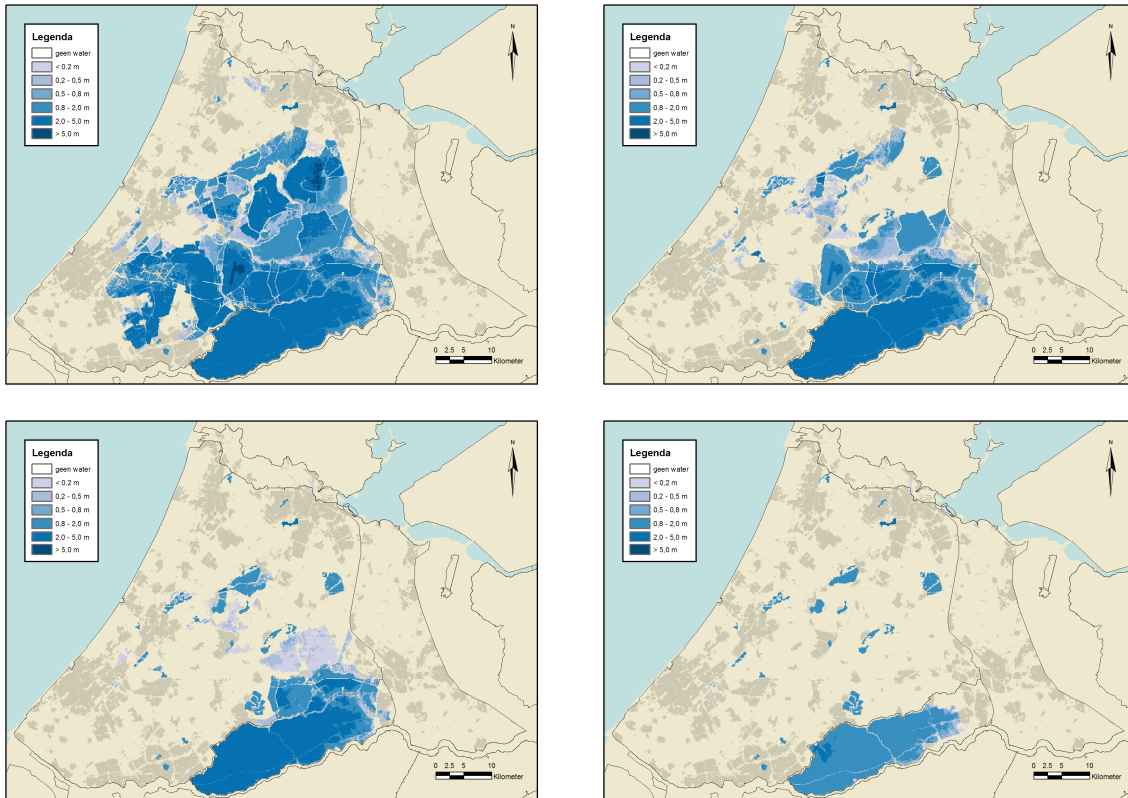


Figuur 4.1 Overstromingspatroon na doorbraak bij Lopik voor de huidige situatie (variant 1)



Figuur 4.2 Overstromingspatroon na doorbraak bij Schalkwijk voor de huidige situatie (variant 3)

Alle berekende doorbraken behalve die bij Lekkerkerk leiden ook tot overstroming van een gedeelte van dijkkring 14. In het geval van een doorbraak bij Bergambacht is dit echter zeer beperkt (Figuur 4.3).

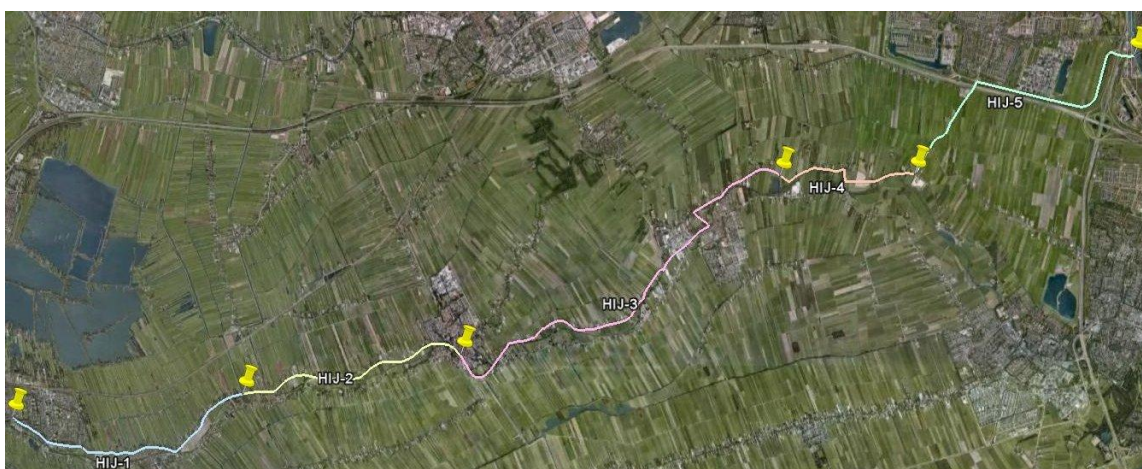


Figuur 4.3 Overstromingspatroon na doorbraken bij Lopik (variant 1, linksboven), Ammerstol (variant 4, rechtsboven), Bergambacht (variant 5, linksonder) en Lekkerkerk (variant 6, rechtsonder)

## 4.3 C-keringen voldoen aan de norm

### 4.3.1 Kosten Traject Gekanaliseerde Hollandse IJssel

Uit de resultaten van de derde toetsronde (Arcadis, 2010) volgt dat de kruinhoogte van de dijk over nagenoeg het gehele traject ruim onder toetspeil ligt. Als een waterstandsverhoging door opwaaiing (circa 15 cm) en golfloop over het talud worden meegenomen, zijn de kruinhoogtetekorten lokaal zelfs meer dan 3 m. Ten behoeve van de kostenraming om deze dijk op orde te brengen is een vakindeling gemaakt zoals weergegeven in Figuur 4.4.



Figuur 4.4 Vakindeling gekanaliseerde Hollandse IJssel

Het toetspeil over het gehele traject is 3,2 m+NAP, wanneer rekening wordt gehouden met een maximaal overslagdebiet van 1 l/s/m dient de dijkhoogte (na zetting van naar schatting 30%) minimaal 4,7 m+NAP te bedragen. Nieuwe dimensies van de dijken in relatie tot stabiliteit en piping worden ontleend aan (Arcadis, 2009).

De kosten om op orde te komen worden geraamd volgens de methodiek zoals beschreven in paragraaf 3.2. Hierbij wordt dus rekening gehouden met aanwezige bebouwing en infrastructuur. Voor alle dijken langs het traject is uitgegaan van een dijk met taluds van 1:3 en een kruinbreedte van 5m in de uitgangssituatie.

Voor de aanwezige kunstwerken wordt ervan uitgegaan dat ze volledig vervangen dienen te worden. De overige gegevens gebruikt in de raming en het resultaat is gegeven in Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kostenbepaling C-kering Gekanaliseerde Hollandse IJssel

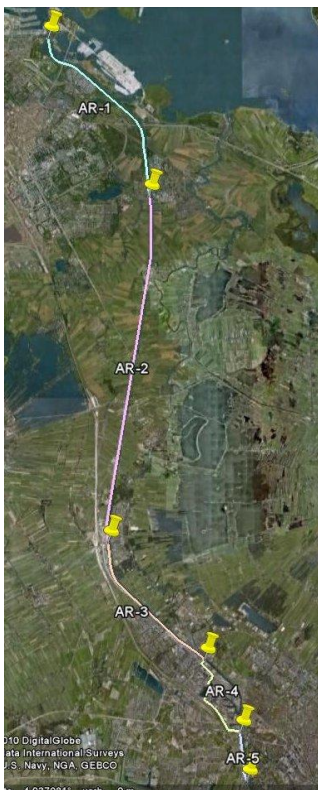
Vak	Lengte (m)	Huidige situatie		Situatie op orde			
		Maaiveld (m+NAP)	Kruinhoogte huidig (m+NAP)	Kruinhoogte nieuw (m+NAP)	Berm-lengte (m)	% opl. in grond	Kosten (M€)
HIJ-1	5756	-2,0	3,0	4,7	15	62	71,4
HIJ-2	5113	-1,5	1,7	4,7	20	33	111,7
HIJ-3	9724	-1,0	1,3	4,7	20	58	142,5
HIJ-4	3293	-1,0	1,7	4,7	15	80	38,1
HIJ-5	6605	-1,0	1,4	4,7	10	96	68,0
Kunstwerken (27 coupure's, 27 duikers, 3 sluizen en 2 gemalen)							147,2
<b>Totaalkosten (M€excl. btw)</b>							<b>578,9</b>

De kosten op deze dijk op orde te brengen volgens de huidige normen worden aldus geraamd op ca. 600 M€, exclusief btw.

#### 4.3.2 Kosten Traject Amsterdam-Rijnkanaal

Uit de resultaten van de derde toetsronde (Witteveen+Bos, 2010) volgt dat de kruinhoogte van de dijk langs de westzijde van het Amsterdam-Rijnkanaal op een zeer groot gedeelte van het traject onder toetspeil ligt. Om een kostenraming te kunnen maken om deze dijk op orde te brengen is een vakindeling gemaakt zoals weergegeven in Figuur 4.5. De dijk langs het Amsterdam-Rijnkanaal en Lekkanaal tussen dijkringen 44 en 15 is hier niet in meegenomen.





Figuur 4.5 Vakindeling westoever Amsterdam-Rijnkanaal

Het toetspeil over het gehele traject verloopt van 2,4 m+NAP (Utrecht) tot 1,0 m+NAP (Diemen). Vanwege geringe golfoploop liggen de benodigde dijkhoogtes bij een golfoverslagdebiet van 1 l/s/m op het traject een halve meter hoger dan toetspeil (minimale waakhoogte). In Tabel 4.3 zijn de belangrijkste aspecten van de raming weergegeven. De delen van het traject die in de toetsing (op hoogte) op orde zijn bevonden zijn gecompenseerd in de genoemde vaklengtes. Het gaat hier met name om trajecten in vak AR-1.

Tabel 4.3 Kostenbepaling C-kering westoever Amsterdam-Rijnkanaal

Vak	Lengte (m)	Huidige situatie		Situatie op orde			Kosten (M€)
		Maaiveld (m+NAP)	Kruinhoogte huidig (m+NAP)	Kruinhoogte nieuw (m+NAP)	Berm-lengte (m)	% opl. in grond	
AR-1	6956	-2.0	1.50	2.10	7.8	95	18,9
AR-2	15106	-1.5	1.55	2.25	7.0	98	49,8
AR-3	6852	-1.0	1.50	2.30	9.6	78	32,3
AR-4	4380	0.0	1.45	2.65	0.0	89	13,7
AR-5	2272	0.0	2.60	2.90	3.9	80	4,4
Kunstwerken (4 keersluizen, 1 schutsluis)							25,9
<b>Totaalkosten (M€excl. btw)</b>							<b>145,0</b>

De kosten op deze dijk op orde te brengen volgens de huidige normen worden aldus geraamd op 150 M€, exclusief btw.



Een meer gedetailleerde kostenraming van de beheerder, Rijkswaterstaat Directie Utrecht (RWS-DU), geeft aan dat de verwachte kosten om de kering aan de norm te laten voldoen fors hoger uitkomen. Het aanzienlijke verschil wordt verklaard door de volgende factoren:

- Kostenraming RWS-DU is inclusief de 9 km C-kering tussen dijkkring 44 en 15, die niet in deze studie meegenomen is
- De kostenraming van RWS-DU is inclusief BTW, die in deze studie exclusief BTW
- De kostenraming in deze studie heeft aanzienlijk minder kunstwerken, minder lengte bebouwd gebied en daarmee minder lengte waar constructieve oplossingen nodig zijn, doordat deze raming gebaseerd is op globale informatie
- De kostenraming in deze studie houdt geen rekening met de aanzienlijke kosten voor voorzieningen met betrekking tot de aanwezige leidingen
- De kosten per kilometer in onbebouwd gebied komen in deze studie lager uit dan in de kostenraming van RWS-DU

#### 4.3.3 Conclusies voor aan de norm voldoen C-keringen

In Tabel 4.4 worden de resultaten vergeleken voor de varianten voor de huidige situatie en met de C-keringen op orde. Als de C-keringen aan de norm voldoen neemt de omvang van de gevolgen over het algemeen af. Wel neemt het maximale LIR toe, doordat de stijgsnelheid van het water toe zal nemen. Voor dijkkring 44 lijken de baten (als vermindering van de contante waarde van het risico) de kosten voor het aan de norm laten voldoen van de C-kering langs het Amsterdam-Rijnkanaal zoals geraamd volgens de WV21 methode niet te rechtvaardigen. Dit geldt in nog sterkere mate voor de kosten gebaseerd op de raming van de beheerder. Het vermeden risico voor een doorbraak bij Lopik lijkt de kosten voor het aan de norm laten voldoen van de C-kering langs de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel wel te rechtvaardigen, hoewel er rekening meegehouden moet worden dat deze kostenraming nog zeer grof is en er ook een grote onzekerheid zit in de schatting van de baten.

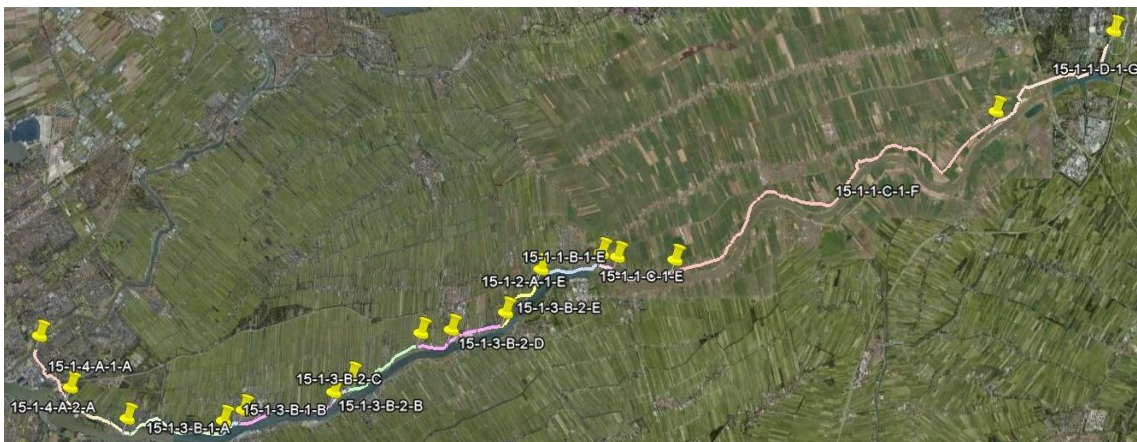
Tabel 4.4 Vergelijking van de resultaten voor varianten voor de huidige situatie en met de C-keringen op orde

Doorbaak	Contante Waarde Risico (M€)		Baten	Kosten	Maximaal LIR (1E-7/jaar)	
	Huidig	C-kering op orde	M€	M€	Huidig	C-kering op orde
Bres Lopik (dijkkring 15)	2400	1100	1300	600	4.2	4.7
Bres Amerongen (dijkkring 44)	400	400	0	150	3.7	3.7
Bres Schalkwijk (dijkkring 44)	2300	2200	100	150	6.5	11.7

## 4.4 Hogere norm Lekdijk

### 4.4.1 Kosten hogere norm Lekdijk dijkkring 15

De kostenraming voor de Lekdijk is beperkt tot het gedeelte dat aan de strengere norm moet voldoen om overstroming in dijkkring 14 te voorkomen. Op grond van de uitkomsten van de overstromingsmodellering (varianten 4 t/m 6) is dit gedeelte globaal bepaald als het traject tussen Nieuwegein en Bergambacht. De gehanteerde vakindeling is weergegeven in Figuur 4.6. Van het meest westelijke vak (15-1-3-B-2-D) is slechts een percentage van de lengte in rekening gebracht.

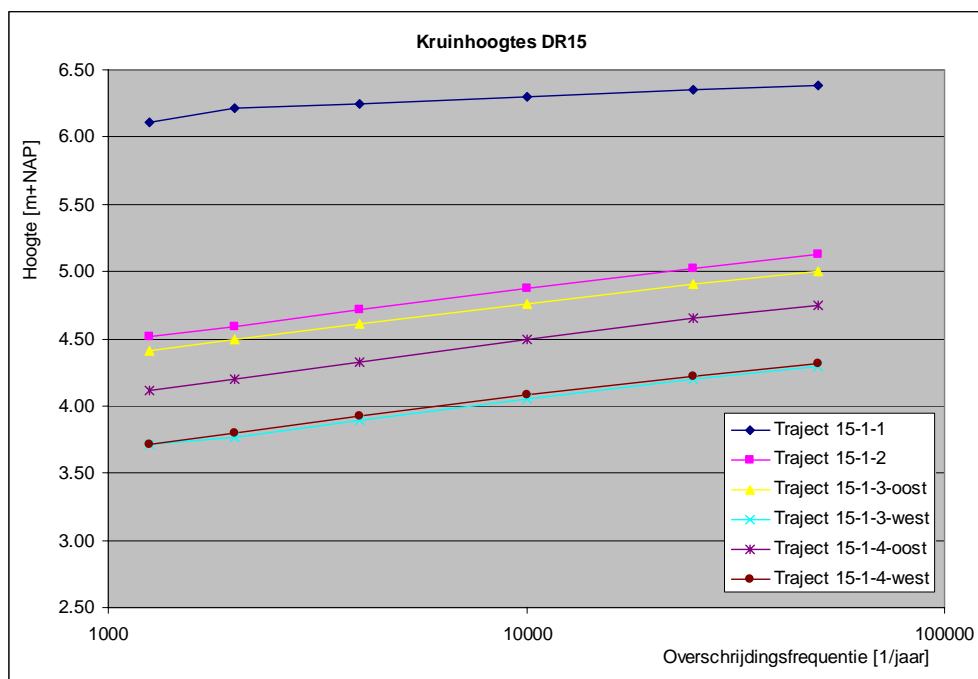


Figuur 4.6 Vakindeling dijkkring 15.

De kostenramingen zijn ontleend aan de ramingen die gedaan zijn ten behoeve van de kosten-batenanalyse uitgevoerd binnen het project WV21 (De Grave en Baarse, 2010). Uitgangspunt in de basisvariant van WV21 is dat het systeem in de uitgangssituatie juist aan de norm voldoet. De huidige norm is daarbij geïnterpreteerd als de overstromingskans op dijkkring(deel) niveau. In dit geval is dat 1/2000 per jaar. Een individueel vak in de dijkkring mag aan deze kans slechts gedeeltelijk bijdragen. Dit komt tot uitdrukking in de gehanteerde dijkkringfactor (van Velzen, 2010). In dit geval is de dijkkringfactor 5, dit betekent dat een dijk langs een individueel vak een Hydraulisch Belasting Niveau (HBN, zijnde waterstand plus golfoploop) met een kans van voorkomen van 1/10000 moet kunnen keren. Wanneer de norm wordt verhoogd naar 1/10000 op dijkkringniveau moet de kering analoog hieraan een HBN met een kans van voorkomen van 1/50000 kunnen weerstaan. Hierbij hoort een waterstand met een overschrijdingskans van 1/10000.

De decimeringshoogte op de kruin (niet te verwarren met de decimeringshoogte op de waterstand) varieert in het beschouwde deel van dijkkring 15 in de orde van 10 tot 35 cm. In Figuur 4.7 kan afgelezen worden hoe hoog de dijk in de dijk op orde situatie (HBN bij een kans van 1/10000) zou moeten zijn en hoe hoog deze zou moeten worden in geval van een normverzwaring.

Te zien is dat voor de beschouwde normverzwaring de dijken in de orde 10 cm (traject 15-1-1) tot 25 cm (traject 15-1-2, 15-1-3 en 15-1-4) verhoogd hoeven te worden.



Figuur 4.7 Benodigde kruinhoogtes dijkkring 15 als functie van de overschrijdingsfrequentie

Een dijkverhoging wordt gebaseerd op een planperiode voor 50 jaar, gangbaar voor een 'groene dijk'. De kosten voor normverhoging zijn bepaald als het verschil tussen de huidige waarde van de vereiste dijkverbeteringen op basis van de huidige norm en op basis van de strengere norm. Iedere dijkverhoging is gebaseerd op de benodigde kruinhoogte in 2065, verhoogd met 30 cm robuustheidtoeslag<sup>1</sup>.

Dijkversterkingen zijn noodzakelijke op verschillende tijdstippen. Daarom zijn de kosten verdisconteerd naar een huidige waarde aan de hand van onderstaande formule:

$$PV = \frac{FV}{(1+i)^t}$$

Waarin:

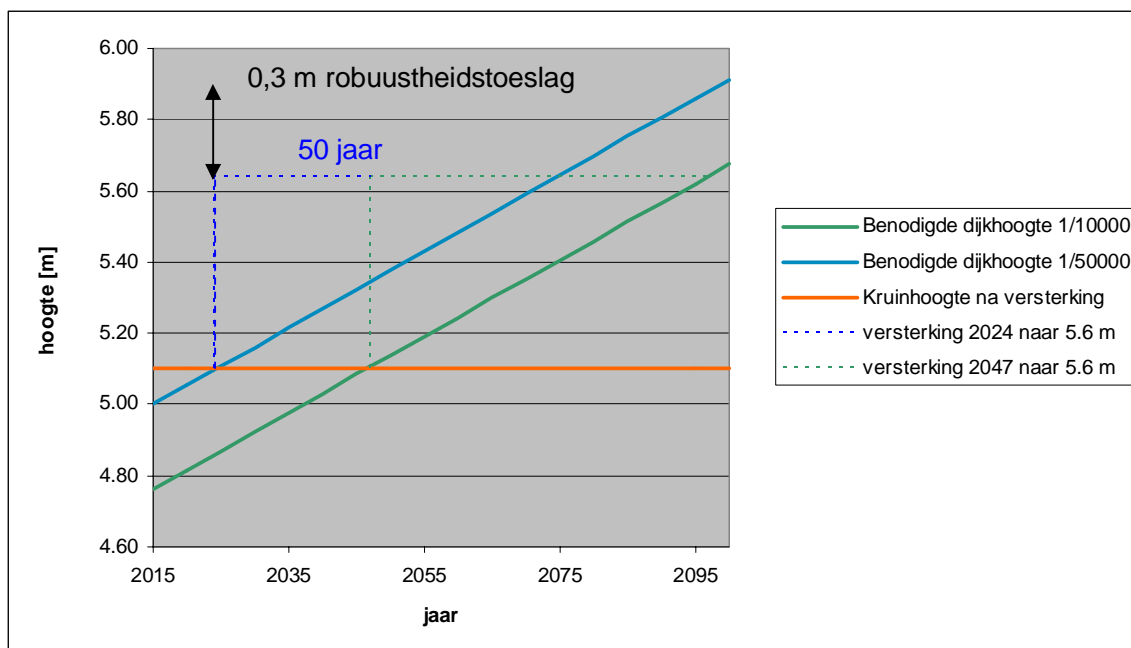
PV= huidige waarde (present value)

FV= toekomstige waarde (future value)

i = disconteringsvoet, conform WV21: 5,5%

t = verschil in jaren tussen 2015 en jaar van versterken

1. Deze toeslag is minder relevant omdat er gekeken wordt naar de gevolgen van normverzwaring, dus het verschil in de kosten.



Figuur 4.8 Verhoging dijk bij huidige norm en bij normverzwaring

Figuur 4.8 laat als voorbeeld een dijktraject zien waarbij in 2024 versterkt moet worden om aan de strengere vaknorm van 1/50.000 te voldoen en pas in 2047 bij de huidige vaknorm van 1/10.000. Bij beide versterkingen wordt er uitgegaan van een benodigde dijkhoogte van 50 jaar later, verhoogd met een robuustheidstoeslag van 0.3 m. Het verschil ontstaat dus doordat de kosten voor dijkverbetering bij een strengere norm eerder gemaakt moeten worden en dus een hogere huidige waarde vertegenwoordigen na discontering.

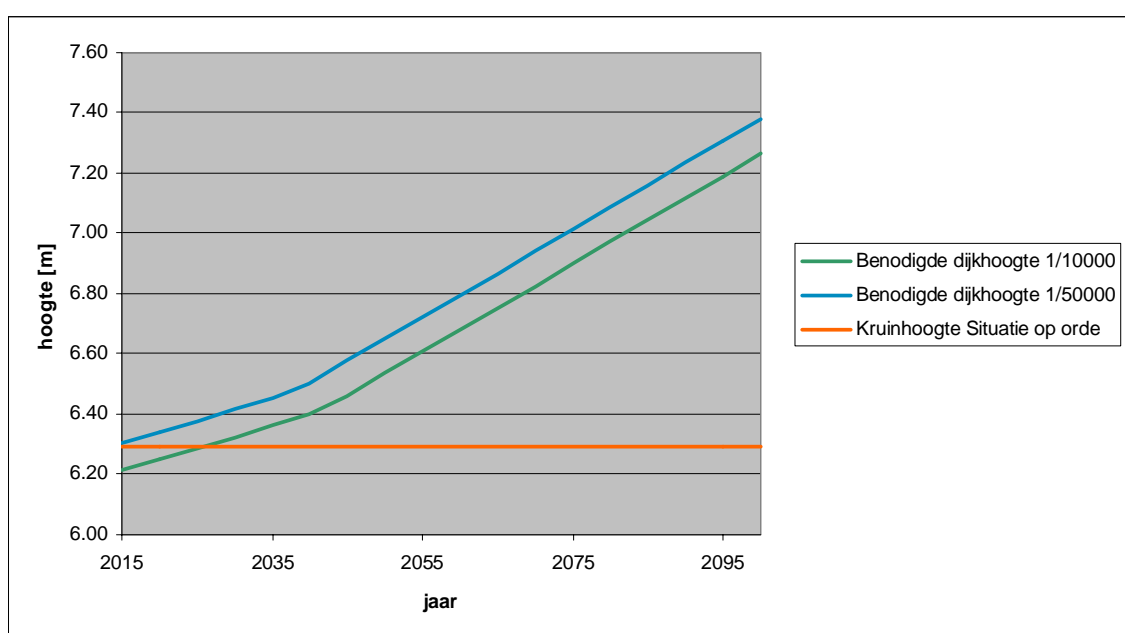
Een verhoging van de norm voor de dijk aan de noordzijde van de Lek heeft ook gevolgen voor de kans op overstroming van de dijk aan de zuidzijde bij voor deze dijk boven maatgevende waterstanden. Het is een mogelijkheid dit teniet te doen door ook voor dit traject de norm te verhogen naar de 1/10.000 per jaar van dijkkring 14. Nadeel hiervan is dat een hogere norm zich op deze wijze als een olievlek zou kunnen gaan verspreiden van de ene dijkkring naar de andere. Of dit al dan niet wenselijk is, is een politieke afweging. In Tabel 4.5 en Tabel 4.6 worden de ramingen hiervan weergegeven.

Het resultaat van de kostenraming wordt mede bepaald door de gekozen uitgangssituatie:

- Situatie op orde: dit houdt in dat in 2015 de waterkering precies voldoet aan de norm, zonder overhoogte. Dit komt overeen met de basisvariant van WV21.
- De huidige situatie: dus inclusief overhoogte.
- Situatie na afronding van dijkverbetering zoals gepland en in uitvoering. Dit geldt alleen voor de noordelijke Lekdijk langs dijkkring 15 waar momenteel aan dijkverbetering gewerkt wordt.

Een situatie op orde gaat ervan uit de kruinhoogte in 2015 precies voldoet aan de gestelde eisen. In 2016 zou de hoogte niet meer voldoende zijn, zie Figuur 4.9. In deze figuur is de benodigde dijkhoogte als functie van de tijd weergegeven, waarbij rekening gehouden wordt met (relatieve) zeespiegelstijging. Hierin is de autonome bodemdaling reeds verdisconteerd. De benodigde dijkhoogte is dus afhankelijk van de norm en is gelijk aan het HBN of de daarbij behorende maatgevende waterstand verhoogd met een halve meter waakhoogte. De

hoogste waarde van deze twee is bepalend, dit verklaart de knik in de grafieken van Figuur 4.9. Tot 2035 wordt de benodigde kruinhoogte bepaald door de maatgevende waterstand verhoogd met een halve meter waakhogte. Na 2035 is de projectie van het HBN bepalend. Voor de Lek wordt de toename met de tijd van het HBN voornamelijk bepaald door bodemdaling en zeespiegelstijging. Een hogere afvoer van de Rijn als gevolg van klimaatverandering wordt conform de PKB Ruimte voor de Rivier niet via de Lek afgevoerd. Hierdoor blijft de stijging van het HBN relatief beperkt.



Figuur 4.9 Benodigde kruinhoogten van vak 15-1-1-D-1-G bij een vaknorm van 1/10000 (dus een dijkkringnorm van 1/2000) en een strengere vaknorm van 1/50000 (dus een dijkkringnorm van 1/10000)

Voor een aantal dijkvakken voldoet de hoogte in 2015 direct al niet aan de 1/50000 norm (bijvoorbeeld vak 15-1-1-D-1-G in Figuur 4.9). De versterking dient hierbij dus al direct in 2015 plaats te vinden.

In onderstaande tabel wordt de huidige waarde weergegeven van de toekomstige vereiste dijkverbeteringen voor de huidige dijkkringnorm van 1/2000 en de strengere norm van 1/10000 met als uitgangspunt dat de situatie nu precies op orde is. De kosten voor de strengere norm worden bepaald als het verschil tussen de huidige waarden.

Tabel 4.5 Kostenbepaling A-keringen dijkringen 15 en 16 vanuit situatie systeem op orde

Vaknaam	Vak- lengte [km]	Huidige norm ( 1/2000)			Normverzwaring (1/10000)			Ver- schil Kosten [M€]
		Vak- norm HBN	Kruin versterki ng 2015 [m+NAP]	Kosten [M€]	Vak- norm HBN	Kruin versterki ng 2015 [m+NAP]	Kosten [M€]	
15-1-1-B-1-E	0,56	10.000	7,05	7,1	50.000	7,17	7,2	0,1
15-1-1-C-1-E	2,10	10.000	7,05	10,0	50.000	7,17	10,9	0,9
15-1-1-C-1-F	14,54	10.000	7,05	97,6	50.000	7,17	105,2	7,6
15-1-1-D-1-G	5,86	10.000	7,05	74,4	50.000	7,17	78,2	3,8
15-1-2-A-1-E	2,50	10.000	6,05	37,1	50.000	6,31	39,7	2,6
15-1-3-B-2-D	2,05	10.000	5,60	30,7	50.000	5,84	34,6	3,9
15-1-3-B-2-E	2,20	10.000	5,60	26,6	50.000	5,84	32,9	6,3
<b>Totaal 15</b>				<b>283,5</b>			<b>308,7</b>	<b>25,2</b>
16-1-1-A-1-Z	3,65	20.000	5,70	31,6	100.000	6,32	49,0	17,4
16-1-1-B-2-Z	3,63	20.000	6,31	33,4	100.000	6,91	37,6	4,2
16-1-1-C-2-Z	0,69	20.000	6,31	4,9	100.000	6,91	7,6	2,7
16-1-1-C-3-Z	10,27	20.000	6,83	99,9	100.000	7,39	134,1	34,2
16-1-1-D-4-Z	7,54	20.000	8,06	46,4	100.000	8,65	66,4	20,1
16-1-1-D-5-Z	2,49	20.000	8,06	18,1	100.000	8,65	24,2	6,2
16-1-1-E-5-Z	3,96	20.000	8,06	19,9	100.000	8,65	27,1	7,2
16-1-2-B-2-Z	0,50	20.000	5,99	30,0	100.000	6,76	52,7	22,8
16-1-2-C-2-Z	1,50	20.000	5,99	7,9	100.000	6,76	12,2	4,3
16-1-2-C-3-Z	2,50	20.000	5,87	11,2	100.000	6,50	18,2	7,0
<b>Totaal 16</b>				<b>303,3</b>			<b>429,1</b>	<b>125,8</b>
							<b>Totaal</b>	<b>151,0</b>

Indien in de ramingen wordt uitgegaan van de huidige kruinhoogte van de representatieve doorsnede, zoals opgegeven door de beheerder ten behoeve van WV21 (gecorrigeerd voor een beperkte restzetting van 20cm), ontstaat een ander beeld. Hierbij wordt dus rekening gehouden met de huidig aanwezige overhoogte en is ervan uitgegaan dat de dijkhoogte die in de representatieve doorsnede opgegeven is, van toepassing is op het hele vak.

Tabel 4.6 Kostenbepaling A-keringen dijkringen 15 en 16 vanuit de huidige situatie

Vaknaam	Vak- lengte [km]	Huidige norm (1/2000)			Normverzwaring (1/10000)			Ver- schil Kosten [M€]
		Vak- norm HBN	Kruin [m+NAP] / jaar versterki ng	Kosten [M€]	Vak- norm HBN	Kruin – jaar versterki ng [m+NAP]	Kosten [M€]	
15-1-1-B-1-E	0,56	10.000	7,21/2025	4,0	50.000	7,17/2015	7,0	3,0
15-1-1-C-1-E	2,10	10.000	7,21/2025	6,3	50.000	7,17/2015	11,1	4,8
15-1-1-C-1-F	14,54	10.000	7,21/2025	62,2	50.000	7,17/2015	108,6	46,4
15-1-1-D-1-G	5,86	10.000	7,21/2025	48,3	50.000	7,17/2015	84,3	36,0
15-1-2-A-1-E	2,50	10.000	6,36/2032	15,3	50.000	6,36/2018	33,7	18,4
15-1-3-B-2-D	2,05	10.000	5,6/2015	30,7	50.000	5,84/2015	34,6	3,9
15-1-3-B-2-E	2,20	10.000	5,6/2015	26,6	50.000	5,84/2015	32,9	6,3
<b>Totaal 15</b>				<b>193,4</b>			<b>312,2</b>	<b>118,8</b>
16-1-1-A-1-Z	3,65	20.000	7,16/2100	0,5	100.000	7,46/2090	0,8	0,3
16-1-1-B-2-Z	3,63	20.000	6,81/2048	5,9	100.000	7,11/2028	18,5	12,6
16-1-1-C-2-Z	0,69	20.000	6,81/2048	1,1	100.000	7,11/2028	3,9	2,8
16-1-1-C-3-Z	10,27	20.000	6,83/2015	99,9	100.000	7,39/2015	121,2	21,3
16-1-1-D-4-Z	7,54	20.000	8,06/2015	46,4	100.000	8,65/2015	58,8	12,4
16-1-1-D-5-Z	2,49	20.000	8,06/2015	18,1	100.000	8,65/2015	21,6	3,5
16-1-1-E-5-Z	3,96	20.000	8,06/2015	19,9	100.000	8,65/2015	23,9	4,0
16-1-2-B-2-Z	0,50	20.000	6,84/2072	2,2	100.000	7,14/2040	13,4	11,2
16-1-2-C-2-Z	1,50	20.000	6,84/2072	0,5	100.000	7,14/2040	3,3	2,8
16-1-2-C-3-Z	2,50	20.000	7,26/2100	0,1	100.000	7,56/2084	0,3	0,2
<b>Totaal 16</b>				<b>194,6</b>			<b>265,7</b>	<b>71,1</b>
							<b>Totaal</b>	<b>189,9</b>

De kosten voor de hogere norm voor de Lekdijk langs dijkkring 15 zijn ook nog geraamd met als uitgangspunt de situatie die zal ontstaan na afronding van de dijkverbeteringswerken die nu in uitvoering en in voorbereiding zijn (Tabel 4.7). Hierbij is dus rekening gehouden met de overhoogte die ontstaat bij het uitvoeren van een dijkverbetering. Ten opzichte van de vorige twee situaties (situatie precies op orde en huidige situatie) is de dijk dus hoger.

Tabel 4.7 Kostenbepaling A-keringen dijkkring 15 vanuit de situatie na reeds geplande dijkverbetering

Vaknaam	Vaklengte [km]	Huidige norm (1/2000)			Normverzwaring (1/10000)			Verschil Kosten [M€]
		Vaknorm HBN	Kruin [m+NAP] / jaar versterking	Kosten [M€]	Vaknorm HBN	Kruin – jaar versterking [m+NAP]	Kosten [M€]	
15-1-1-B-1-E	0,56	10.000	7,21/2025	4,0	50.000	7,17/2015	7,0	3,0
15-1-1-C-1-E	2,10	10.000	7,21/2025	6,3	50.000	7,17/2015	11,1	4,8
15-1-1-C-1-F	14,54	10.000	7,21/2025	62,2	50.000	7,17/2015	108,6	46,4
15-1-1-D-1-G	5,86	10.000	7,21/2025	48,3	50.000	7,17/2015	84,3	36,0
15-1-2-A-1-E	2,50	10.000	7,18/2079	1,1	50.000	7.18/2065	2,4	1,3
15-1-3-B-2-D	2,05	10.000	5,94/2047	6,7	50.000	5.94/2024	21,9	15,2
15-1-3-B-2-E	2,20	10.000	5,94/2047	4,7	50.000	5.94/2024	22,1	17,4
<b>Totaal 15</b>				<b>133,3</b>			<b>246,4</b>	<b>124,1</b>

Het blijkt dat het verschil in huidige waarde van toekomstige dijkverbeteringen toeneemt, als de uitgangssituatie beter is. De kosten voor normverhoging zijn dus hoger voor de situatie na uitvoering van de huidige dijkverbetering, dan wanneer de situatie nu precies op orde is. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in timing van de vereiste dijkverbetering. Als er nu overhoogte is, hoeft er pas in de verre toekomst verbeterd te worden om aan de huidige norm te blijven voldoen. Om aan de strengere norm te gaan voldoen, moet er echter gelijk al verbeterd worden. Als de situatie precies op orde is, moet er ook al direct verbeterd worden om aan de huidige norm te voldoen en is het verschil in huidige waarde van de kosten dus beperkt.

Om de werkelijke kosten voor een hogere norm te schatten wordt de hoogste van de schattingen op basis van de situatie op orde, de huidige situatie en de situatie na dijkverbetering genomen. De huidige waarde van de meerkosten om de Lekdijk langs dijkkring 15 tussen Nieuwegein en Bergambacht te laten voldoen aan de norm van 1/10.000 per jaar die geldt voor dijkkring 14 worden aldus geraamd op 120 M€. De huidige waarde van de meerkosten om ook de zuidelijke Lekdijk aan de hogere norm te laten voldoen worden geraamd op 130 M€

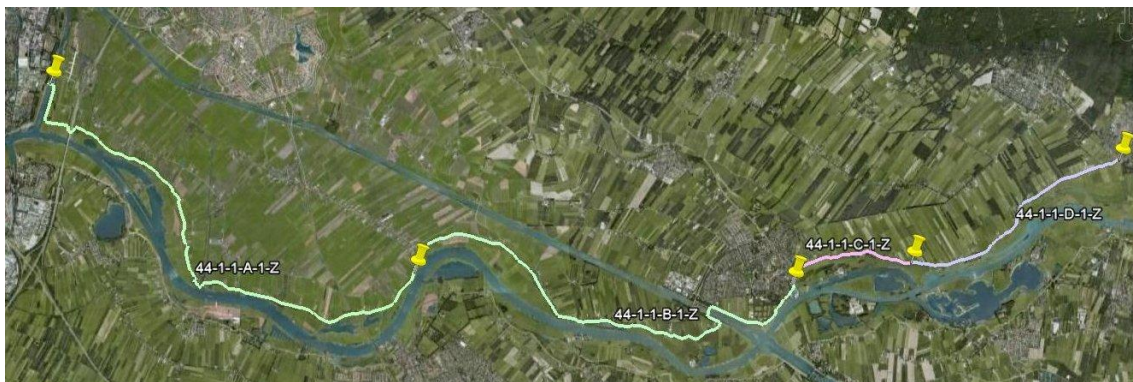
De verantwoordelijke beheerder van een deel van de waterkering (het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard) verwacht dat de uiteindelijke kosten voor het aan de hogere norm laten voldoen van de Lekdijk langs dijkkring 15 aanzienlijk hoger uit zullen vallen dan hierboven bepaald volgens de WV21 systematiek. Het gaat daarbij met name om de kosten voor een hogere norm van het historische rivierfront van Schoonhoven.

Een andere overweging is dat bij de volgende toetsronde de toetspeilen langs de Lek naar verwachting verlaagd zullen worden met één tot enkele decimeters als gevolg van het baggeren van het rivierbed (brief d.d. 22 april 2010 van R. Hillen van Rijkswaterstaat Waterdienst aan H.L. Broens van Rijkswaterstaat Projectdirectie Ruimte voor de Rivier). Dit zou de kosten voor het aan een hogere norm laten voldoen van de Lekdijk juist beperken.



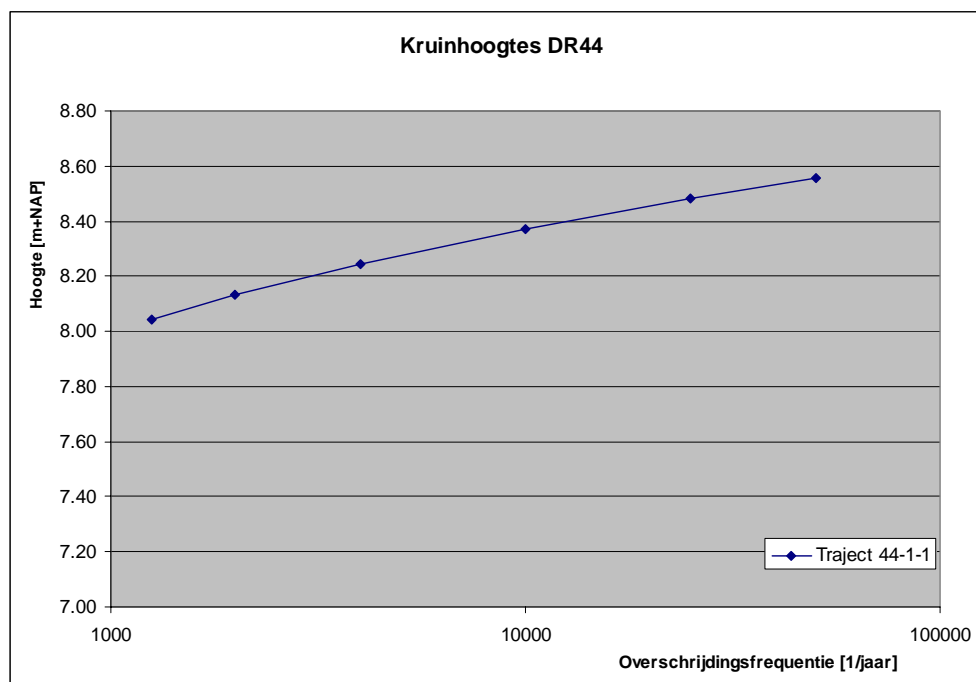
#### 4.4.2 Kosten hogere norm Lekdijk dijkkring 44

De binnen WV21 gehanteerde vakindeling in dijkkring 44 is weergegeven in Figuur 4.10.



Figuur 4.10 Vakindeling dijkkring 44.

De kostenramingen zijn ontleend aan de ramingen die gedaan zijn ten behoeve van de kosten-baten analyse uitgevoerd binnen het project WV21 (De Grave en Baarse, 2010). Analoog aan de raming voor dijkkring 15, zoals beschreven in de voorgaande paragraaf wordt uitgegaan van een systeem op orde volgens de huidige vigerende norm van 1/1250. De kosten om op orde te komen worden hierbij niet beschouwd. Wanneer de norm wordt verhoogd naar 1/10000 op dijkkringniveau moet de kering na toepassing van een dijkkringfactor van 5 een HBN met een kans van voorkomen van 1/50000 kunnen weerstaan (waarbij een waterstand hoort met een overschrijdingskans van 1/10000).



Figuur 4.11 Benodigde kruinhoogtes dijkkring 44 als functie van de overschrijdingsfrequentie

In onderstaande tabel zijn de resultaten van de ramingen weergegeven vanuit de uitgangssituatie dat de dijk op orde is.

Tabel 4.8 Kostenbepaling A-keringen dijkkring 44 vanuit situatie systeem op orde

Vaknaam	Vak- lengte (km)	Huidige norm (1/1250)		Normverzwaring (1/10000)		Dijkver- hoging (m)	Kosten (M€)
		Vaknorm	Kruin (m+NAP)	Vaknorm	Kruin (m+NAP)		
44-1-1-D-1-Z	5,56	6.250	8,31	50.000	8,55	0,24	10,1
44-1-1-C-1-Z	2,93	6.250	8,31	50.000	8,55	0,24	4,0
44-1-1-B-1-Z	11,53	6.250	8,31	50.000	8,55	0,24	28,7
44-1-1-A-1-Z	12,45	6.250	8,31	50.000	8,55	0,24	27,5
<b>Totaalkosten (M€excl. btw)</b>							<b>70,3</b>

Indien in de ramingen wordt uitgegaan van de kruinhoogte van de representatieve doorsnede, zoals opgegeven door de beheerder ten behoeve van WV21 (gecorrigeerd voor en beperkte restzetting van 20cm), ontstaat een geheel ander beeld. De opgegeven kruinhoogte van de representatieve doorsnede is 10,6 m+NAP. Wanneer verondersteld wordt dat dimensies van de dijk voor de overige mechanismen in balans zijn met de hoogte, hoeven op dit traject geen kosten gemaakt te worden om aan de nieuwe norm van 1/10000 te voldoen. In werkelijkheid verloopt de kruinhoogte van 11 naar 7.5 m+NAP. Omdat ook de benodigde kruinhoogte verloopt, is de verhouding tussen de aanwezige en benodigde kruinhoogte wel overal vergelijkbaar.

#### 4.4.3 Conclusies hogere norm Lekdijk

Er bestaat nog behoorlijke onzekerheid over de kosten om de Lekdijk langs dijkkring 15 aan de strengere norm te laten voldoen. Echter, zelfs onder de meest ongunstige aannames en in combinatie met het verhogen van de norm voor de zuidelijke Lekdijk, komt de kostenraming hiervoor lager uit dan de 600 M€ die geraamd is voor verbetering van de C-kering langs de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel.

In Tabel 4.9 worden de resultaten voor de huidige situatie vergeleken met de situatie met een hogere norm voor de Lekdijk langs dijkkring 15. De baten (als netto contante waarde van het vermeden risico) variëren afhankelijk van de breslocatie tussen ongeveer 500 M€ en 2000 M€. Hiermee lijken de baten de kosten voor een strengere norm te rechtvaardigen. Daarnaast leidt een strengere norm tot een aanzienlijke afname van het maximale LIR.

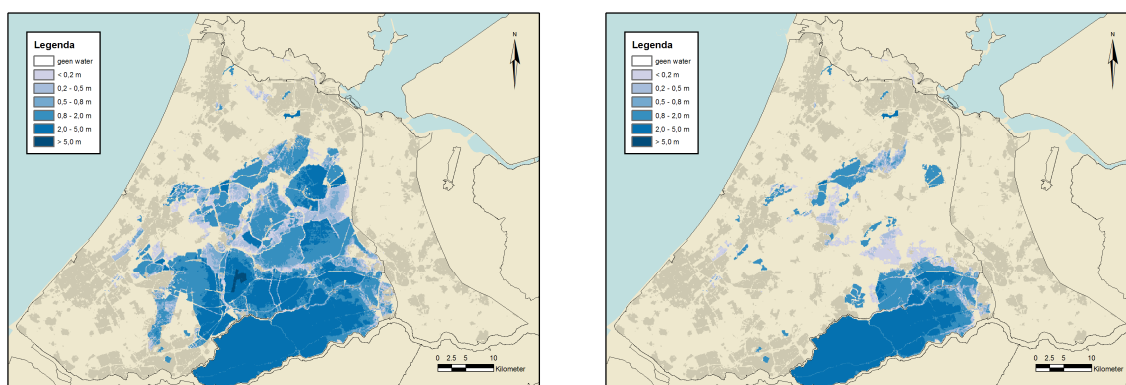
Tabel 4.9 Vergelijking van de resultaten voor varianten voor de huidige situatie en met een hogere norm voor de Lekdijk

Doorbaak	Contante Waarde Risico (M€)		Baten M€	Kosten M€	Maximaal LIR (1E-7/jaar)	
	Huidig	hogere norm Lekdijk			Huidig	Lekdijk 1/10000
Bres Lopik (dijkkring 15)	2400	480	1920	120	4.2	0.8
Bres Ammerstol (dijkkring 15)	900	180	720	120	4.5	0.9
Bres Bergambacht (dijkkring 15)	600	120	480	120	3.5	0.7

Voor dijkkring 44 geldt dat er nauwelijks kosten gemaakt zullen hoeven te worden om de dijk langs Nederrijn en Lek aan de norm van 1/10.000 per jaar van dijkkring 14 te laten voldoen. Het is duidelijk dat de baten hiervan de kosten rechtvaardigen en dat de kosten lager zijn dan het aan de norm laten voldoen van de C-kering langs het Amsterdam-Rijnkanaal.

#### 4.5 Uitlaatwerk

Aanleg van een uitlaatwerk in het westen van dijkkring 15 kan de gevolgen van een doorbraak in dijkkring 15 beperken. Uit de resultaten van het overstromingsmodel (Figuur 4.12) blijkt dat een uitlaatwerk van 600 meter breedte echter niet voldoende invloed heeft om bij een doorbraak bij Lopik of Ammerstol te voorkomen dat dijkkring 14 ook gedeeltelijk onderloopt. Het uitlaatwerk is dus niet voldoende als alternatief voor het op orde brengen van de C-keringen om dijkkring 14 aan de norm te laten.



Figuur 4.12 Overstromingspatroon bij aanwezigheid van een uitlaatwerk en doorbraaklocatie Lopik (variant 15, links) en Ammerstol (variant 16, rechts)

Een uitlaatwerk kan wel de lengte enigszins beperken van het traject van de Lekdijk dat aan de strengere norm van dijkkring 14 zou moeten voldoen. Daarnaast beperkt een uitlaatwerk de gevolgen van een overstroming (Tabel 4.10). Er is geen kostenraming gemaakt voor het uitlaatwerk, maar een eerste inschatting van de kosten voor aanleg komt uit op 10 M€.

Tabel 4.10 Vergelijking van de resultaten voor varianten voor de huidige situatie en een uitlaatwerk in het westen van dijkkring 15

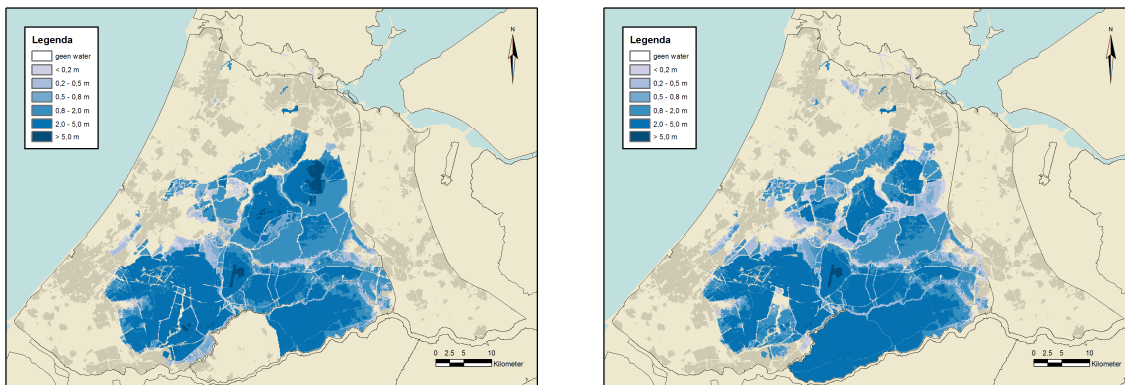
Doorbaak	Contante Waarde Risico (M€)		Baten	Kosten	Maximaal LIR (1E-7/jaar)	
	Huidig	met uitlaatwerk	M€	M€	Huidig	met uitlaatwerk
Bres Lopik	2400	1600	800	10	4.2	4.2
Bres Ammerstol	900	600	300	10	4.5	3.8
Bres Lopik en C-kering op orde	1100	900	200	610	4.7	4.2

Tot slot is nog de combinatie onderzocht van het op orde brengen van de huidige C-keringen en het aanleggen van een uitlaatwerk. De waterstand in dijkkring 15 neemt door het uitlaatwerk af met ongeveer 80cm. Dit leidt tot een behoorlijke afname van de contante waarde van het risico en het maximale LIR. Het betekent ook dat de verhoging van de C-kering tussen dijkkring 15 en 14 minder kostbaar zou worden dan de in paragraaf 4.3.1 geraamde 600 M€. Er is geen nieuwe kostenraming gemaakt voor deze situatie, maar naar verwachting zullen de kosten niet veel afnemen, omdat deze C-kering voor een groot gedeelte 2 tot 3 meter lager is dan het toetspeil.

#### 4.6 Compartimentering

Er zijn twee varianten doorgerekend om het effect te laten zien van meer en minder compartimentering in het gebied. In variant 18 is compartimentering toegevoegd als een noord zuid lopende dijk ten westen van de Vlist in de Krimpenerwaard. De kosten hiervoor zijn geschat op 60 M€.

Om het effect van grootschalig verminderen van compartimentering te laten zien is voor variant 19 de hoogte van de C-kering verlaagd tot ongeveer een halve meter boven het boezempeil. De kosten voor deze ingreep zijn niet geraamd, maar zullen hoog zijn, omdat het gaat om aanpassing van de dijk over een grote lengte en gedeeltelijk in stedelijk gebied. De gevolgen voor de omvang van de overstroming zijn weergegeven in Figuur 4.13. Tabel 4.1 laat zien dat zowel het op deze manier aanbrengen van extra compartimentering als het grootschalig verminderen van compartimentering leidt tot een verhoging van de schade en daarmee ook van het risico.



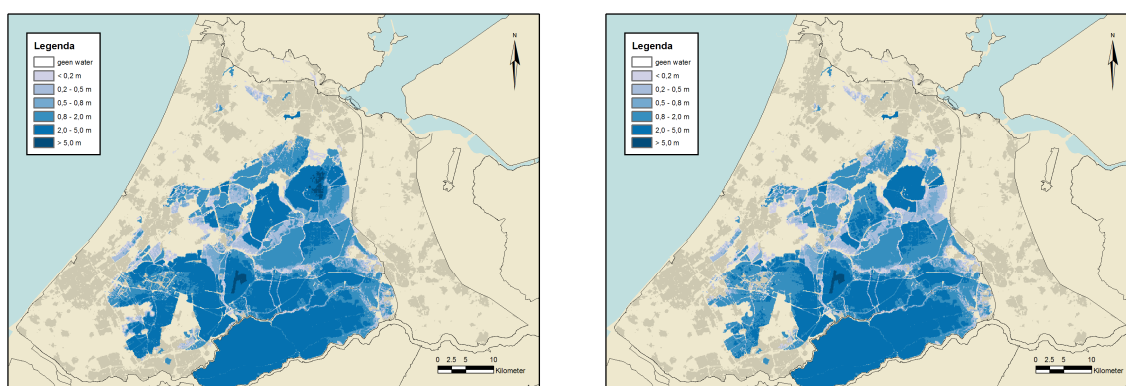
Figuur 4.13 Overstromingspatroon voor een doorbraak bij Lopik met aanvullende compartimentering (variant 18, links) en met verminderde compartimentering (variant 19, rechts)

## 4.7 Gevoeligheidsanalyse

### 4.7.1 Golfvorm

De vorm van de afvoergolf in de berekeningen is overgenomen van de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden voor de C-keringen (Oost en Slootjes, 2008; Slootjes en Hoffman, 2008). De gevoeligheid van de uitkomsten voor de golfvorm is onderzocht door een aantal varianten door te rekenen met de smallere zogenaamde Thermometergolf (zie Figuur 3.2). Onderzoek naar de maatgevende golfvorm wordt uitgevoerd in het kader van het project GRADE. Op het moment is het niet mogelijk een uitspraak te doen welk golfvorm meer waarschijnlijk is.

Figuur 4.14 en Tabel 4.11 laten de invloed op de berekende effecten van de overstroming zien. Zoals te verwachten nemen de meeste gevolgen af. Afhankelijk van de parameter en de doorbraaklocatie varieert de vermindering tussen de 4% en 24%. Opvallend is de toename van het maximale LIR voor doorbraaklocatie Schalkwijk. Dit is waarschijnlijk het gevolg van een hogere stijgsnelheid in de buurt van de doorbraaklocatie. Hoewel de omvang van de overstromingen afnemen leiden doorbraken in dijkkring 15 en 44 ook bij een smallere afvoergolf nog steeds tot overstroming van dijkkring 14.



Figuur 4.14 Overstromingspatroon voor doorbraaklocatie Lopik met afvoergolf van de randvoorwaarden (variant 1, links) en met de zogenaamde Thermometergolf (variant 20, rechts)

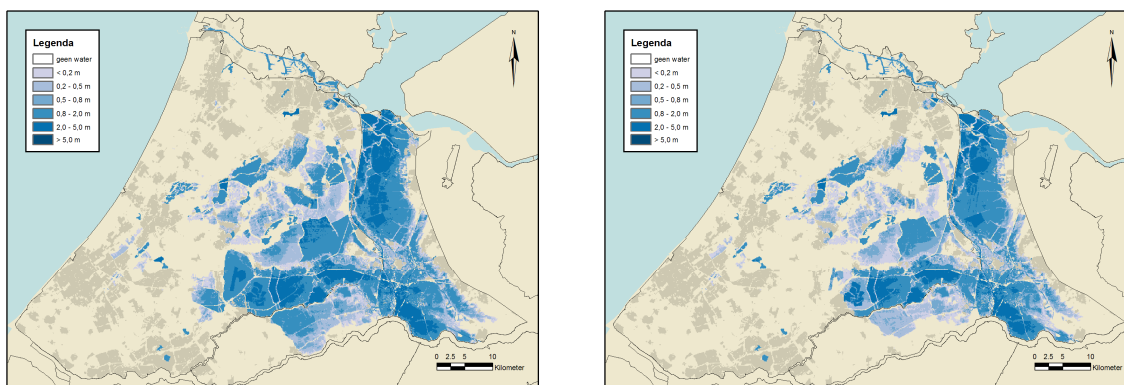
Tabel 4.11 Effect van een smallere afvoergolf op de berekende gevolgen

Variante	Areaal overstroomd	Slachtoffers	Schade	Maximaal Lokaal Individueel Risico	Contante Waarde Risico
	(1000 ha)	aantal	1000 M€	(1E-7/jaar)	M€
Doorbaak					
Bres Lopik (dijkring 15)	114	3,700	66	4.2	2,400
Bres Lopik, Thermometer golf (verder als 1)	110	3,100	55	4.2	2,000
Afname (%)	4%	16%	17%	0%	17%
Bres Ammerstol (dijkring 15)	67	1,400	25	4.5	900
Bres Ammerstol, Thermometergolf (verder als 4)	56	1,100	19	3.5	700
Afname (%)	16%	21%	24%	22%	22%
Bres Schalkwijk (dijkring 44)	102	1,600	41	6.5	2,300
Bres Schalkwijk, Thermometergolf (verder als 3)	98	1,500	38	8.3	2,200
Afname (%)	4%	6%	7%	-28%	4%

#### 4.7.2 Bresgroei

Conform de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden voor de C-keringen (Oost en Slootjes, 2008; Slootjes en Hoffman, 2008) is gerekend met bresgroei parameters voor een dijk opgebouwd uit zand (kritische stroomsnelheid=0.2 m/s, factor1=1.3). De gevoeligheid van de uitkomsten voor de bresgroei is onderzocht door een aantal varianten door te rekenen met bresgroei parameters voor een kleidijk (kritische stroomsnelheid=0.6 m/s, factor1=1.2), die leiden tot een kleinere bres en daarmee minder instroomvolume. In het gebied komen zowel zand- als kleidijken voor en welke parameters gebruikt zouden moeten worden, is dus afhankelijk van de breslocatie. De aanname om voor alle berekeningen uit te gaan van zanddijken is dus een worst case benadering.

Figuur 4.15 en Tabel 4.12 laten de invloed op de berekende effecten van de overstroming zien. Zoals te verwachten nemen de meeste gevolgen af, globaal met ongeveer 20%. Hoewel de omvang van de overstromingen afnemen leiden doorbraken in dijkring 15 en 44 ook bij een smallere afvoergolf nog steeds tot overstroming van dijkring 14.



Figuur 4.15 Overstromingspatroon voor doorbraaklocatie Schalkwijk met bresgroei voor een zanddijk (variant 3, links) en met bresgroei voor een kleidijk (variant 23, rechts)

Tabel 4.12 Effect van een bresgroei als in een kleidijk op de berekende gevolgen

Variant	Areaal overstromd (1000 ha)	Slachtoffers (aantal)	Schade (1000 M€)	Maximaal Lokaal Individueel (1E-7/jaar)	Contante Waarde Risico (M€)
Doorbaak					
Bres Lopik (dijkring 15)	114	3,700	66	4.2	2,400
Bres Lopik, bresgroei als klei (verder als 1)	108	2,900	52	4.2	1,900
Afname (%)	5%	22%	21%	0%	21%
Bres Schalkwijk (dijkring 44)	102	1,600	41	6.5	2,300
Bres Schalkwijk, bresgroei als klei (verder als 3)	82	1,100	30	3.9	1,700
Afname (%)	20%	31%	27%	40%	26%

#### 4.7.3 Bresbreedte

Conform de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden voor de C-keringen (Oost en Slootjes, 2008; Slootjes en Hoffman, 2008) is gerekend met een initiële bresbreedte van 10 meter. De gevoeligheid van de uitkomsten voor de initiële bresbreedte is onderzocht door een aantal varianten door te rekenen met een initiële bresbreedte van 40 meter. Een waarde die ook ligt binnen de range van mogelijke waarden voor deze parameter.

Tabel 4.13 laat de invloed op de berekende effecten van de overstroming zien. Het effect blijkt niet significant te zijn en voor doorbraaklocatie Lopik zelfs te leiden tot een geringe afname van de omvang van de overstroming en de gevolgen. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door omkering van de stromingsrichting in de bres tegen het eind van de berekening.

Tabel 4.13 Effect van een verbreedde initiële bres op de berekende gevolgen

Variant	Areaal overstromd (1000 ha)	Slachtoffers (aantal)	Schade (1000 M€)	Maximaal Lokaal Individueel (1E-7/jaar)	Contante Waarde Risico (M€)
Doorbaak					
Bres Lopik met uitlaatwerk	102	2,400	43	4.2	1,600
Bres Lopik, met uitlaatwerk en verbreedde bres (verder als 15)	101	2,300	40	4.2	1,500
Afname (%)	1%	4%	7%	0%	6%
Bres Ammerstol met uitlaatwerk	47	1,000	16	3.8	600
Bres Ammerstol, met uitlaatwerk en verbreedde bres (verder als 16)	51	1,000	17	3.9	600
Afname (%)	-9%	0%	-6%	-3%	0%

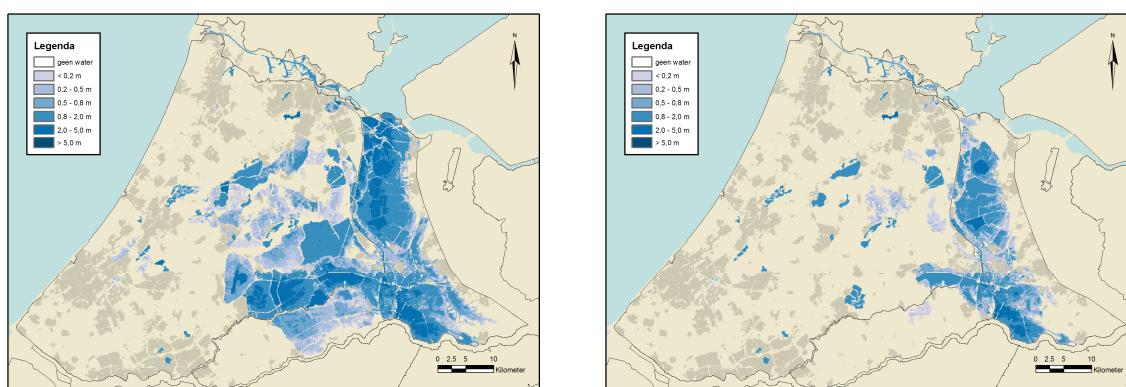
#### 4.7.4 Bresdiepte

Conform de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden voor de C-keringen (Oost en Slootjes, 2008; Slootjes en Hoffman, 2008) is de bresdiepte bepaald als de laagste waarde aan de binnendijkse zijde van de dijk in het beschouwde dijkringgedeelte waarvoor de breslocatie representatief verondersteld is.



De gevoeligheid van de uitkomsten voor de bresdiepte is onderzocht door een aantal varianten door te rekenen met als bresdiepte de hoogste binnendijkse waarde en de hoogte van het buitendijkse voorland. De aanname de laagste binnendijkse hoogte te nemen als bresdiepte is duidelijk een worst case benadering. De bresdiepte beperken tot de hoogste waarde binnendijs of de hoogte van het buitendijkse voorland neigen beide echter naar best case benaderingen. Het lijkt met name twijfelachtig of het voor kan komen dat de bres niet dieper uit zal slijten dan het buitendijkse voorland. Daarnaast is er zeker langs de Lek benedenstrooms van Vianen lang niet overal buitendijks voorland aanwezig.

Figuur 4.16 en Tabel 4.14 laten de invloed op de berekende effecten van de overstroming zien. Zoals te verwachten nemen de gevolgen aanzienlijk af met name als de bresdiepte beperkt wordt tot de hoogte van het buitendijkse voorland. Hoewel de omvang van de overstromingen afnemen leiden doorbraken in dijkkring 15 en 44 ook bij een veel geringere bresdiepte nog steeds tot overstroming van dijkkring 14.



Figuur 4.16 Overstromingspatroon voor doorbraaklocatie Schalkwijk met bresdiepte als hoogste waarde binnendijs (variant 27, links) en met bresdiepte gelijk aan het buitendijkse voorland (variant 28, rechts)

Tabel 4.14 Effect van verschillende opties voor de maximale bresdiepte op de berekende gevolgen

Variant	Areaal overstromend (1000 ha)	Slachtoffers aantal	Schade 1000 M€	Maximaal Lokaal Individueel (1E-7/jaar)	Contante Waarde Risico M€
Doorbaak					
Bres Lopik (dijkkring 15)	114	3,700	66	4.2	2,400
Bres Lopik, met diepte als voorland (verder als 1)	29	700	10	3.3	400
Afname (%)	75%	81%	85%	21%	83%
Bres Schalkwijk (dijkkring 44)	102	1,600	41	6.5	2,300
Bres Schalkwijk, met diepte als hoogste cel binnendijs (verder als 3)	91	1,300	35	5.6	2,000
Afname (%)	11%	19%	15%	14%	13%
Bres Schalkwijk (dijkkring 44)	102	1,600	41	6.5	2,300
Bres Schalkwijk, met diepte als voorland (verder als 3)	33	400	14	3.6	800
Afname (%)	68%	75%	66%	45%	65%

#### 4.7.5 Doorbraakmoment

Conform de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden voor de C-keringen (Oost en Slootjes, 2008; Slootjes en Hoffman, 2008) is het doorbraakmoment bepaald als het moment waarop de berekende waterstand op de rivier de maatgevende waterstand overschrijdt zoals die met hetzelfde model berekend is. In paragraaf 3.1.1 is beschreven dat voor het benedenstroomse gedeelte van de Lek dit moment afhankelijk is van de toevallige samenloop van timing van de afvoergolf en het getij. De gevoeligheid van de uitkomsten voor deze toevalligheid is onderzocht door voor de doorbraaklocatie Lopik de timing van het getij zo te verschuiven dat de doorbraak enige uren later plaatsvindt, waardoor er uiteindelijk minder water door de bres zal stromen.

Ook hier geldt dat beide opties voor deze aannahme even waarschijnlijk zijn en dat bij de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden gekozen is voor de optie met de meest ernstige gevolgen, worst case dus.

Tabel 4.15 laat de invloed op de berekende effecten van de overstroming zien. Zoals te verwachten nemen de gevolgen af, maar de omvang van de afname is beperkt.

Tabel 4.15 Effect van het doorbraakmoment op de berekende gevolgen

Variant	Areaal overstromd	Slachtoffers	Schade	Maximaal Lokaal Individueel Risico	Contante Waarde Risico
	(1000 ha)	aantal	1000 M€	(1E-7/jaar)	M€
Doorbaak					
Bres Lopik (dijkkring 15)	114	3,700	66	4.2	2,400
Bres Lopik, doorbraakmoment gunstig met getij (verder als 1)	113	3,400	61	4.2	2,200
Afname (%)	1%	8%	8%	0%	8%

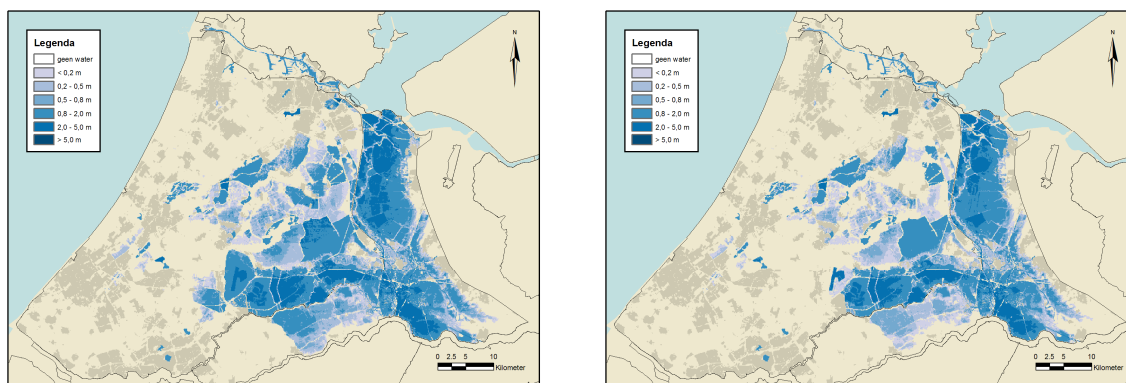
#### 4.7.6 Correctie maatgevende waterstand

De waterstanden op de rivier zoals berekend door het gebruikte SOBEK1D2D model bij maatgevende omstandigheden wijken af van de maatgevende waterstanden. Dit is ook al geconstateerd bij de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden voor de C-keringen.. Het verschil varieert van een onderschatting van 0,5m tot een overschatting van 0,3m (Tabel 3.3 in Oost en Slootjes, 2008, en Slootjes en Hoffman, 2008). Conform de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden is het doorbraakmoment bepaald als het moment waarop de berekende waterstand op de rivier de maatgevende waterstand overschrijdt zoals die met hetzelfde model berekend is. Hiermee vindt de doorbraak dus plaats bij een hogere of lagere waterstand dan de maatgevende waterstand. Afhankelijk van de locatie kan dit leiden tot een overschatting of een onderschatting van de overstroming.

Om de gevoeligheid voor dit verschil in waterstand te onderzoeken zijn berekeningen uitgevoerd waarbij in het model de ruwheid in de rivier zo aangepast is dat voor de betreffende breslocatie de berekende waterstand onder maatgevende omstandigheden overeenkomt met de maatgevende waterstand.

Voor breslocaties Schalkwijk berekent het model onder maatgevende omstandigheden nu een 25cm te hoge waterstand en voor Amerongen een 42cm te lage waterstand. Voor beide breslocaties apart is de ruwheid zo afgesteld dat de berekende waterstand overeenkomt met de maatgevende waterstand. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 4.17 en Tabel 4.16. Het blijkt dat dit voor breslocatie Schalkwijk leidt tot een aanzienlijke afname van de gevolgen van orde grootte 20%. Hoewel de omvang van de overstroming afneemt leidt deze nog steeds tot overstroming van dijkkring 14. Voor Amerongen leidt het juist tot een toename van de gevolgen met ongeveer 20%. Dergelijke berekeningen zijn niet gemaakt voor breslocatie Lopik, omdat de afwijking van de maatgevende waterstand hier al zeer beperkt was.





Figuur 4.17 Overstromingspatroon voor doorbraaklocatie Schalkwijk zonder correctie van het modelresultaat tot de maatgevende waterstand (variant 3, links) en met correctie (variant 31, rechts)

Tabel 4.16 Effect van correctie van de waterstand tot het toetspeil op de berekende gevolgen

Variante	Areaal overstromd (1000 ha)	Slachtoffers aantal	Schade 1000 M€	Maximaal Lokaal Individueel (1E-7/jaar)	Contante Waarde Risico M€
Doorbaak					
Bres Schalkwijk (dijkkring 44)	102	1.600	41	6.5	2.300
Bres Schalkwijk, correctie maatgevende waterstand in model (verder als 3)	85	1.200	32	4.5	1.800
Afname (%)	17%	25%	22%	31%	22%
Bres Amerongen (dijkkring 44)	23	200	6	3.7	400
Bres Amerongen, correctie maatgevende waterstand in model (verder als 2)	28	300	8	3.7	500
Afname (%)	-22%	-50%	-33%	0%	-25%

#### 4.7.7 Combinatie

In de voorgaande paragrafen zijn de resultaten beschreven van de gevoeligheidsanalyse waarbij telkens één parameter gevarieerd is. Hieruit is gebleken dat dit tot aanzienlijke verschillen in resultaten kan leiden en dat over het algemeen de gevolgen dan minder ernstig worden. In alle doorgerekende varianten blijft echter de conclusies overeind dat doorbereken van de Lekdijk op het traject Amerongen – Bergambacht leidt tot overstroming van dijkkring 14.

Tot besluit van de gevoeligheidsanalyse is onderzocht wat het effect is van het combineren van een aantal best-case aannames voor breslocaties Amerongen en Schalkwijk:

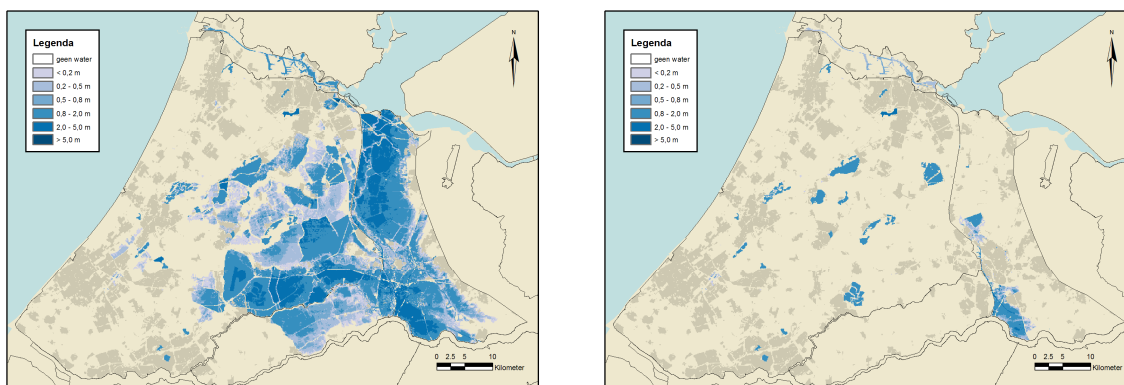
Bresgroei als voor een kleidijk (paragraaf 4.7.2).

Bresdiepte als hoog van het buitendijkse voorland (paragraaf 4.7.4).

Correctie voor de maatgevende waterstand (paragraaf 4.7.6).

Het is belangrijk om te benadrukken dat dit een weinig reële best case situatie beschrijft. Omdat bij de basissimulaties uit is gegaan van een worst case benadering (zanddijk, bresdiepte tot laagste punt in achterliggende maaiveld, etc.), geeft deze aanvullende best-case simulatie wel een goed beeld van de maximale range in uitkomsten.

De resultaten voor deze combinaties zijn weergegeven in Figuur 4.18 en Tabel 4.17. Zoals te verwachten leiden beide combinaties tot een zeer sterke afname van de gevolgen. De meest bepalende factor hiervoor is de verminderde bresdiepte. In deze varianten zou de huidige hoogte van de C-keringen voldoen om dijkkring 14 te beschermen tegen overstroming uit dijkkring 44.



Figuur 4.18 Overstromingspatroon voor doorbraaklocatie Schalkwijk voor de huidige situatie (variant 3, links) en met een combinatie van best case aannames (variant 33, rechts)

Tabel 4.17 Effect van combinaties van aannames op de berekende gevolgen

Variante	Areaal overstromd (1000 ha)	Slachtoffers aantal	Schade 1000 M€	Maximaal Lokaal Individueel (1E-7/jaar)	Contante Waarde Risico M€
Doorbaak					
Bres Schalkwijk (dijkkring 44)	102	1,600	41	6.5	2,300
Bres Schalkwijk, bresgroei klei, diepte voorland, correctie toetspeil (comb. 23, 28 & 31, verder als 3)	11	20	1	2.3	50
Afname (%)	89%	99%	98%	65%	98%
Bres Amerongen (dijkkring 44)	23	200	6	3.7	400
Bres Amerongen, bresgroei klei, diepte voorland, correctie toetspeil (verder als 2)	5	40	2	2.5	100
Afname (%)	78%	80%	67%	32%	75%

## 4.8 Relatie met Rijnmond-Drechtsteden

Het deelprogramma Rijnmond-Drechtsteden van het Deltaprogramma onderzoekt oplossingsrichtingen voor de regio met betrekking tot veiligheid tegen overstromingen en waterbeschikbaarheid. In 2014 moet één oplossing gekozen worden als onderdeel van de Deltabeslissing.

Van belang voor dit rapport is in hoeverre resultaten van het deelprogramma invloed hebben op de effectiviteit van de oplossingsrichtingen zoals beschreven in dit rapport. Op dit moment bevindt het deelprogramma zich nog in een oriënterende fase. De informatie over het deelprogramma is ontleend aan internet ([www.rijksoverheid.nl](http://www.rijksoverheid.nl), 2011).

Op dit moment zijn er 4 voorlopige oplossingen, waarvan de voor- en nadelen globaal in beeld worden gebracht. Aan de hand van de voor- en nadelen en andere informatie wordt een programma van eisen geformuleerd voor definitieve oplossingen.

De oplossingen hebben allemaal te maken met hoe we omgaan met de waterkeringen in de regio. Deze waterkeringen beschermen het gebied tegen het zoute water uit zee en het zoete water uit de grote rivieren.

**Oplossing 1 afsluitbaar en open aan zeezijde.** De situatie in de regio blijft zoals hij nu is: open aan de zeezijde, maar afsluitbaar als zich extreme omstandigheden voordoen. Wel worden er verbeteringen aangebracht.

**Oplossing 2 afsluitbaar en open aan zee- en rivierzijde.** De kern van deze oplossing is: open tijdens normale omstandigheden. Als de omstandigheden dat noodzakelijk maken, kunnen de keringen tijdelijk gesloten worden, aan zowel zee- als rivierzijde en wordt het rivierwater omgeleid.

### **Oplossing 3 gesloten**

Hier is de kering gesloten aan de zeezijde en open aan de rivierzijde. De varianten gesloten zeezijde/gesloten rivierzijde en gesloten zeezijde/afsluitbaar open rivierzijde worden hierin ook meegenomen.

### **Oplossing 4 open**

Deze oplossing houdt in dat wordt gekozen voor een volledig open riviermonding (estuarium). In de meest verregaande vorm betekent dit het opheffen van de Europoortkering (Hartelkering en Maeslantkering), de Haringvlietdam en de stormvloedkering bij Krimpen aan de IJssel.

Deze gebiedspilot is gebaseerd op de huidige situatie, die overeenkomt met oplossing 1. Als voor een dergelijke oplossing gekozen wordt, zal dat slechts beperkt invloed hebben op de resultaten van deze studie. Misschien zullen maatgevende waterstanden aanvankelijk iets lager worden als de faalkansen van de stormvloedkeringen verkleind worden, maar dit zal op termijn weer (gedeeltelijk) te niet gedaan worden door de stijgende zeespiegel.

In het geval een meer open richting gekozen wordt, als in oplossing 4, zullen de maatgevende waterstanden bij gelijkblijvende norm stijgen. De uitkomsten van deze studie blijven daarmee geldig, maar de kosten voor een extra dijkverbetering om aan een strengere norm te voldoen zullen anders uitvallen.

In het geval gekozen wordt voor een gesloten zeezijde, oplossing 3, zullen de maatgevende waterstanden in het benedenstroomse gedeelte van de Lek waarschijnlijk aanzienlijk dalen, waardoor de huidige waterkeringen langs de Lek waarschijnlijk al voldoende bescherming aan dijkkring 14 zullen bieden. Deze oplossingsrichting maakt aanvullende maatregelen dus waarschijnlijk overbodig.

Als ervoor gekozen wordt ook aan de rivierzijde het water om te leiden (oplossing 2 en een optie bij 3) zijn er twee mogelijkheden:

- Wijziging van de afvoerverdeling over de Rijntakken, waarbij de afvoergolf via IJssel en Waal geleid zal worden en de Nederrijn / Lek ontzien zal worden.
- Afleiding van de Lek van ongeveer Vianen via een by-pass door de Alblasserwaard naar de Merwede (of een vergelijkbaar tracé).

In beide gevallen zal de maatgevende waterstand voor de Lekdijk ten westen van Vianen aanzienlijk afnemen, wat aanvullende dijkverbetering om het veiligheidstekort voor Centraal Holland op te lossen waarschijnlijk overbodig maakt of op zijn minst aanzienlijk beperkt. Afhankelijk van de locatie en capaciteit van de by-pass kan, als hiervoor gekozen wordt, de maatgevende waterstand op een gedeelte van de Lek echter ook toenemen.

Bovenstaande inventarisatie van het effect van de verschillende mogelijke oplossingen in het kader van deelprogramma Rijnmond-Drechtsteden maakt duidelijk dat de daar te nemen beslissing van grote invloed kan zijn op de oplossing voor het veiligheidstekort van Centraal Holland en op de noodzaak van hier voorgestelde oplossingen als aanvullende dijkversterking.

#### 4.9 Relatie met Algera-stormvloedkering

Bij de derde toetsronde van de waterkeringen is geconstateerd dat de Algera-stormvloedkering (ook wel genoemd de Stormvloedkering Hollandsche IJssel, bij Capelle aan de IJssel) niet aan de veiligheidsnorm voldoet.

Doel van deze paragraaf is de gevolgen van dit veiligheidstekort te vergelijken met de gevolgen van het veiligheidstekort ontstaan door het afkeuren van de C-keringen, het onderwerp van deze studie. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de waterkeringen langs het getijdendeel van de Hollandsche IJssel op orde zijn.

De resultaten voor de varianten 1 t/m 6 in Tabel 4.1 beschrijven de gevolgen van het veiligheidstekort veroorzaakt door de afgekeurde C-keringen in termen van mogelijk overstroomd areaal, aantal slachtoffers, schade, maximaal LIR en contante waarde van het risico voor verschillende doorbraaklocaties in de A-kering langs de Nederrijn-Lek.

In het kader van andere studies zijn ook voor het getijden gedeelte van de Hollandsche IJssel recent overstromingsberekeningen uitgevoerd (onder andere Asselman, 2010a, 2010b, 2010c en 2011). Alleen in Asselman (2011) worden ook resultaten gepresenteerd voor schade en slachtoffers berekend met het HIS-SSM. Het betreft een doorbraak van de noordelijke dijk van de Hollandsche IJssel ter hoogte van het stedelijk gebied van Capelle aan de IJssel.

Belangrijk is dat deze simulatie de situatie beschrijft na sluiting van de stormvloedkering. De overstroming zal anders verlopen als de stormvloedkering faalt en daardoor niet of, meer waarschijnlijk, later gesloten wordt. Toch geven deze resultaten wel enig inzicht in de omvang van de gevolgen van een overstroming na een doorbraak in geval de sluiting van de stormvloedkering gefaald heeft. Het is echter te verwachten dat de omvang van de gevolgen hiermee onderschat wordt.

De resultaten van Asselman (2011) beschrijven een schade van maximaal 1855 M€ (prijsspeil 2000) en 139 slachtoffers. Als deze cijfers bewerkt worden om vergelijkbaar te zijn met de cijfers in Tabel 4.1 komt dat neer op 3900 M€ schade (prijsspeil 2011) en 146 slachtoffers (zie voor de toegepaste bewerking hoofdstuk 3.3) Schade en slachtoffers liggen hiermee globaal een factor 10 onder die van de doorbraken van de Lekdijk langs dijkkring 15 en 44 (Tabel 4.1, varianten 1 t/m 6).

Volgens een memo van Provincie Zuid-Holland (Piek, 2011) wordt nu door de beheerder gewerkt aan het beperken van de faalkans van de Algera-kering. Reductie van de faalkans tot 1/100 per sluitvraag lijkt goed mogelijk. Waarschijnlijk is een verdere beperking nog wel haalbaar, maar kan beperking tot minder dan 1/1.000 per sluitvraag niet gehaald worden.

Piek (2011) laat zien dat een faalkans van de Algera-kering van 1/100 per sluitvraag leidt tot een overschrijdingsfrequentie van het huidige toetspeil langs de Hollandsche IJssel afhankelijk van de locatie van maximaal 1/200 tot 1/500 per jaar. Voor deze kwalitatieve analyse kan deze overschrijdingsfrequentie gebruikt worden als benadering voor de kans dat de waterkering faalt als gevolg van het falen van de Algera-kering.

Op basis van bovenstaande analyse kan geconcludeerd worden dat de orde grootte van het overstromingsrisico als gevolg van de faalkans van de Algera-kering ongeveer overeenkomt met dat van het niet op orde zijn van de C-keringen, waarbij in het laatste geval de kans kleiner en het gevolg groter is. Verder zijn er locaties langs het getijden deel van de

Hollandsche IJssel waarvoor het overstromingsrisico als gevolg van de faalkans van de Algera-kering duidelijk groter is dan het overstromingsrisico van het niet op orde zijn van de C-keringen.



## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

In deze paragraaf worden de conclusies van deze studie gepresenteerd als antwoorden op de acht vragen geformuleerd in hoofdstuk 2.3.

- 1 Wat zijn de gevolgen van een doorbraak van de Lekdijk in de huidige situatie?

Een doorbraak van de Lekdijk op het traject Amerongen – Bergambacht zal leiden tot grootschalige overstroming van de achterliggende dijkkring en zich in de huidige situatie waarin de C-keringen niet aan de norm voldoen ook uitstrekken tot dijkkring 14, Centraal Holland.

- 2 Wat zijn de gevolgen van een doorbraak van de Lekdijk als de C-keringen aan de norm voldoen en wat is de ordegraote van de kosten om de C-keringen aan de norm te laten voldoen?

Als de C-keringen aan de norm voldoen neemt de omvang van de gevolgen over het algemeen af. Wel neemt het maximale LIR toe, doordat de stijgsnelheid van het water toe zal nemen. De ordegraote van de kosten voor dijkkring 44 (langs het Amsterdam-Rijnkanaal) is conform de WV21 methode geraamd op 150 M€ en voor dijkkring 15 (langs de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel) op 600 M€. De kosten voor het aan de norm laten voldoen van de C-kering langs het Amsterdam-Rijnkanaal zoals geraamd volgens de WV21 methode lijken de baten (als vermindering van de contante waarde van het risico) niet te rechtvaardigen. Dit geldt in nog sterkere mate voor de kosten gebaseerd op de raming van de beheerder. Het vermeden risico voor een doorbraak bij Lopik lijkt de kosten voor het aan de norm laten voldoen van de C-kering langs de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel wel te rechtvaardigen, hoewel er rekening meegehouden moet worden dat deze kostenraming nog zeer grof is en er ook een grote onzekerheid zit in de schatting van de baten.

- 3 Wat zijn de gevolgen van een doorbraak van de Lekdijk als deze (gedeeltelijk) zou voldoen aan de huidige norm van dijkkring 14 en wat is de ordegraote van de kosten om de Lekdijk (eventueel inclusief de zuidelijke Lekdijk) hieraan te laten voldoen?

De gevolgen van een overstroming zullen in dit geval hetzelfde blijven, maar het risico zal afnemen omdat de kans afneemt (met een factor 5 voor dijkkring 15 en een factor 8 voor dijkkring 44).

Er bestaat nog behoorlijke onzekerheid over de kosten om een gedeelte van de Lekdijk langs dijkkring 15 aan de strengere norm van 1/10.000 per jaar te laten voldoen. Om dijkkring 14 voldoende te beschermen, zou deze strengere norm moeten gelden voor het traject van Nieuwegein tot rond Bergambacht. De ordegraote van de kosten voor verbetering inclusief de zuidzijde van de Lek is geraamd op 200 M€.

Zelfs onder de meest ongunstige aannames en in combinatie met het verhogen van de norm voor de zuidelijke Lekdijk, komt de kostenraming hiervoor lager uit dan de 600 M€ die geraamd is voor verbetering van de C-kering langs de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel.

De baten (als netto contante waarde van het vermeden risico) variëren afhankelijk van de breslocatie tussen ongeveer 300 M€ en 2000 M€. Hiermee lijken de baten de kosten voor een strengere norm te rechtvaardigen. Daarnaast leidt een strengere norm tot een aanzienlijke afname van het maximale LIR.

Voor dijkkring 44 geldt dat er nauwelijks kosten gemaakt zullen hoeven te worden om de dijk langs Nederrijn en Lek aan de norm van 1/10.000 per jaar van dijkkring 14 te laten voldoen. Het is duidelijk dat de baten hiervan de kosten rechtvaardigen en dat de kosten lager zijn dan het aan de norm laten voldoen van de C-kering langs het Amsterdam-Rijnkanaal.

- 4 Wat zijn de gevolgen van een doorbraak van de Lekdijk in dijkkring 15 als er bij Krimpen aan de Lek een uitlaatwerk aangelegd?

Aanleg van een uitlaatwerk kan de gevolgen van een doorbraak in dijkkring 15 beperken. Uit de resultaten van het overstromingsmodel blijkt echter dat een uitlaatwerk van 600 meter breedte niet voldoende invloed heeft om bij een doorbraak bij Lopik of Ammerstol te voorkomen dat dijkkring 14 ook gedeeltelijk onderloopt. Het uitlaatwerk is dus niet voldoende als alternatief voor het op orde brengen van de C-keringen om dijkkring 14 aan de norm te laten.

Een uitlaatwerk kan wel de lengte enigszins beperken van het traject van de Lekdijk dat aan de strengere norm van dijkkring 14 zou moeten voldoen. Daarnaast beperkt een uitlaatwerk de gevolgen van een overstroming in algemene zin.

- 5 Wat zijn de gevolgen van een doorbraak van de Lekdijk bij meer of minder compartimentering van dijkkring 15?

Aanvullende compartimentering in dijkkring 15 (in dit geval ten westen van de Vlist) en verlagen van de C-keringen laten nauwelijks verbeteringen zien ten opzichte van de huidige situatie. Grootschalige aanpassing van de compartimentering lijkt daarmee geen zinvolle maatregel. Mogelijk kan lokaal aanpassen van de compartimentering in de buurt van bewoningskernen wel leiden tot het beperken van overstromingsrisico's.

- 6 Wat is de gevoeligheid van de berekende gevolgen voor verschillende aannamen?

Doel van de gevoeligheidsanalyse is om te testen hoe gevoelig de resultaten van de analyse zijn voor verschillende aannames en daarmee ook te onderzoeken hoe robuust de conclusies zijn met betrekking tot de oplossingsrichting voor het veiligheidstekort van dijkkring 14. Met andere woorden: leiden wijzigingen in de aannames tot andere conclusies dan hierboven geformuleerd?

#### *Golfvorm*

Gevoeligheid voor de vorm / duur van de gebruikte afvoergolf is getest door het gebruik van de zogenaamde Thermometergolf in plaats van de golfvorm die is gebruikt voor de bepaling van de Hydraulische Randvoorwaarden. De Thermometergolf is een smallere golf (kortere duur) en zoals te verwachten resulteert dit in minder schade en slachtoffers en een lager risico. De vermindering bedraagt 10 tot 20%.



De resultaten met deze golfvorm leiden niet tot andere conclusies: doorbraken bij Ammerstol, Lopik en Schalkwijk blijven leiden tot overstrooming van dijkkring 14 en de kosten-baten verhouding voor het verhogen van de norm langs de Nederrijn / Lek blijft ruimschoots positief.

#### *Bresgroei*

In de normale berekeningen is de kritische snelheid voor de bresgroei voor een zandlichaam gebruikt. De bresgroei in een kleidijk stopt eerder, omdat hier de kritische snelheid voor bresgroei hoger is. Hierdoor is de uiteindelijke bresbreedte kleiner en stroomt er minder water het gebied in. Zoals te verwachten resulteert dit in minder schade en slachtoffers en een lager risico. De vermindering bedraagt maximaal 25%.

De resultaten met bresgroei voor klei leiden niet tot andere conclusies: doorbraken bij Lopik en Schalkwijk blijven leiden tot overstrooming van dijkkring 14 en de kosten-baten verhouding voor het verhogen van de norm langs de Nederrijn / Lek blijft ruimschoots positief.

#### *Initiële bresbreedte*

De initiële bresbreedte is een andere parameter die de ontwikkeling van de bresbreedte bepaald. De resultaten tonen echter aan dat de invloed van een verhoging van de initiële bresbreedte met een factor 4 zeer beperkt is.

#### *Bresdiepte*

De bresdiepte is conform de bepaling van de Hydraulische Randvoorwaarden bepaald als de laagste binnendijkse maaiveldhoogte van het dijkkringvak waarvoor de breslocatie representatief is. Dit is een worst-case benadering. Het effect van twee alternatieven is onderzocht voor de breslocatie Schalkwijk. De bresdiepte is daarvoor bepaald als de hoogste binnendijkse maaiveldhoogte en als de hoogte van het buitendijkse voorland. Het verschil in resultaten tussen de bresdiepte als de laagste en de hoogste binnendijkse maaiveldhoogte is beperkt tot ongeveer 10%. Als de bresdiepte voor de doorbraken bij Lopik Schalkwijk gelijkgesteld worden aan de hoogte van het voorland, leidt dit echter tot vermindering van schade, slachtoffer en risico's van meer dan 50%. Overigens is met name in het westen van het gebied lang niet overal hoog buitendijks voorland aanwezig.

Zelfs met deze aanzienlijke afname van de omvang van de overstrooming leiden de doorbraken bij Lopik en Schalkwijk in de huidige situatie nog steeds tot overstrooming van dijkkring 14 en heeft dit dus geen effect op de conclusies. Wel worden in dit geval de ordegroottes van de kosten en de baten hetzelfde.

#### *Doorbraakmoment*

Het doorbraakmoment kan van belang zijn, omdat het mede bepaalt hoeveel water er door de bres stroomt. In de aanpak van de Hydraulische Randvoorwaarden is in het gebied dat door getij beïnvloed wordt het doorbraakmoment op vrij willekeurige wijze afhankelijk van het samenvallen van de piek in de afvoer en de getijdenbeweging op zee. De gevoeligheid hiervoor is onderzocht door de timing te veranderen. Dit heeft echter slechts zeer beperkt invloed op het resultaat.

#### *Correctie toetspeil*

Bij het bepalen van de Hydraulische Randvoorwaarden is ervan uitgegaan dat de A-kering langs de rivier bezwijkt als het toetspeil overschreden wordt. De

overstromingsberekeningen worden echter uitgevoerd met een ander model dan waarmee de toetspeilen voor de A-keringen langs de Nederrijn / Lek bepaald zijn. Hierdoor ontstaan afwijkingen in de berekende toetspeilen tot ongeveer 40 cm. Dit wordt verwerkt in het doorbraakmoment door de doorbraak plaats te laten vinden op het moment dat het toetspeil overschrijden wordt, zoals dat met het overstromingsmodel berekend wordt. Hiermee wordt echter niet gecorrigeerd voor het verschil in waterstand.

De gevoeligheid hiervoor is onderzocht door de ruwheid van de rivier in het overstromingsmodel zo aan te passen dat het berekende toetspeil bij de breslocatie overeenkomt met het officiële toetspeil.

Dit leidt voor de breslocatie Amerongen tot een toename van schade, slachtoffers en risico's en voor Schalkwijk tot een afname, in beide gevallen van maximaal tientallen procenten. Voor Lopik is deze gevoeligheid niet onderzocht, omdat het verschil tussen de modellen hier beperkt is.

Ook in dit geval heeft de gevoeligheid voor de aannames geen invloed op de conclusies: de doorbraak bij Schalkwijk blijft bij de huidige situatie van de C-keringen leiden tot overstroming van dijkkring 1414 en de kosten-baten verhouding voor het verhogen van de norm langs de Nederrijn / Lek blijft ruimschoots positief.

### *Combinaties*

Tot slot zijn voor de breslocaties Amerongen en Schalkwijk berekeningen uitgevoerd met een combinatie van verschillende aannames: bresgroei voor een kleidijk, bresdiepte als hoogte van het voorland en het toetspeil gecorrigeerd. Dit komt dichtbij een best-case situatie.

De resultaten laten nu zien dat de omvang van de overstroming zeer sterk afneemt, met 70 tot 90%. Als enige doorgerekende variant zou dit voor Schalkwijk leiden tot aanpassing van de conclusies: de overstroming bereikt nu niet meer dijkkring 14 en de kosten voor het verhogen van de norm wegen niet meer op tegen baten.

- 7 Wat is het effect op de oplossingsrichtingen van mogelijke maatregelen die overwogen worden in het kader van het Deelprogramma Rijnmond-Drechtsteden van het Deltaprogramma?

Momenteel worden in het kader van het Deelprogramma vier oplossingsrichtingen onderzocht. Als gekozen wordt voor het afsluiten van de zeezijde met dammen of als gekozen wordt het afsluiten van de rivierzijde, zal de belasting op de Lek naar verwachting dermate afnemen dat het te betwijfelen valt of aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn om dijkkring 14 tegen overstroming vanuit de Lek te beschermen. Als voor één van de andere oplossingsrichtingen gekozen wordt, blijven aanvullende maatregelen als dijkversterking noodzakelijk om het veiligheidstekort van Centraal Holland op te lossen. Als gekozen wordt voor afleiden van hoogwater via een by-pass door de Alblasserwaard, zal het effect afhangen van de locatie en capaciteit van de by-pass.

- 8 Wat is de verhouding tussen het overstromingsrisico als gevolg van het veiligheidstekort van de C-keringen en het overstromingsrisico als gevolg van het veiligheidstekort van de Algera-stormvloedkering?

De orde grootte van het overstromingsrisico als gevolg de faalkans van de Algera-kering komt ongeveer overeen met dat van het niet op orde zijn van de C-keringen, waarbij in het laatste geval de kans kleiner en het gevolg groter is. Verder zijn er locaties langs het getijden deel van de Hollandsche IJssel waarvoor het overstromingsrisico als gevolg van de faalkans van de Algera-kering duidelijk groter is dan het overstromingsrisico van het niet op orde zijn van de C-keringen.

De resultaten van deze studie leiden tot de conclusie dat verhoging van de norm voor een gedeelte van de waterkering langs de Nederrijn/Lek de meest efficiënte oplossing is voor het veiligheidstekort van dijkkring 14 dat veroorzaakt wordt door het afkeuren van de C-keringen langs de Gekanaliseerde Hollandse IJssel en het Amsterdam-Rijnkanaal.

Het verhogen van de norm zou in dit geval noodzakelijk zijn voor het traject van Amerongen tot ongeveer Bergambacht.

Aanleg van een uitlaatwerk in het westen van de Krimpenerwaard zal de lengte van dit traject slechts in geringe mate kunnen beperken. Wel helpt een uitlaatwerk om de gevolgen van een overstroming te beperken.

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse laten zien dat de uitkomsten van individuele berekeningen sterk afhankelijk zijn van de verschillende aannames met name met betrekking tot de bresdiepte, de bresgroei en de correctie van het toetspeil. Dit geldt in sterkere mate voor dijkkring 44 dan voor dijkkring 15. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door hoger buitendijks voorland in dijkkring 44 en de geringere omvang van dijkkring 15, waarbij het instromende volume mede beperkt wordt door de reeds bereikte waterstand binnendijks.

De conclusies van de studie blijken echter robuust onder de verschillende aannames. Van alle uitgevoerde berekeningen zou slechts één combinatie van aannames leiden tot aanpassing van de conclusies voor dijkkring 44. Dit betreft echter een vrij onwaarschijnlijke combinatie van best-case aannames. Voor dijkkring 15 blijven de conclusies gelden voor alle doorgerkende varianten.

## 5.2 Aanbevelingen

De bepaling van hydraulische randvoorwaarden voor C-keringen gebeurt op basis van resultaten van overstromingsmodellen. Het verdient aanbeveling de procedure hiervoor verder te standaardiseren. Dit geldt met name voor de keuze van het moment van de dijkdoorbraak en de bepaling van de diepte van de bres.

De keuze van de vorm van de afvoergolf is van groot belang voor de uiteindelijke berekening van waterstanden in het overstroomde gebied en voor de omvang van de overstroming. Onderzoek naar de vorm van de afvoergolf vindt plaats in het kader van het project GRADE, dat de hydrologie van het gehele Rijnstroomgebied in beschouwing neemt. Naar verwachting duurt het nog één tot twee jaar voor hier betrouwbare resultaten van te verwachten zijn. Tot die tijd verdient het aanbeveling dezelfde afvoergolf als bij de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden te gebruiken vanwege de vergelijkbaarheid tussen de resultaten. Bij de interpretatie van de resultaten dient er echter rekening mee gehouden te worden dat dit slechts één van de vele mogelijke vormen van de afvoergolf is. Voorzichtigheid lijkt dus geboden bij het doen van uitspraken over overstromingsdieptes. Bij het evalueren van maatregelen verdient het aanbeveling beide bestaande golfvormen te gebruiken om de gevoeligheid van de maatregelen voor de golfvorm te bepalen.

Als gekozen wordt voor het verder onderzoeken en uitwerken van het verhogen van de norm voor een gedeelte van de Lekdijk wordt aanbevolen om hierbij in het bijzonder aandacht te besteden aan de volgende punten:

- Na te gaan onder welke juridische voorwaarden het mogelijk is een (gedeelte van een) dijkkring een strengere norm op te leggen om een achterliggende dijkkring te beschermen.
- Nieuwe maatgevende waterstanden voor de Lek te bepalen voor zowel de huidige norm van dijkkring 15 (1/2.000 per jaar) als dijkkring 14 (1/10.000), waarbij rekening wordt gehouden met recente aanpassingen in het rivierbed.
- Af te wegen of een verhoging van de norm voor een gedeelte van de noordelijke Lekdijk (dijkkring 15) ook gevolgen dient te hebben voor de norm van de zuidelijke Lekdijk (dijkkring 16) en dit eventueel mee te nemen in voorontwerp en kostenraming.
- Opstellen van een voorontwerp voor dijkverbetering, waarbij alle beschikbare gegevens over de hoogte en opbouw van de dijken gebruikt wordt in plaats van de representatieve profielen die hier gebruikt zijn.
- Op basis van het voorontwerp opstellen van een kostenraming, omdat de hier gebruikte kostenramingen niet voldoende gedetailleerd zijn om budgetten uit af te leiden.
- In voorontwerp en kostenraming bijzondere aandacht te besteden aan het waterfront van Schoonhoven vanwege de aanwezige kunstwerken, de cultuurhistorische waarde en de moeilijke inpasbaarheid van een dijkverbetering.
- Na te gaan of de C-keringen een waterkerende functie (bijvoorbeeld als compartimenteringsdijk) zouden moeten behouden en de kosten daarvoor te ramen.

## Verwijzingen

Arcadis, 2009. Dijkkring 14: C-kering Gekanaliseerde Hollandse IJssel, Schetsontwerp vereiste waterkering. 10 februari 2009, C03011.000035. In opdracht van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden.

Arcadis, 2010. Derde Toetsing Dijkkring 14, Traject Gekanaliseerde Hollandse IJssel. Concept, 5 maart 2010, C03011.000035. In opdracht van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden.

Arcadis, 2010. Derde toetsronde dijkkringgebied 15, Traject Lekdijk, Amerongen-Lekkanaal. Concept v2, 19 februari 2010, C03011.000035. In opdracht van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden.

Arcadis, 2010. Derde toetsing dijkkring 44, Lekdijk Vreeswijk-Schoonhoven. Concept v2, 19 februari 2010, C03011.000035. In opdracht van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden.

Asselman, N.E.M., 2008. Compartimenteringstudie: casestudie Centraal Holland. Deltares T2513.34. In opdracht van Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat.

Asselman, N.E.M., 2010a. Overstromingssimulatie Nieuwerkerk. Deltares memo 1201361-002-GEO-0001, 12 januari 2010.

Asselman, N.E.M., 2010b. Noodsluiting Stormvloedkering Hollandsche IJssel. Deltares memo 1201361-002-GEO-0002, 26 januari 2010.

Asselman, N.E.M., 2010c. Overstromingen Nieuwerkerk Noord. Deltares memo 1201361-008-VEB-0001, september 2010

Asselman, N.E.M., 2011. Overstromingssimulatie Capelle a/d IJssel. Deltares memo 1204056-000-VEB-0003, 7 januari 2011.

Asselman, N.E.M., 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.

Asselman, N.E.M. en A. de Wit, 2009. Nadere verkenning waterveiligheid Centraal Holland Waterveiligheidsproblematiek dijkkring 14 in relatie tot dijkkring 15 en 44. Deltares 1200052-001. Opdrachtgever Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Provincie Zuid-Holland, Provincie Noord-Holland.

Bruijn, K. de, 2009. Slachtofferrisico's door overstromingen. Voorstel voor indicatoren voor gebruik in de discussie over nieuwe normen voor de waterkeringen. Deltares 1200165-002. Opdrachtgever TO Waterdienst.

Bruijn, K.M. de, en M.R. van der Doef, 2010. Bepaling gevolgen van overstromingen voor project WV21. Berekening basisinformatie voor de KBA en voor de bepaling van slachtofferrisico's. Deltares 1202129-005. Opdrachtgever Waterdienst.

Grave, P. de, en G. Baarse (BB&C), 2010. Basisinformatie WV21 – Kosten. Hoofdrapport Kostenspoor KBA WV21. Deltares 1202129-004. Opdrachtgever: Waterdienst.

Kind, J., 2010. Kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw. Concept, juni 2010. Deltares. Opdrachtgever: RWS/Waterdienst.

Kuiper, R. en A.A. Bouwman, 2009. Trendkaart Nederland 2040. Achtergrondrapport bij het project 'Nederland Later'. Planbureau voor de Leefomgeving. Achtergrondstudies.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009. Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen categorie c voor de derde toetsronde. 2006-2011 (HRC 2006)

Nelen & Schuurmans, 2010a. WV-21 gevolgenspoor. Rapport 3 - deeldijkkringen 14\_1 tot 20\_3. Opdrachtgever: Deltares.

Nelen & Schuurmans, 2010b. WV-21 gevolgenspoor. Rapport 6 - deeldijkkringen 41\_1 tot 47\_1. Opdrachtgever: Deltares.

Oost, J. en N. Slootjes, 2008. Hydraulische randvoorwaarden voor categorie c-keringen. Achtergrondrapport keringen langs het Amsterdam–Rijnkanaal en Noordzeekanaal (dijkring 13, 14 en 15). HKV lijn in water, PR1322. Opdrachtgever: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Piek, R., 2011. Waterstanden getijdendeel Hollandsche IJssel voor VNK2 (systeemwerking 14-15-44) en Waterveiligheid dijkkring14. Concept memo van 1 maart 2011 aan Projectgroep VNK2 en Gebiedspilot Waterveiligheid dijkkring 14.

Slootjes, N. en T. Hoffman, 2008. Hydraulische randvoorwaarden voor categorie c-keringen. Achtergrondrapport Gekanaliseerde Hollandsche IJssel (dijkring 14). HKV lijn in water, PR1322. Opdrachtgever: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Vat, M. van der, P. de Grave en R. van Buren, 2010. Nadere verkenning Waterveiligheid Centraal Holland. Fase 1 gebiedspilot dijkkring 14. Concept. 1202129-012. Opdrachtgever Rijkswaterstaat Waterdienst.

Velzen, E. van, 2010. Basisinformatie WV21 – Kansen. Concept, april 2010. Deltares 1202129-003. Opdrachtgever: Waterdienst.

Vermeulen, C.J.M. en J.K. Leenders, 2009. Gevolgbeperkende maatregelen dijkkringen 14, 15 en 44. Quick scan. HKV lijn in water, PR1774.

Witteveen+Bos, 2010. Toetsrapportage Westkanaaldijk Amsterdam-Rijnkanaal en Lekkanaal, Toetsing in het kader van de Wet op de Waterkering. Concept, RW1664-102, doc.nr. RW1664-102/zutd/095. Opdrachtgever: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

[www.rijksoverheid.nl](http://www.rijksoverheid.nl), 2011.

<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/deltaprogramma/deelprogramma-s/deelprogramma-rijnmond-drechtsteden>, benadert op 2 maart 2011