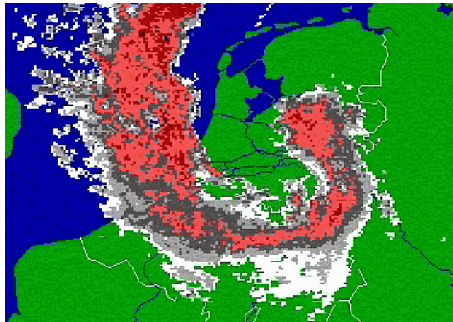


Opdrachtgevers:  
STOWA  
Stichting Leven met Water  
Provincie Zuid Holland  
Waterschap Zuiderzeeland  
Verbond van Verzekeraars

## Van neerslag tot schade

### Deelrapport 3: Samenhang normen overstromingen en wateroverlast Rivierenland



## Colofon

**Titel:** Van Neerslag tot schade. Deelrapport 3: Samenhang normen overstromingen en wateroverlast Rivierenland.  
**Auteurs:** Maarten Bakker  
**Datum:** maart 2009  
**Organisaties:** HKV [LIJN IN WATER](#)  
**Contactgegevens;**  
**Naam:** Matthijs Kok  
**Organisatie:** HKV [LIJN IN WATER](#)  
**Adres:** Postbus 2120  
 8203 AC Lelystad  
**Telefoon:** 0320-294242  
**E-mail:** m.kok@hkv.nl

Dit rapport maakt onderdeel uit van het onderzoek 'Van neerslag tot schade', uitgevoerd door HKV [LIJN IN WATER](#), KNMI en Universiteit Twente in opdracht van 'Leven met Water', STOWA, Provincie Zuid-Holland, Waterschap Zuiderzeeland en het Verbond van Verzekeraars, met begeleiding van Waterschap Rivierenland, Waterschap Zuiderzeeland, Hoogheemraadschap Delfland, Hoogheemraadschap Rijnland en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. In onderstaande tabel wordt weergegeven welke deelrapporten in het onderzoek zijn verschenen. Het voorliggend rapport betreft deelrapport 3 van het onderzoek. Dit deelrapport dient als naslagwerk voor de uitgevoerde berekeningen en analyses, op basis waarvan in het eindrapport 'Van neerslag tot schade' conclusies zijn getrokken over de samenhang van normen voor overstromingen en wateroverlast in Nederland.

<i>Nummer</i>	<i>Deelrapport</i>	<i>Organisatie en auteurs</i>
1	Regionale Verschillen in Extreme Neerslag Februari 2009	KNMI Buishand, T.A. Jilderda, R. Wijngaard, J.B
2	Samenhang normen overstromingen en wateroverlast Zuiderzeeland Februari 2009	HKV <a href="#">LIJN IN WATER</a> Susanne Groot
3	Samenhang normen overstromingen en wateroverlast Rivierenland Februari 2009	HKV <a href="#">LIJN IN WATER</a> Maarten Bakker
4	Samenhang normen overstromingen en wateroverlast Delfland Februari 2009	HKV <a href="#">LIJN IN WATER</a> Ton Botterhuis
5	Publieke percepties van het risico op overstromingen en wateroverlast September 2008	Universiteit Twente T. Terpstra
6	Twee jaar na Katrina ISBN 978-90-77051-90-0, Oktober 2007, Hoofdstuk 5 Verzekeringen	HKV <a href="#">LIJN IN WATER</a> M. Kok et al

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Overstromingskans en –risico primaire waterkeringen .....</b>	<b>1</b>
1.1	Achtergrond.....	1
1.2	Gebied.....	1
1.3	Inschatting overstromingskans .....	2
1.4	Inschatting risico.....	3
<b>2</b>	<b>Effecten van maatregelen primaire waterkeringen .....</b>	<b>7</b>
2.1	Inleiding .....	7
2.2	Kwelweg verlenging .....	7
2.3	Ophogen bebouwde gebieden .....	9
2.4	Compartimenteren .....	14
2.5	Kosten-batenanalyse.....	15
<b>3</b>	<b>Overstromingskans en –risico regionale keringen en regionaal watersysteem .....</b>	<b>18</b>
3.1	Inleiding .....	18
3.2	Systeembeschrijving .....	21
3.3	Risico behorende bij regionale keringen.....	23
3.4	Risico behorende bij het regionaal watersysteem .....	29
<b>4</b>	<b>Effecten van maatregelen regionale waterkeringen en regionaal watersysteem .....</b>	<b>37</b>
4.1	Inleiding .....	37
4.2	Ophogen boezemkades .....	37
4.3	Maatregel 50% uitbreiden open water in polders.....	40
4.4	Maatregel verlagen maalstoppeil en uitbreiden open water in polders.....	43
4.5	Maatregel verlagen maalstoppeil en overlast in polders.....	46
4.6	Maatregel inzetten inundatiepolder .....	49
4.7	Kosten-batenanalyse.....	52
<b>5</b>	<b>Beoordelingskader.....</b>	<b>54</b>
5.1	Inleiding .....	54
5.2	Beoordelingskader Veiligheid en Economie .....	55
5.3	Gevoeligheidsanalyse (vergelijking huidige situatie met de normering) .....	57
5.4	Conclusies .....	58
<b>6</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>60</b>
	<b>Bijlage A: Vergelijking AHN en FLIMAP.....</b>	<b>62</b>

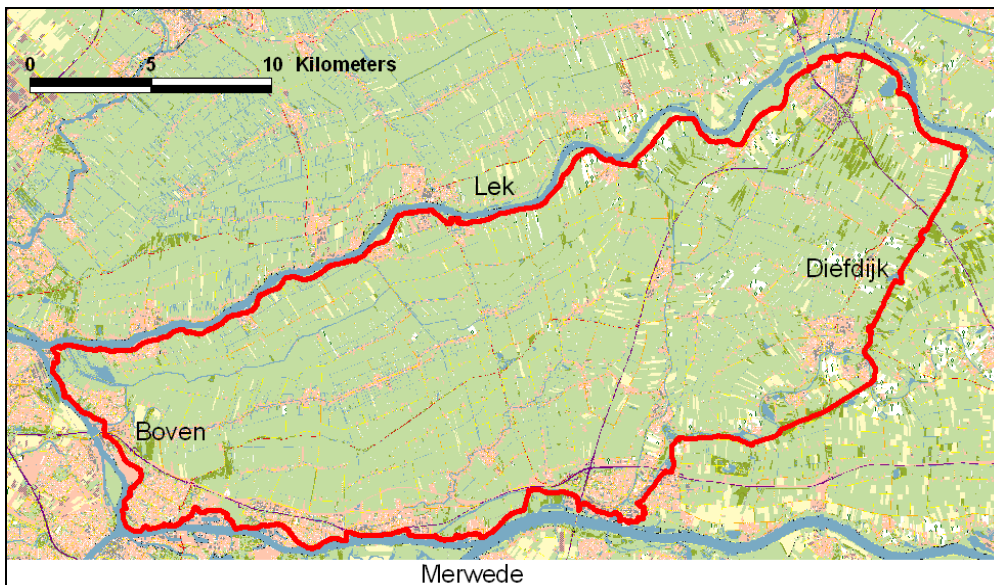
# 1 Overstromingskans en –risico primaire waterkeringen

## 1.1 Achtergrond

De primaire keringen van de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (dijkring 16) zijn genormeerd op een jaarlijkse overstromingskans van 1/2000 (Wet op de waterkering). Uit de eerste resultaten van VNK is gebleken dat deze normkans niet overeen komt met de werkelijke faalkans, daar in de normering slechts rekening gehouden wordt met falen als gevolg van overschrijding van de waterstanden. Faalmechanismen als overloop, piping, afschuiven en het falen van een kunstwerk kunnen echter ook een belangrijke rol spelen en daardoor de faalkans sterk doen toenemen.

In dit hoofdstuk wordt de overstromingskans van dijkring 16, zoals afgeleid in VNK, besproken. Er wordt ingegaan op de schade na een overstroming en het overstromingsrisico wordt bepaald, uitgaande van de norm (klassieke methode) en uitgaande van de overstromingskans (VNK methode). Doel hiervan is het verschil in risico tussen de klassieke methode en de VNK methode inzichtelijk te maken.

## 1.2 Gebied



*Figuur 1-1 Alblasserwaard en Vijfheerenlanden*

In Figuur 1-1 wordt dijkring 16 getoond. Het gebied ligt in de overgang van het rivierengebied naar het deltagebied. De dijkring is begrensd door de Lek in het noorden, de Diefdijklinie in het oosten, de Boven en Beneden Merwede in het zuiden en de Noord in het westen. Het oppervlak van de dijkring is circa 39.000 ha en er wonen circa 200.000 mensen. De maaiveldhoogte loopt van NAP +0.5 m (oost) tot NAP -2 m (west). Het landgebruik is overwegend agrarisch. Aan de rand van de dijkring liggen de grotere woonplaatsen Gorinchem, Leerdam, Papendrecht, Alblasserdam, Sliedrecht, Hardinxveld-Giessendam en Vianen.

### 1.3 Inschatting overstromingskans

In het kader van VNK-1 is voor 16 dijkringen de werkelijke overstromingskans bepaald. Hierin is ook dijkkring 16 bestudeerd. De jaarlijkse overstromingskans van dijkkring 16 is volgens de resultaten van VNK-1 1/390, terwijl de norm uit de Wet op de waterkering 1/2000 is. De belangrijkste oorzaken voor de grotere overstromingskans zijn de grote kansen die berekend zijn voor opbarsten en piping, opdrijven en constructief falen van één van de sluisen. Voor een volledig overzicht van faalmechanismen zie (VNK, 2005[2]). In Tabel 1-1 zijn de bijdragen van verschillende faalmechanismen aan de overstromingskans gegeven (VNK, 2005[1]).

Type kering	Faalmechanisme	Overstromingskans [per jaar]
Dijken	Overloop en golfoverslag	1/14.600
	Opbarsten en piping	1/420
	Beschadiging bekleding	1/600.000
	Afschuiven of opdrijven binnentalud	1/4900
Kunstwerken	Overslag	1/6800
	Niet-sluiten	1/2600
	Sterkte en stabiliteit	1/610
Totaal	Alle mechanismen	1/390

Tabel 1-1 Overstromingskansen als gevolg van de verschillende faalmechanismen in dijkkring 16 (Alblasserwaard en Vijfheerenlanden) (bron: VNK, 2005[1]).

Opbarsten en piping blijkt voor de overstromingskans van de dijkkring het meest bepalend te zijn. De beheerder herkent de grote kans op opbarsten en piping niet, er is echter wel kwel geconstateerd bij hoogwater. Nader onderzoek kan uitwijzen of de kans op opbarsten en piping overschat is. De beheerder heeft aangegeven dat afschuiven en opdrijven een grotere rol in de overstromingskans zou moeten spelen, hiermee worden in de praktijk problemen ondervonden.<sup>1</sup> De hoge bijdrage van sterkte en stabiliteit kunstwerken wordt veroorzaakt door de Grote sluis bij Vianen. Deze is kwetsbaar voor het constructief falen van de beweegbare keermiddelen en voor het bezwijken van de sluisdeuren bij een aanvaring. De beheerder geeft aan dat het risico voor de schutsluis in Gorinchem hoger is dan voor de Grote sluis in Vianen.

Ondanks dat de beheerder de gevonden bijdragen aan overstromingskans niet geheel herkent en de bijdrage van de kunstwerken mogelijk eenvoudig te beperken is door het plaatsen van bijvoorbeeld een aanvaarbalk, wordt in VNK de jaarlijkse overstromingskans van 1/390 aangehouden. Deze studie sluit daarbij aan.

<sup>1</sup> Piping wordt lokaal als faalmechanisme herkend bij Vianen, Nieuwpoort en boven Hardinxveld. Piping wordt echter niet als het belangrijkste faalmechanisme beschouwd. Afschuiving aan de binnenzijde van de dijk is een groter risico voor dijkstabiliteit. Bij toetsing op de Wet op Waterkeringen is een stuk dijk tussen Kinderdijk en Groot Ammerstijn (traject van ongeveer 11 km) afgekeurd op basis van afschuiving. In VNK is afschuiving op slechts enkele plekken (4) onderzocht.

## 1.4 Inschatting risico

### 1.4.1 Inleiding

Het risico van een overstroming is hier gedefinieerd als de kans op een overstroming maal de gevolgen van die overstroming. De kans op een overstroming wordt op twee manieren afgeleid, namelijk met de klassieke methode en de VNK methode. De waterdieptes ten gevolge van een overstroming worden bepaald met de klassieke methode, die overeenkomt met de globale methode uit VNK. Ook de schadebepaling is voor beide gevallen met dezelfde methode gedaan.

### 1.4.2 Kans op een overstroming

#### Klassieke methode

De inschatting van de overstromingskans met de klassieke methode is gebaseerd op falen van de primaire kering vanaf een waterstand horende bij de norm. De jaarlijkse kans op overstroming van de dijkkring is conform de norm 1/2000.

#### VNK methode

Bij de inschatting van de overstromingskans met de VNK methode is niet alleen de overstromingskans als gevolg van overschrijding meegenomen, maar ook falen als gevolg van andere factoren (als piping en falen van kunstwerken). Onzekerheden over de conditie van een kering of kunstwerk worden expliciet meegenomen. Zoals beschreven in hoofdstuk 1.3, is de overstromingskans van dijkkring 16 op deze wijze 1/390.

### 1.4.3 Overstromingsscenario's

#### Inleiding

In VNK is gewerkt met een gedetailleerde methode (toegepast op drie dijkkringen) en een globale methode (toegepast op zestien dijkkringen). Voor beide methoden is de overstromingskans van de dijkkringen zo goed mogelijk ingeschat, door per dijkvak te kijken naar meerdere faalmechanismen. De inschatting van de schade als gevolg van een overstroming is echter verschillend in de twee methoden.

In de gedetailleerde methode wordt het overstromingspatroon vanuit bressen op de meest kwetsbare locaties gesimuleerd in Sobek 1D2D. Dit levert gedetailleerde informatie over onder andere maximale waterdiepte en stijgsnelheid, waarmee in HIS-SSM (Huizinga et al., 2004) de schade en slachtoffers bepaald zijn.

In de globale methode wordt de dijkkring als één geheel beschouwd, er wordt geen rekening gehouden met compartimenten. De dijkkring overstroomt tot een waterstand gelijk aan de hoogte van de laagste kruin in de dijkkring. Dit leidt tot een overschatting van de schade en het aantal slachtoffers wordt niet bepaald. Het bepalen van waterdieptes met de klassieke methode, behorend bij de norm, komt overeen met de globale methode uit VNK. In VNK is voor dijkkring 16 de globale methode toegepast.

## Globale methode

Overstromingen worden bepaald volgens de globale methode uit VNK. Hierin wordt uitgegaan van een 'worst case' aanpak, waarbij de gehele dijkkring tot de laagste kruinhoogte overstroomt. Voor het bepalen van de maximale waterdiepte worden de volgende aannames gedaan (VNK, 2005[1]):

- het dijkringgebied wordt als één geheel beschouwd, er wordt geen rekening gehouden met eventuele compartimenten;
- het volume binnenstromend water is onbeperkt;
- er wordt een waterspiegel opgelegd gelijk aan de laagste kruinhoogte in de dijkkring, behalve in hellend gebied waar een deel van het maaiveld hoger ligt dan de laagste kruinhoogte. In deze gebieden wordt een minimale waterdiepte van 1 meter aangehouden, tot aan de maatgevend hoogwaterstand.

## "Gedetailleerde methode"

Gelijktijdig met dit onderzoek (oktober 2007) is HKV LIJN IN WATER bezig met het actualiseren van het overstromingsmodel van dijkkring 16 voor waterschap Rivierenland en de Provincie Zuid-Holland. Overstromingsberekeningen worden gemaakt voor scenario's met verschillende breslocaties. Deze berekeningen zijn gebaseerd op basis van toetshoogten uit het Randvoorwaardenboek 2001, normfrequentie 1/2000 (en niet op basis kansen uit VNK, vandaar "gedetailleerde methode" tussen haakjes). In deze studie wordt voornamelijk uitgegaan van de VNK resultaten en werkwijze volgens de globale methode van VNK.

### 1.4.4 Schadebepaling

De economische schade is door het VNK berekend met behulp van de HIS-Schade en Slachtoffermodule (versie 2.1). Hierin wordt directe materiële schade (bijvoorbeeld schade aan onroerend goed), directe schade door bedrijfsuitval (zakelijke verliezen door productiestilstand) en indirecte schade (bijvoorbeeld reistijdverlies) onderscheiden. Gevolgen voor milieu en schade aan Landschap, Natuur en Cultuurhistorie (LNC-waarden) zijn niet beschouwd (VNK, 2005[2]).

Als input voor de schadebepaling dienen de overstromingsdiepte en het grondgebruik. Met de globale methode wordt een inschatting gegeven van de schade. Deze kan beschouwd worden als een bovengrens. De door het VNK berekende schade bij (extreme) overstroming bedraagt zo'n 19 miljard euro voor dijkkring 16 (Klijn et al. 2004<sup>2</sup> en VNK, 2005[1]).

Het aantal getroffen en slachtoffers is bepaald [Klijn et al. 2004]. Alle mensen binnen het gebied worden getroffen, zo'n 197.500 in totaal. Het aantal slachtoffers varieert afhankelijk van het criterium, overstromingsdiepte, stijghoogte of stroomsnelheid. Het aantal slachtoffers varieert tussen de 2.500 en 10.900 of 1,3 tot 5,5 % van de bevolking (bij de globale methode). In (VNK, 2005[1]) zijn het aantal slachtoffers niet bepaald vanwege het ontbreken van "essentieel hydrodynamische parameters".

---

<sup>2</sup> Het bedrag is bepaald voor 1996. Klijn et al. 2004 hebben het bedrag gecorrigeerd voor het jaar 2004 waarbij de berekende schade 21 miljard euro bedroeg.

### 1.4.5 Risico

#### Jaarlijks verwachte schade

Risico kan worden uitgedrukt in euro per jaar en is gelijk aan de jaarlijks verwachte schade. Deze wordt als volgt berekend:

$$R = \frac{1}{T_n} \times S(T_n) + \dots + \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \times \frac{S(T_2) + S(T_1)}{2}$$

waarin,

$R$  = risico in euro per jaar  
 $T_{1,n}$  = herhalingstijd van 1 (kleinste) tot  $n$  (grootste)  
 $S(T_n)$  = schade behorende bij herhalingstijd  $T_n$

De berekende schadebedragen zijn gelijk voor de VNK globale methode en klassieke normeringsmethode. De herhalingstijd waarvoor deze schade bepaald is verschilt tussen beide methoden. Dit leidt tot verschillende waarden voor de jaarlijks verwachte schade:

VNK methode: 50 miljoen €  
 Klassieke methode: 10 miljoen €

#### Contante waarde

Om de schade over een zekere tijdshorizon te kunnen beoordelen en te vergelijken met bijvoorbeeld kosten van dijkversterking, wordt de schade uitgedrukt in contante waarde. De contante waarde (CW) van de overstromingsschade is berekend volgens:

$$CW = C * \left( 1 - \frac{1}{(1+r)^n} \right) * \frac{1}{r}$$

waarin,

$C$  = overstromingsschade per jaar (jaarlijks verwachte schade; €)  
 $r$  = disconteringsvoet (-)  
 $n$  = tijdshorizon; levensduur van het project (jaar)

Wanneer  $n$  naar oneindig gaat reduceert de formule tot:

$$CW = \frac{C}{r}$$

Hierbij wordt, aansluitend op de leidraad OEI (Eijgenraam, 2000) een discontovoet van 2,5% gehanteerd. Deze discontovoet is reëel (er wordt geen rekening gehouden met inflatie) en risicovrij. De contante waarde is berekend voor een tijdshorizon van 50 jaar en oneindig (volgens OEI). De resultaten zijn opgenomen in Tabel 1-2.



Tijdshorizon [jaar]	Discontovoet [%]	CW Klassieke methode [miljoen €]	CW VNK methode [miljoen €]
50	2,5	269	1420
oneindig	2,5	380	2000

Tabel 1-2: Contante waarde van overstromingsschade.

### 1.4.6 Conclusie

Het risico op overstroming berekend met de VNK methode is een factor 5 groter dan bij de klassieke methode. Dit is toe te schrijven aan een hogere kans op falen. De methode van schadebepaling en resulterende schade is voor de twee methodes hetzelfde. Het betreft een maximale schade die kan optreden.

## 2 Effecten van maatregelen primaire waterkeringen

### 2.1 Inleiding

In de studie 'Van Neerslag tot Schade' is voor de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden (dijkring 16) een inschatting gemaakt van het risico behorende bij de primaire keringen, gebaseerd op de norm (Wet op de waterkering) en de overstromingskans afgeleid van VNK-1. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op maatregelen waarmee dit risico verminderd kan worden.

In overleg met waterschap Rivierenland zijn de volgende maatregelen gekozen om het overstromingsrisico van de primaire keringen te verminderen:

1. kwelweg verlenging door middel van een pipingberm of kwelscherm;
2. ophogen bebouwde gebieden;
3. compartimenteringsdijk langs het Merwede Kanaal;

De eerste maatregel reduceert de kans op overstroming. Maatregelen 2 en 3 reduceren de schade die optreedt als gevolg van een overstroming.

In de volgende hoofdstukken zijn de drie maatregelen uitgewerkt en is bepaald welke effecten deze hebben op kans- en schadereductie. Per maatregel zijn kosten (voor aanleg) en baten (reductie in risico) in kaart gebracht en is een kosten-batenanalyse gedaan. Op deze wijze kunnen de maatregelen onderling vergeleken en beoordeeld worden. Tevens wordt gekeken wat de invloed is van aannames voor overschrijdingskans (klassieke methode/VNK methode) op het al dan niet kosten-baten efficiënt zijn van maatregelen.

### 2.2 Kwelweg verlenging

#### 2.2.1 Inleiding

In VNK-1 bleek piping en opbarsting maatgevend te zijn bij het bepalen van de overstromingskans van dijkring 16 [VNK, 2005(1)]. De jaarlijkse overstromingskans bedraagt 1/400 jaar. Met het verlengen van de kwelweg van enkele dijkvakken kan deze kans gereduceerd tot het niveau van 1/5000 jaar. Bij deze frequentie gaan andere faalmechanismen van dijken meespelen: afschuiven of opdrijven binnentalud.

De kans op falen van dijken als gevolg van opbarsting en piping kan op verschillende manieren gereduceerd worden. Voorbeelden hiervan zijn het versterken van de afsluitende laag achter de dijk, het aanleggen van een hoogwatersloot langs de binnenkant van de dijk en het aanleggen van een zogenaamde pipingberm of het plaatsen van kwelschermen. Gekozen is voor de laatste twee omdat dit de meest praktische en gangbare maatregelen zijn.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Afschuiving aan de binnenzijde van de dijk blijkt ook een belangrijk faalmechanisme (zie hoofdstuk 1). Maatregelen om piping tegen te gaan, het aanleggen van pipingbermen en plaatsen van kwelschermen, hebben een stabiliserend effect op dijken. Deze maatregelen beperken ook de kans op opdrijven en afschuiven. De maatregel wordt derhalve ingezet voor beide faalmechanismen.

## 2.2.2 Kans-reductie

Een pipingberm is een "grondoplossing" waarbij de kwelweglengte toeneemt met de breedte van de berm. Een kwelscherm is een "constructieve oplossing" waarbij de toename in kwelweglengte gelijk is aan ruim twee maal de diepte van het kwelscherm. De effectiviteit van kwelschermen is nog groter als de verticale doorlaatbaarheid (als gevolg van lagen) kleiner is dan de horizontale.

In VNK-1 zijn kansberekeningen gemaakt waarbij de kwelweglengte verlengd is bij maatgevende dijkvakken. Berekeningen zijn uitgevoerd met de FORM methode in PC-Ring [VNK, 2005(1)]. De resultaten staan samengevat in Tabel 2-1.

dijkvak	kwelweglengte (m)	betrouwbaarheidsindex beta		
		huidig	+ 20 m	+ 40 m
1,2	63	2,8	3,3	<b>3,7</b>
41	57	2,9	3,5	<b>3,8</b>
3	70	2,9	3,5	<b>3,8</b>
4	70	3,5	3,9	<b>4,1</b>
31	35	3,5	<b>4,2</b>	4,8
5	70	3,6	<b>4,0</b>	4,1
40	95	3,6	<b>3,8</b>	3,8
27	40	<b>3,7</b>	4,4	4,9

Tabel 2-1: *Faalkans als gevolg van piping en opbarsting bij kwelwegverlenging (VNK-1). Kwelwegverlenging bij **dikgedrukte** beta waarden is gekozen als onderdeel van de maatregel.*

Om de kadevakken op het niveau van beta 3,7, oftewel een herhalingstijd van ongeveer 5000 jaar, te krijgen moet de kwelweglengte van kritieke dijkvakken verlengd worden. Bij 4 dijkvakken moet de kwelweg met 40 verlengd worden, terwijl bij 3 dijkvakken een verlenging van 20 meter nodig is (dikgedrukt aangegeven in Tabel 2-1).

## 2.2.3 Kosten

De goedkoopste oplossing voor kwelweg verlenging is het aanleggen van een pipingberm, een zogenaamde grondoplossing [Thones et al., 2005] (Tabel 2-2). Een grondoplossing bestaat uit het verhogen/verbreden van het dijkprofiel. Indien hier geen ruimte voor beschikbaar is zal gekozen worden voor een kwelscherm, een constructieve oplossing. Dit brengt meer kosten met zich mee (Tabel 2-2). De maximale toegepaste lengte van een pipingberm bedraagt 40 meter. Indien meer kwelweglengte benodigd is wordt altijd een constructieve oplossing toegepast [Thones et al., 2005].

	toename kwelweglengte (m)			
	+ 10	+ 20	+ 40	+ >40
grondoplossing (miljoen € / km)	0,47	0,90	1,77	-
constructieve oplossing (miljoen € / km)	1,90	3,61	5,65	7,29

Tabel 2-2: *Kosten maatregelen kwelwegverlenging: grondoplossing en constructieve oplossing.*

In Tabel 2-3 staan de kosten weergegeven die behoren bij het verlengen van kwelweglengten van kritieke dijkvakken zoals beschreven in hoofdstuk 2.2.2. Het betreft de totale kosten voor grond en constructie oplossingen; de minimale en maximale kosten. Het is natuurlijk ook mogelijk om voor een combinatie van grond en constructieve oplossingen te kiezen.

dijkvak	lengte (m)	kosten (miljoen €)	
		grond	constructief
1,2	300	0,53	1,70
41	200	0,35	1,13
3	195	0,35	1,10
4	100	0,09	0,36
31	90	0,08	0,32
5	160	0,14	0,58
40	200	0,18	0,72
27	540	0,00	0,00
<b>totaal</b>	<b>1785</b>	<b>1,73</b>	<b>5,91</b>

Tabel 2-3: Kosten verlengen kwelweglengte voor kritieke dijkvakken.

## 2.3 Ophogen bebouwde gebieden

### 2.3.1 Inleiding

Bij een overstroming van de dijkkring ontstaat het grootste deel van de schade op locaties met veel waarde, veelal bebouwd gebied. Wanneer bebouwde gebieden hoger zouden zijn aangelegd, en dus niet of tot een kleinere waterdiepte zouden overstromen, zou een aanzienlijk deel van de schade voorkomen worden. Het ophogen van woonkernen is theoretische exercitie en niet een praktische maatregel. Het effect van ophoging wordt op deze wijze wel inzichtelijk gemaakt en kan meegenomen worden bij de aanbouw van nieuwe wijken.

### 2.3.2 Methode

Op basis van het LGN5 zijn gebieden met bebouwing bepaald en is op deze locaties het maaiveld verhoogt met een meter. Vervolgens is met behulp van HIS-SSM de schade bepaald na uitvoeren van de maatregel (zie kader). De schade is vergeleken met de uitgangssituatie.

#### Schadeberekening HIS-SSM

De economische schade is berekend met behulp van de HIS-Schade en Slachtoffermodule, versie 2.2 [Huizinga et al., 2005]. Hierin wordt directe materiële schade (bijvoorbeeld schade aan onroerend goed), directe schade door bedrijfsuitval (zakelijke verliezen door productiestilstand) en indirecte schade (bijvoorbeeld reistijdverlies) onderscheiden. Er wordt een inschatting gegeven van het aantal slachtoffers en getroffen en op basis van de waterdiepte na overstroming. Gevolgen voor milieu en schade aan Landschap, Natuur en Cultuurhistorie (LNC-waarden) zijn niet beschouwd.

Model: StandaardMethode2005

Dataset: SSM100NL2005 (grondgebruik; 100\*100 meter)

Schade is berekend op basis van overstromingsdiepte. De maaiveldhoogte is afkomstig uit:

AHN; resolutie 5\*5 meter; niet gecorrigeerd voor bebouwing; gebiedsdekkend.

FLIMAP; resolutie 25\*25 meter; gecorrigeerd voor bebouwing; Nederwaard en Overwaard.

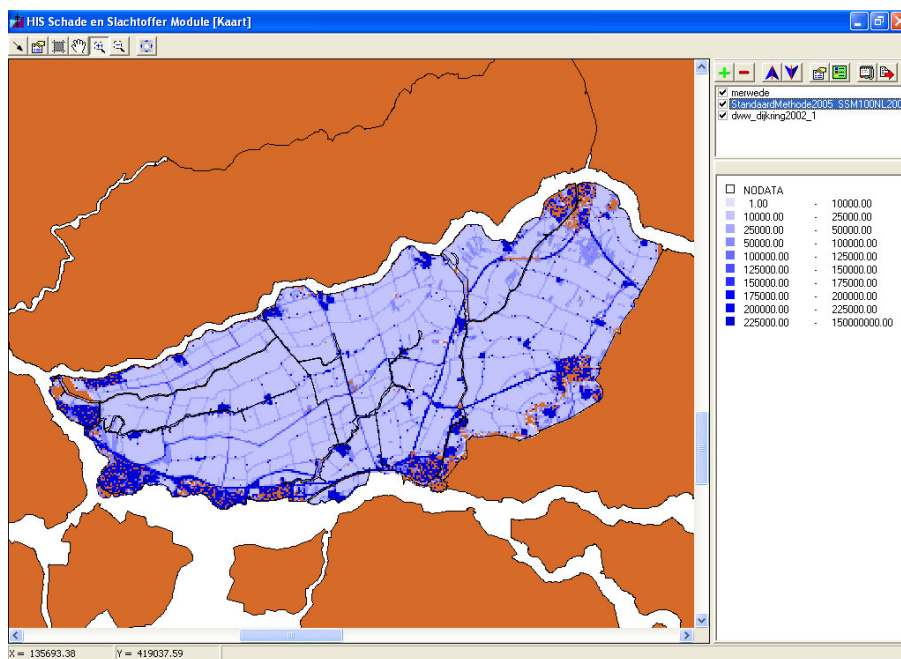
De waterstand in de gehele dijkkring is bepaald aan de hand van de laagste kruinhoogte. Het betreft 3,55 m + NAP bij Papendrecht. Er is geen rekening gehouden met "hellend gebied". Er is enkel lokaal bij bebouwing sprake van een maaiveld hoger dan 3,55 m + NAP.

### 2.3.3 Schade en slachtoffers nul-situatie

Twee nul-situaties zijn berekend om het effect van maatregelen goed te bepalen. Hierbij is gebruik gemaakt van de verschillende bronnen voor maaiveldhoogte (AHN en FLIMAP), zie ook Bijlage A.

#### AHN, gebiedsdekkend

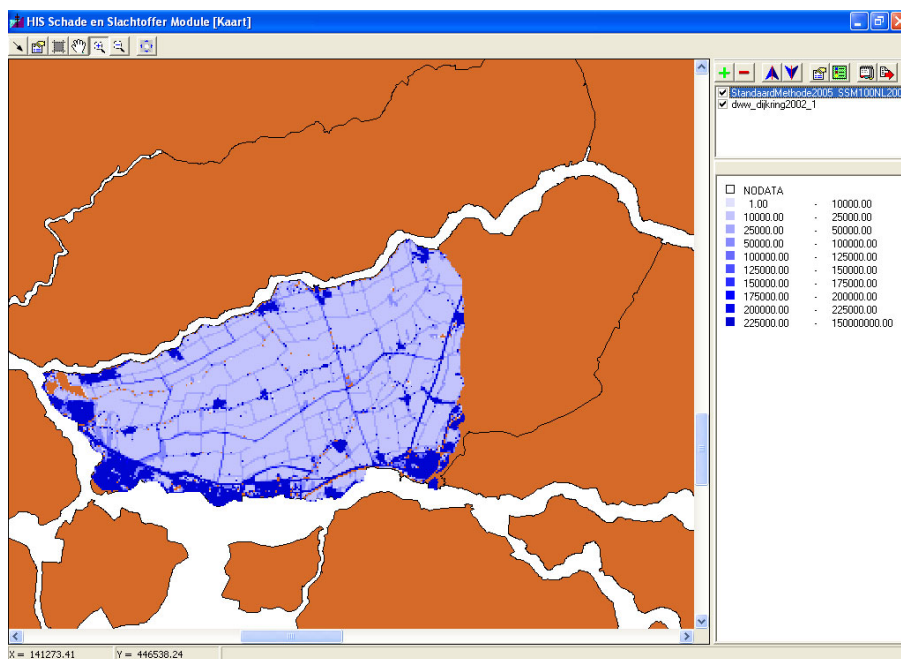
De resulterende overstromingsschade bedraagt € 22,4 miljard (157.000 slachtoffers). Eerdere berekeningen met HIS-SSM versie 2.1 kwamen uit op een bedrag van 19 - 21 miljard (zie hoofdstuk 1). Het verschil is toe te schrijven aan een toename in de waarde van het gebied (toename aan gebouwen etc). De schade is ruimtelijk weergegeven in Figuur 2-1.



Figuur 2-1: Ruimtelijke verdeling van schade in dijkkring 16 bij gehele inundatie.

#### FLIMAP, Nederwaard en Overwaard

De resulterende overstromingsschade bedraagt € 21,5 miljard (152.000 slachtoffers). De schade is ruimtelijk weergegeven in de figuur in Bijlage A. In Nederwaard en Overwaard bevindt zich het grootste deel van het bebouwde gebied en derhalve ook het grootste deel van de schade.



Figuur 2-2: Ruimtelijke verdeling van schade in Nederwaard en Overwaard bij gehele inundatie (gecorrigeerd voor bebouwing).

Om een directe vergelijking te maken tussen de maaiveldhoogte uit FLIMAP (gecorrigeerd voor bebouwing) en het AHN (niet gecorrigeerd voor bebouwing) is de schade van Nederwaard en Overwaard bepaald aan de hand van het AHN (Tabel 2-4). Hieruit blijkt dat het aandeel van woningschade vergelijkbaar is. De totale schade is alleen zo'n 20% lager bij gebruik van het AHN.

schade	heel gebied		Nederwaard en Overwaard	
	AHN	Flimap	AHN	
totaal (miljoen €)	22,4	21,5	17,4	
woningen (miljoen €)	14,1	13,6	11,2	
slachtoffers (aantal)	157.000	152.000	126.000	

Tabel 2-4: Schade en slachtoffers bij overstroming.

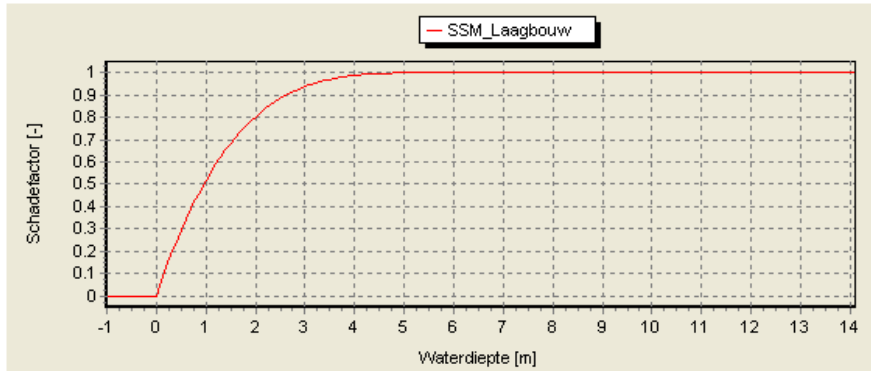
### 2.3.4 Schade en slachtoffers ophogen bebouwde gebieden

De resulterende schade bij het ophogen van stedelijk gebied binnen de hele dijkkring met 1 en 2,5 meter staat weergegeven in Tabel 2-5 en Figuur 2-4.

	Ophoging bebouwing		
	huidig	+ 1 m	+ 2,5 m
Totaal (miljoen €)	21,5	20,8	19,5
Woningen (miljoen €)	13,6	13,4	12,6
Slachtoffers (aantal)	152.000	150.000	140.000

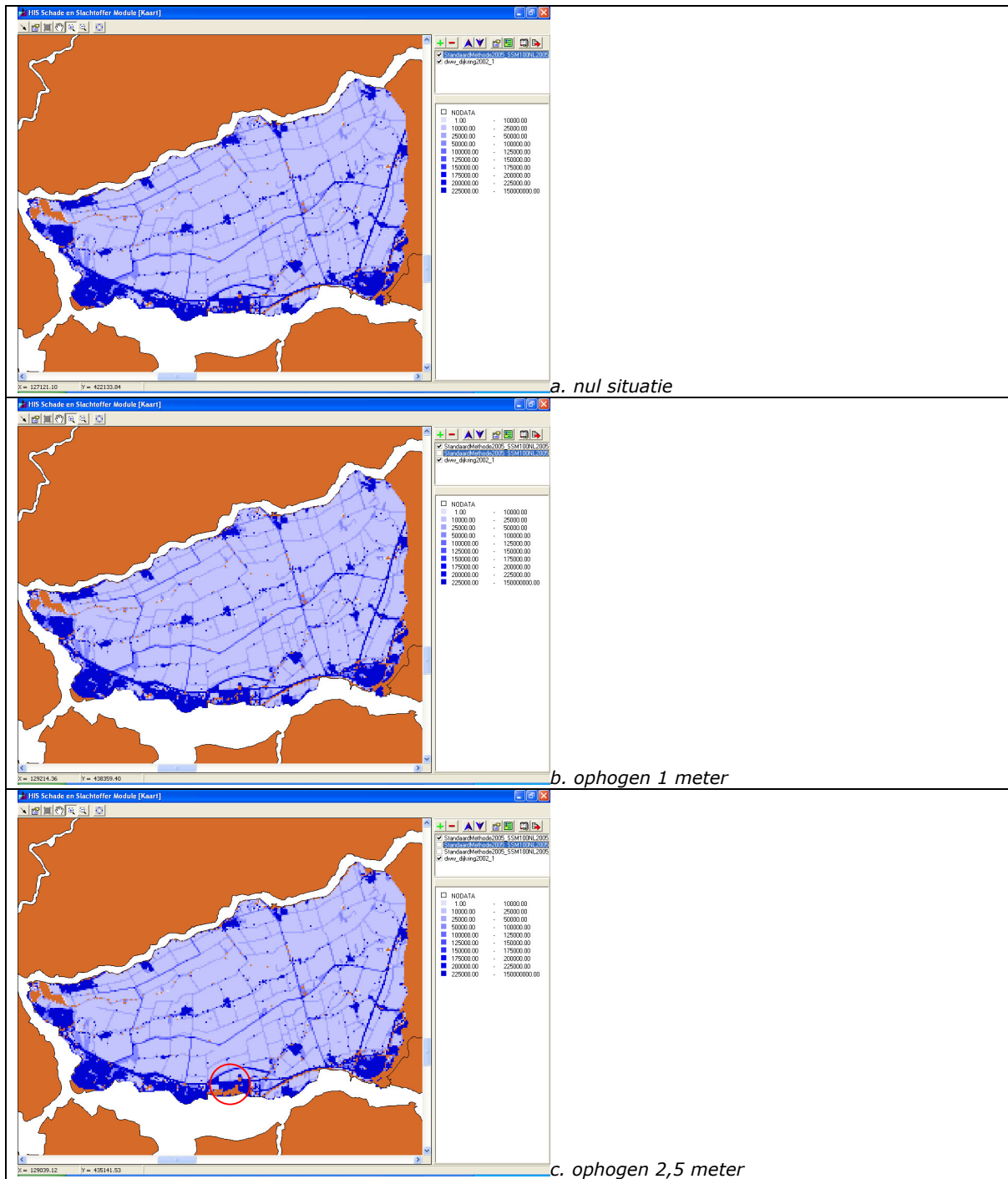
Tabel 2-5: Schade en slachtoffers bij ophoging bebouwde gebieden (AHN).

De hoeveelheid schade aan woningen en het aantal slachtoffers neemt relatief het meest af bij verhoging van 2,5 meter. Bij deze hoogtes is het verloop van de schadecurve steiler en is er meer bebouwing die profiteert van de relatieve verlaging van waterstanden (Figuur 2-3).



Figuur 2-3: Schadefunctie laagbouw.

In Figuur 2-4 staat het ruimtelijke verloop van schade bij verhoging van bebouwde gebieden. Een duidelijke afname in schade is zichtbaar bij Hardinxveld (rode cirkel Figuur 2-4c). Dit gebied ligt op ongeveer 2 m + NAP wordt na ophoging van 2,5 meter nauwelijks geïnundeerd.



Figuur 2-4: Ruimtelijke verdeling van schade bij opheging van woonkernen in Overwaard en Nederwaard.

### 2.3.5 Kosten

Het ophegen van de kernen met 1 of 2,5 m grond kent eenmalige investeringskosten. Hiervan is een ruwe schatting gemaakt op basis van het volume benodigde zand en de transportkosten [GWW, 2005]. De investeringskosten worden geschat op respectievelijk 0,3 en 0,7 miljard € voor een oppervlak van 68,7 miljoen m<sup>2</sup>. Hierbij is geen rekening gehouden met zetting van de grond. Het afbreken en opbouwen van huizen en infrastructuur is ook niet meegenomen. Zoals eerder genoemd betreft het hier niet een praktische maatregel, maar een theoretische exercitie.



## 2.4 Compartimenteren

### 2.4.1 Inleiding

Bij compartimenteren wordt de grootte van een overstroomd gebied beperkt. Waterstanden kunnen wel toenemen omdat de beschikbare hoeveelheid water over een kleiner gebied geborgen wordt. In deze casestudie wordt uitgegaan van onbeperkte aanvoer van water, waardoor dit laatste niet het geval is.

De kades langs het Merwedekanaal kunnen gebruikt worden om het gebied op te delen in 2 compartimenten. Vijfherenlanden in het oosten en Neder- en Overwaard in het westen.

### 2.4.2 Methode

De westkade van de Merwede zou over het hele traject opgehoogd moeten worden van 1,8 meter tot 6,5 meter. De uiteindelijke hoogte komt dan overeen met de hoogte van de sluisen bij Vianen en Gorinchem (6,85 en 7,10 meter). Hier sluit de compartimenteringsdijk aan op de primaire kering.<sup>4</sup>

Schade is op dezelfde wijze bepaald als in hoofdstuk 2.3.2.

### 2.4.3 Schade en slachtoffers

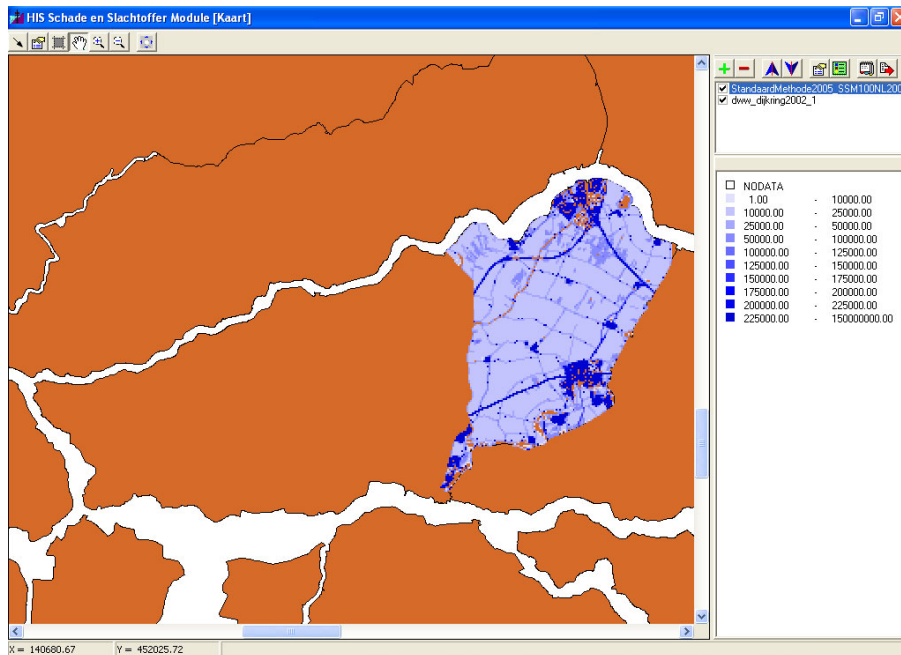
De resulterende schade bedraagt maximaal € 17,4 miljard (126.000 slachtoffers) in het geval van overstroming in het gebied ten westen van de Merwede (Tabel 2-6). Dit is gelijk aan de schade die zou optreden zonder compartimentering. De waterstand wordt immers bepaald door het laagste punt langs de primaire kering (3,55 m + NAP). De schade is ruimtelijk weergegeven in Figuur 2-1.

	Compartimentering		
	Huidig	West v Merwede	Oost v Merwede
Totaal (miljoen €)	22,4	17,4	7,3
Woningen (miljoen €)	14,1	11,2	4,5
Slachtoffers (aantal)	157.000	126.000	51.000

Tabel 2-6: Schade en slachtoffers bij compartimentering.

Overstroming ten oosten van het Merwede kanaal zal leiden tot hogere waterstanden dan bij afwezigheid van de compartimenteringsdijk (Figuur 2-5). De resulterende schade bedraagt maximaal € 7,3 miljard (51.000 slachtoffers).

<sup>4</sup> De maatregel compartimentering wordt aangepast naar aanleiding van overleg met het waterschap. De westdijk van de Merwede wordt aangehouden en deze wordt opgehoogd tot het niveau van de Diefdijk (deze is lager dan de aansluiting met de primaire keringen). De schade van beide compartimenten wordt gemiddeld, waarbij uitgegaan wordt van gelijke kans op falen.



Figuur 2-5: Ruimtelijke verdeling van schade bij compartimentering (langs Merwede kanaal).

### 2.4.4 Kosten

In de kosten-batenanalyse van Ruimte voor de Rivier (Eijgenraam, 2005) worden investeringskosten voor dijkophoging in de betrokken dijkringen gegeven. Dit komt voor dijkverhoging van 1,0 m gemiddeld op € 5,4 miljoen per km voor rivierdijken.

De westkade van de Merwede is 12 km lang. Deze zou over het hele traject 4,7 m opgehoogd moeten worden van 1,8 tot 6,5 meter + NAP. De totale aanleg kosten zou € 300 miljoen bedragen.

## 2.5 Kosten-batenanalyse

### 2.5.1 Kosten

De kosten van de verschillende maatregelen staan samengevat in Tabel 2-7. Uitgegaan wordt van eenmalige aanlegkosten. Extra onderhoudskosten (bovenop de huidige) zijn niet meegenomen.

•

Maatregel	Kosten [miljoen €]
1 Kwelwegverlenging grondoplossing	1.7
1 Kwelwegverlenging constructieve oplossing	5.9
2 Verhogen bebouwde gebieden (1 m)	300
2 Verhogen bebouwde gebieden (2,5 m)	700
3 Compartimentering langs Merwede kanaal	650

Tabel 2-7: Kosten maatregelen.

## 2.5.2 Baten

Het risico (in economische schade) kan worden uitgedrukt in miljoen € per jaar en is dan gelijk aan een jaarlijks verwachte schade. Deze is berekend volgens:

$$JVS = K_n \times S(K_n) + (K_{n-1} - K_n) \times \frac{S(K_{n-1}) + S(K_n)}{2} + \dots + (K_1 - K_2) \times \frac{S(K_1) + S(K_2)}{2}$$

waarin,

$JVS$  = risico in euro per jaar

$K_{1,n}$  = kans van 1 (grootste kans, kleinste schade) tot n (kleinste kans, grootste schade)

$S(K_n)$  = schade behorende bij kans  $K_n$

Het resulterende risico bij de verschillende scenario's (inclusief huidige situatie) staat weergegeven in Tabel 2-8.

scenario	economisch risico [miljoen € per jaar]	
	klassieke methode	VNK methode
0 huidige situatie	11,2	56,0
1 kwelweg verlenging	11,2	37,3
2 verhogen bebouwde gebieden (1 m)	10,8	53,8
2 verhogen bebouwde gebieden (2,5 m)	10,0	50,4
3 compartimentering langs Merwede kanaal	8,74	43,8

Tabel 2-8: Economisch risico bij de verschillende scenario's.

De baten van de verschillende maatregelen zijn de verminderingen in schade (ten opzichte van de huidige situatie) die ze opleveren. Om de schade over een zekere tijdshorizon te kunnen beoordelen en te vergelijken wordt de schade uitgedrukt in contante waarde. De contante waarde (CW) van de overstromingsschade is berekend volgens:

$$CW = C * \left( 1 - \frac{1}{(1+r)^n} \right) * \frac{1}{r}$$

waarin,

$C$  = overstromingsschade per jaar (jaarlijks verwachte schade)

$r$  = disconteringsvoet (-)

$n$  = levensduur van het project in jaren (tijdshorizon)

Hierbij wordt, aansluitend op de leidraad OEI (Eijgenraam, 2000) een discontovoet van 2,5% gehanteerd. Deze discontovoet is reëel (er wordt geen rekening gehouden met inflatie) en risicovrij. De contante waarde is voor alle scenario's berekend over een tijdshorizon van 50 jaar, met een discontovoet van 2,5 (Tabel 2-9). Dit zijn de totale baten als gevolg van de verschillende maatregelen.

Maatregelen		Contante waarde van schade [miljoen €]	
		Klassieke methode	VNK methode
0	huidige situatie	318	1588
1	Kwelwegverlenging	318	1058
2	Verhogen bebouwde gebieden (1 m)	306	1526
2	Verhogen bebouwde gebieden (2,5 m)	284	1429
3	Compartimentering langs Merwede kanaal	248	1242

Tabel 2-9: Contante waarde van schade voor de verschillende maatregelen (discontovoet 2,5%).

Het verschil in contante waarde tussen een scenario met maatregelen en de huidige situatie is een weergave van de baten van de maatregelen. De baten staan weergegeven in Tabel 2-10.

Maatregelen		Baten (vermindering schade) [miljoen €]	
		Klassieke methode	VNK methode
1	Kwelwegverlenging	0	530
2	Verhogen bebouwde gebieden (1 m)	11	62
2	Verhogen bebouwde gebieden (2,5 m)	34	159
3	Compartimentering langs Merwede kanaal	70	346

Tabel 2-10: Contante waarde van maatregelen (discontovoet 2,5%).

### 2.5.3 Analyse

De netto contante waarde van de maatregelen staat weergegeven in Tabel 2-11.

Maatregelen		Netto contante waarde [miljoen €]	
		Klassieke methode	VNK methode
1	Kwelwegverlenging grondoplossing	-2	528
1	Kwelwegverlenging constructieve oplossing	-6	524
2	Verhogen bebouwde gebieden (1 m)	-289	-238
2	Verhogen bebouwde gebieden (2,5 m)	-666	-541
3	Compartimentering langs Merwede kanaal	-580	-304

Tabel 2-11: Netto contante waarde

De kosten van de maatregel kwelwegverlenging (grondoplossing en/of constructieve oplossing) zijn verreweg het goedkoopste. Dit leidt echter alleen tot schadereductie bij de VNK methode (bij de klassieke methode wordt geen rekening gehouden met piping en kost deze maatregel alleen maar geld). Het is de maatregel met de meeste baten en is als enigste kosten-baten efficiënt. Compartimentering is bij zowel de klassieke als VNK methode effectiever dan het ophogen van bebouwde gebieden. In beide gevallen betreft het echter buiten proportioneel dure maatregelen. Lokaal ophogen van gebieden kan effectief zijn waar waterdiepten bij overstroming beperkt zijn (binnen 3 meter).

## 3 Overstromingskans en –risico regionale keringen en regionaal watersysteem

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt vanuit verschillende invalshoeken het risico bepaald behorende bij:

- Het overstromen van regionale keringen (boezemkades) en
- Wateroverlast in het regionaal watersysteem (polders).

Regionale keringen en het regionaal watersysteem worden als gekoppeld systeem benaderd. Het beheer van het boezemsysteem speelt hierbij een sturende rol. De risico's zullen dan ook gezamenlijk geanalyseerd worden.

De kans op het falen van regionale keringen (boezemkades) wordt belicht vanuit de volgende invalshoeken:

1. *Toetsing van regionale keringen zonder maalstop.* De toetsing van regionale keringen is uitgevoerd door [Kolen et al., 2004]. De toetshoogte is gebaseerd op waterstandstatistiek, windopzet en golfoploop (waakhoogte).
2. *Toetsing van regionale keringen met maalstop.* De toetshoogte is gebaseerd op een gereguleerde maximale waterstand, het maalstoppeil, en golfoploop (waakhoogte).
3. *Normering van regionale keringen.* De norm voor regionale keringen geeft een theoretische overstromingskans waar een kade aan moet voldoen.

Op analoge wijze wordt vervolgens de kans op wateroverlast in het regionale watersysteem (polders) bepaald:

1. *Toetsing van het regionaal watersysteem zonder maalstop.* Inundatieoppervlakken bij herhalingstijden behorende bij de NBW norm (10, 25, 50 en 100 jaar) zijn bepaald door [Buitelaar, 2006]. Er wordt geen rekening gehouden met maalstops.
2. *Toetsing van het regionaal watersysteem met maalstop.* Inundatieoppervlakken bij herhalingstijden behorende bij de NBW norm (10, 25, 50 en 100 jaar) zijn bepaald door [Buitelaar, 2006]. Het inundatieoppervlak wordt vermeerderd met water dat niet op de boezem afgevoerd kan worden vanwege het maalstoppeil.
3. *Normering voor het regionaal watersysteem.* Inundatieoppervlakken bij herhalingstijden behorende bij de NBW norm (10, 25, 50 en 100 jaar) zijn bepaald door [Buitelaar, 2006]. Deze oppervlakken worden per landgebruik met een constant areaal gereduceerd zodat precies aan de norm voldaan wordt.

Mogelijke schade die optreedt als gevolg van de overstroming van de boezem of wateroverlast in de polders wordt belicht vanuit de volgende invalshoeken:

1. *Overstroming boezemkade.* Bij de normering is de schade bepaald die optreedt als kades falen en polders inunderen.
2. *Wateroverlast in polders door overtollige neerslag.* Wateroverlast in polders leidt tot schade als gevolg van de inundatie van land. De hoeveelheid schade is afhankelijk van het type grondgebruik dat inundeert.

3. *Wateroverlast in polders als gevolg van maalbeperking.* Wateroverlast in polders treedt op door het beperken van afvoer naar de boezem door middel van een maalstop. De hoeveelheid schade is afhankelijk van het type grondgebruik dat inundeert.
4. *Inzetten van een inundatiepolder.* Wateroverlast wordt beperkt tot één aangewezen polder. De hoeveelheid schade is afhankelijk van het type grondgebruik dat inundeert.

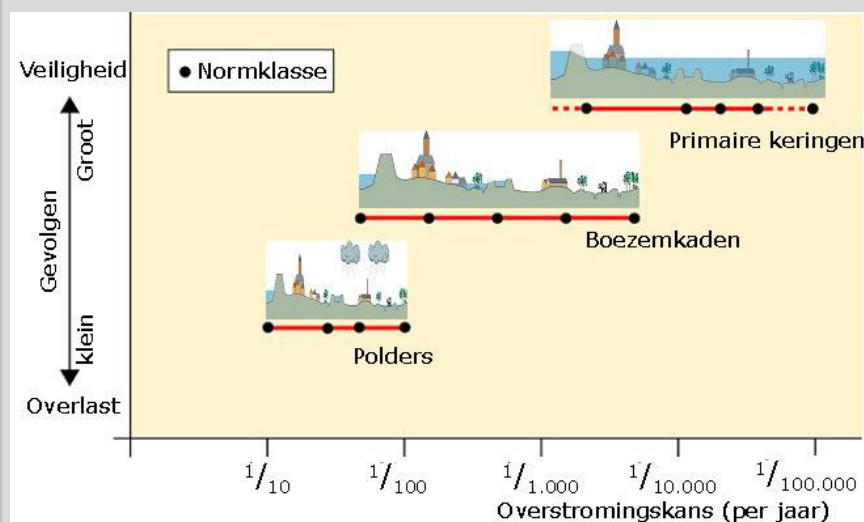
Met het bepalen van overstromingskans en de bijbehorende schade, zoals hierboven beschreven, wordt het economisch risico bepaald. Hierbij wordt gekeken naar de invloed van de methode waarop kans en schade bepaald zijn alsmede de uitgangspunten die hieraan ten grondslag liggen.

### "Van Neerslag tot Schade" (Definitiestudie [HKV, 2007])

Het project "Van Neerslag tot Schade" heeft als doel het in beeld brengen van de risico's van wateroverlast en de manier waarop over deze risico's het best kan worden gecommuniceerd. Hierbij wordt onder andere speciale aandacht geschonken aan risiconormering.

Er bestaan verschillende typen wateroverlast. Een overzicht hiervan wordt gegeven in het rapport "Verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid van wateroverlastschade". Voor een aantal van de typen wateroverlast is een normering ontwikkeld, te weten overlast als gevolg van overstromen of bezwijken van primaire- en regionale waterkeringen en overstroming vanuit regionaal oppervlaktewater. De norm geeft daarbij betrekking op de toelaatbare kans dat een bepaalde ruimtelijke eenheid (bijvoorbeeld type grondgebruik, polder) wordt geconfronteerd met wateroverlast.

Er is een zekere overlap tussen de verschillende normen (zie onderstaand figuur). Hoewel de normen voor primaire waterkeringen, boezemkaden en polders mede zijn gebaseerd op het risico en een kosten-baten afweging van maatregelen, is niet duidelijk hoe goed de normen op elkaar zijn afgestemd vanuit oogpunt van het risico (=kans\*gevolg) van overstroming/overlast.



Onderzoeksvragen zijn:

Wat is het risico van overstroming of wateroverlast, met medeneming van alle relevante faalmechanismen, zoveel mogelijk conform methoden en technieken ontwikkeld in VNK, van:

- primaire waterkeringen (direct overgenomen uit VNK);
- boezemsystemen;
- polders?

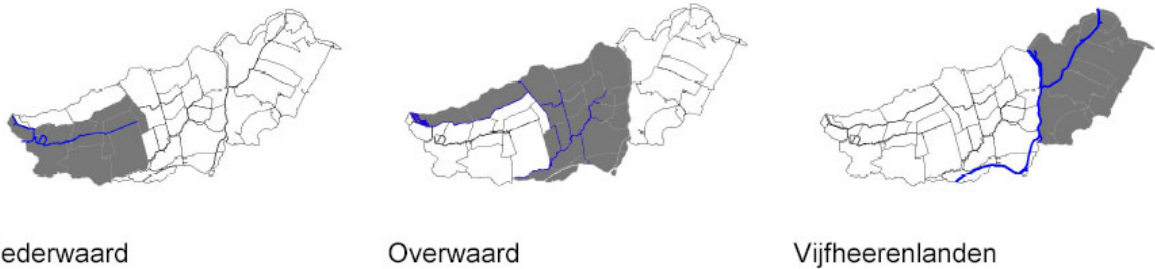
Hoe verhouden de normen zich tot elkaar vanuit oogpunt van risico en wat is de totale som van het risico?

Zou een geïntegreerde beschouwing van de genoemde normenstelsels aanleiding kunnen geven tot een geïntegreerde norm, waarmee wordt aangegeven met welke kans burgers te maken krijgen met wateroverlast, ongeacht de herkomst er van?

## 3.2 Systeembeschrijving

Drie waterhuishoudkundige eenheden zijn te onderscheiden in de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden (Figuur 3-1):

- Nederwaard;
- Overwaard;
- Vijfheerenlanden.



Figuur 3-1: Beheergebied en ligging boezemstelsels.

In Tabel 3-1 staan de streef- en maalstoppeilen per boezem.

Boezem	Streefpeil (m + NAP)	Maalstoppeil (m + NAP)
Nederwaard	-0,90	-0,80
Overwaard	-0,75	-0,25
Vijfheerenlanden	+0,85	+1,26

Tabel 3-1: Streef- en maalstoppeil van boezemsystemen.

### Nederwaard

Polders in de Nederwaard wateren via gemalen af op de Lage Boezem. De boezem wordt bemalen door het J.U. Smitgemaal met een capaciteit van 18 m<sup>3</sup>/s. Het gemaal pompt het water tijdens normale bedrijfssituaties van de Lage Boezem via de maalkolk de rivier op. Het water in de maalkolk wordt geloosd via de Elshoutsluis.

### Overwaard

Polders in de Overwaard wateren via gemalen af op de Lage Boezem. Het gemaal Overwaard (capaciteit 25 m<sup>3</sup>/s) pompt het water van de Lage Boezem op de Hoge Boezem. Op de Hoge Boezem kan het peil worden opgezet, zodat lozing onder vrij verval mogelijk is via de Elshoutsluis op de Lek.

### Vijfheerenlanden

Water van de boezem van Vijfheerenlanden wordt geloosd door middel van vrij verval via verschillende sluisen op de Lek en door bemaling met het Kolff gemaal (capaciteit 60 m<sup>3</sup>/s) naar de Merwede.

De grootte van de verschillende boezemwateren staat weergegeven in Tabel 3-2.



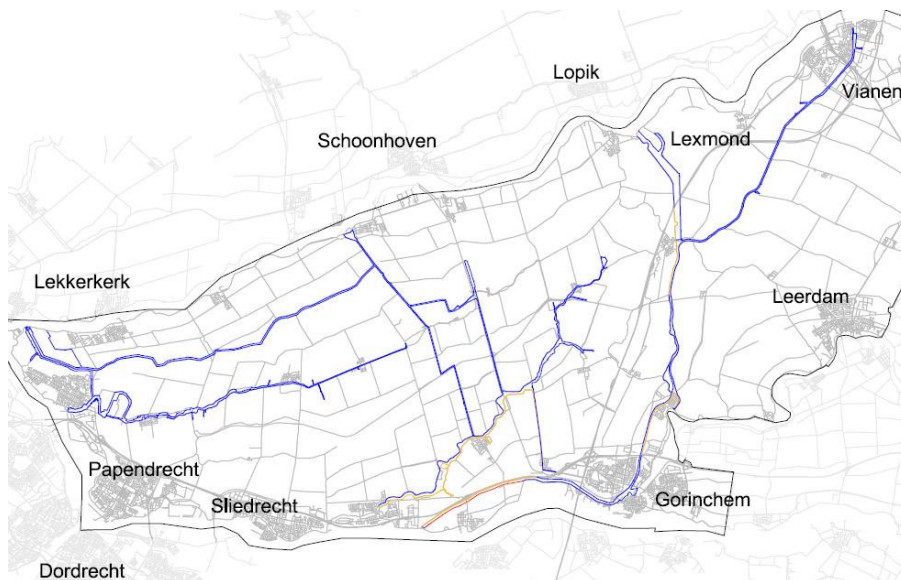
Boezem	Oppervlak (m <sup>2</sup> )
Nederwaard L	790000
Nederwaard H	150000
Overwaard L	1460000
Overwaard H	850000
totaal	3250000

Tabel 3-2: Boezemwateroppervlak.

Rondom de boezemsystemen liggen kaden (Figuur 3-2). De totale lengte van de boezemkaden is 244 km verdeeld in 69 kadevakken. Een kadevak wordt gedefinieerd als een deel van de kade dat uniform is opgebouwd en dat grenst aan één overstromingscompartiment [Kolen et al., 2004]. De kades hebben de volgende hoogtes:

- Merwedekanaal: NAP +1,80 m
- Kanaal van Steenenhoek: NAP +3,00 m
- Lage boezem Nederwaard: NAP -0,35 m
- Lage boezem Overwaard: NAP +0,00 m
- Hoge boezem Nederwaard: NAP +0,50 m
- Hoge boezem Overwaard: NAP +1,25 m

In de Neder- en Overwaard wordt rekening gehouden met circa 20 cm verzakking van de kades ten opzichte van de keurhoogte (aanname gemaakt in overleg met Stefan van den Berg, WS Rivierenland).



Figuur 3-2: Boezemkaden Alblasserwaard en Vijfheerenlanden.

### 3.3 Risico behorende bij regionale keringen

#### 3.3.1 Toetsing zonder maalstop

##### Overstromingskans

Bij de toetsing van kades [Kolen et al., 2004] is de waterstand als gevolg van neerslag (inclusief beginsituatie van de bodem en het verloop van de benedenstroomse waterstand) als maatgevend gesteld voor de herhalingsstijd (terugkeertijd van 10, 30, 100, 300 en 1000 jaar). Bovenop deze waterstand is de maximale windopzet bepaald bij een windsnelheid en richting die ééns in de vijf dagen voorkomt. Een extra waakhoogte is toegevoegd om rekening te houden met onzekerheden en golfploop<sup>5</sup>. De resulterende waterstand is de toetshoogte.

De kadevakken die niet voldoen aan de vereiste kruinhoogte staan weergegeven in Tabel 3-3. Het betreft de kades die niet voldeden bij de toetsing [Kolen et al., 2004] plus de kade AVk007 die niet voldoet bij 20 cm verzakking in de Neder- en Overwaard. De kades die niet voldoen zijn geconcentreerd rondom de Boezem van de Nederwaard [Kolen et al., 2004]. Daarnaast voldoet ook de oostelijke kade langs de Hoge Boezem van de Overwaard niet. De toetshoogte van deze laatste kade wordt gedomineerd door de benodigde waakhoogte in verband met golfploop.

Kadevak	Kruinhoogte (m + NAP)	Toetshoogte (m + NAP)	T <sub>kruinhoogte</sub> (jaar)
AVk002	-0,55	-0,30	1,75
AVk003	-0,55	0,02	0,23
AVk004	-0,55	-0,28	1,34
AVk015	-0,55	0,18	0,01
AVk047	-0,55	-0,14	0,32
AVk048	-0,55	-0,24	0,91
AVk049	-0,55	0,01	0,07
AVk051	-0,55	-0,23	0,65
AVk052	1,05	2,07	- <sup>6</sup>
AVk055	-0,55	-0,29	1,55
AVk056	-0,55	-0,28	1,39
AVk007	-0,2	-0,14	17,18

Tabel 3-3: Kans op overstroming bij actuele kruinhoogte. T is de herhalingsstijd. De eerste 11 kadevakken voldeden niet bij normering [Kolen et al., 2004]. Kade Avk007 is hieraan toegevoegd omdat deze bij 20 cm verzakking ook niet aan de norm voldoet.

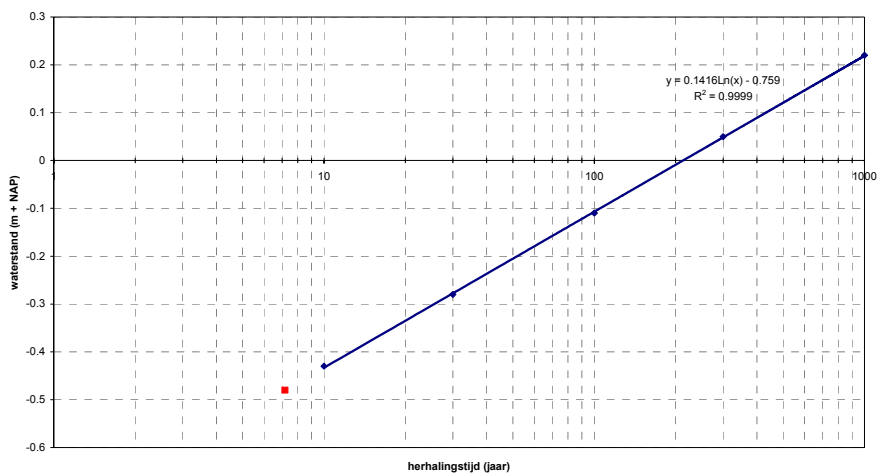
Rondom de Nederwaard treden hoge waterstanden op omdat geen rekening is gehouden met eenmaalstop op de boezem [Kolen et al., 2004]. Hierdoor kan de waterstand verder stijgen dan in de praktijk zal gebeuren en zal dit leiden tot een hogere toetshoogte waaraan de kadevakken moeten voldoen. Bij een hogere waterstand dan NAP – 0,80 m wordt normaal gesproken een maalstop afgekondigd.

<sup>5</sup> Laatste inzichten wijzen erop dat de waterstanden, met name als gevolg van windopzet, hoger uitvallen.

<sup>6</sup> Voor deze kruinhoogte kan geen herhalingsstijd bepaald worden omdat de waterstandstatistiek constant is (1 waterstand voor alle herhalingsstijden).

Dynamische berekeningen zijn uitgevoerd voor drie kadedoorbraken (Nieuw-Lekkerland, Ablasterdam en Giessen Nieuwkerk) om de effecten op de boezemwaterstand te analyseren [Kolen et al., 2004]. De waterstand daalt sterk, in het eerste uur 30 tot 50 cm (afhankelijk van de locatie ten opzichte van de bres).

De waterstandstatistiek (exclusief windopzet en waakhoogte) bepaald in [Kolen et al., 2004] is per locatie beschreven met een logaritmische curve (Figuur 3-3). Deze waterstatistiek wordt gebruikt om de herhalingstijd van waterstanden op actuele kruinhoogte te bepalen voor kades die niet aan de norm voldoen. Om deze vergelijking te maken moet er gecorrigeerd worden voor windopzet en waakhoogte (dit wordt van de actuele kruinhoogte afgetrokken). Hierbij wordt aangenomen dat windopzet en waakhoogte per locatie onafhankelijk zijn van de waterstand als gevolg van neerslag. Resulterende herhalingstijden op actuele kruinhoogte zijn weergegeven in Tabel 3-3. De kades die niet voldoen bij toetsing hebben een grotere kans op falen en dan aangegeven in de norm.



Figuur 3-3: Waterstandstatistiek: herhalingstijd van waterstanden als gevolg van neerslag en boezembeheer.

## Schade

Schadeberekeningen zijn bij de normering gemaakt voor overstromingscompartimenten met HIS-SSM (versie 2.02) [Kolen et al., 2004]. Hierbij wordt uitgegaan van het volledig falen van de kade<sup>7</sup>. De resulterende schade voor kadevakken die niet voldoen aan de norm is weergegeven in Tabel 3-4.

De schade die optreedt achter kades die niet aan de norm voldoen, zal iets lager zijn dan de schade opgegeven bij de normering. Immers, bij een lagere waterstand op de boezem zullen ook lagere waterstanden optreden in de polders bij overstroming. Het oppervlak van inundatie zal echter niet veel veranderen (over het algemeen zijn er weinig hoogteverschillen) en daarom wordt aangenomen dat de schade gelijk blijft.

## Risico

Risico, in Jaarlijks Verwachte Schade, is weergegeven in Tabel 3-4 voor kadevakken die niet aan de norm voldoen. Wanneer uitgegaan wordt van de actuele kruinhoogte is kade AVk015 de

<sup>7</sup> Bij het waterschap vraagt men zich af of overschrijding van de kadehoogte daadwerkelijk leidt tot het falen of beperkte overstroming waarbij de kade niet bezijkt.

eerste die overstroomt (maatgevend) vanwege de korte herhalingstijd. Het extrapoleren van waterstandstatistiek bij lage herhalingstijden (meermalen per jaar!) kan echter leiden tot een aanzienlijke fout. De herhalingstijd en resulterende JVS van deze kade zijn onbetrouwbaar. Bij het bepalen van het risico op falen van de regionale keringen wordt een minimumkans aangehouden van één keer per jaar (Tabel 3-4). Dit sluit aan bij de kennis en ervaring van beheerders en lijkt bij het uitkeren van schadevergoedingen door het waterschap een reëel minimum.

De gemiddelde jaarlijks verwachte schade van de kades die niet aan de norm voldoen wordt genomen als maatgevend voor het systeem. Het zijn allen 'kritische kades' met dezelfde kans op falen. Een gemiddelde wordt genomen om de fout als gevolg van onnauwkeurige brongegevens (kruinhoogte) en met name de beperkingen van de methode (extrapolatie) te beperken.

Als een van deze kades faalt zal het water in de boezem snel dalen en andere kades behoeden voor overstroming. Vandaar dat de risico's niet opgeteld worden.

Kadevak	T <sub>kruinhoogte</sub> (jaar)	Schade (miljoen €)	JVS <sub>kruinhoogte</sub> (miljoen €)
AVk002	1,75	0,01	0,01
AVk003	1,00	9,43	9,43
AVk004	1,34	1,13	0,85
AVk015	1,00	14,38	14,38
AVk047	1,00	1,55	1,55
AVk048	1,00	1,55	1,55
AVk049	1,00	1,55	1,55
AVk051	1,00	1,55	1,55
AVk052	-	25,21	-
AVk055	1,55	3,86	2,49
AVk056	1,39	3,86	2,78
Avk007	17,18	17,86	1,04
<b>gemiddelde</b>			<b>3,4</b>

Tabel 3-4: Schade en risico bij kruinhoogte en maalstoppeil. T is de herhalingstijd, welke is aangepast tot een minimum van 1 jaar.

De gemiddelde JVS van de kades van de Nederwaard, die niet aan de norm voldoen, bedraagt 3,4 miljoen € op actuele kruinhoogte. De Overwaard en Vijfheerenlanden voldoen aan de normering en hebben een JVS van 0,4 miljoen €. Gezamenlijk bedraagt het risico op overstroming uitgaande van de toetsing zonder maalstoppeil 4,2 miljoen €.

### 3.3.2 Toetsingsresultaat met maalstop

#### Overstromingskans

Bij het beheer van het boezemsysteem wordt gebruik gemaakt van maalstops. Een maalstop wordt ingesteld op basis van de waterstand. Aangepaste toetshoogtes zijn berekend, gebruik makend van maalstoppeilen (in plaats van de waterstandstatistiek) om te bepalen welke kades alsnog niet voldoen bij het hanteren van een maalstoppeil. De resultaten staan weergegeven in Tabel 3-5 (kades die niet voldoen zijn rood).

Kadevak	Kruinhoogte (m + NAP)	Maalstoppeil (m + NAP)	Toetshoogte maalstop (m + NAP)
Avk002	-0,55	-0,80	-0,67
Avk003	-0,55	-0,80	-0,59
Avk004	-0,55	-0,80	-0,68
Avk015	-0,55	-0,80	-0,49
Avk047	-0,55	-0,80	-0,61
Avk048	-0,55	-0,80	-0,67
Avk049	-0,55	-0,80	-0,49
Avk051	-0,55	-0,80	-0,64
Avk052	1,05	0,90	2,67
Avk055	-0,55	-0,80	-0,67
Avk056	-0,55	-0,80	-0,67
Avk007	-0,20	-0,31	-0,08

Tabel 3-5: Kans op overstroming bij (actuele) kruinhoogte en het hanteren van een maalstoppeil. Kades weergegeven in rood falen al voordat het maalstoppeil bereikt is (toetshoogte > maalstoppeil).

#### Risico

Kades die niet voldoen bij het hanteren van een maalstoppeil krijgen een herhalingstijd behorende bij de kruinhoogte toegewezen (bij deze hoogte falen ze) in Tabel 3-6. Kades die wel voldoen bij een maalstoppeil hebben een JVS van nul. Er wordt aangenomen dat de waterstandstatistiek het maalstoppeil niet overschrijdt en dat de constante windopzet en waakhoogte onvoldoende zijn om het water over de kade heen te laten gaan. Deze kades worden wel meegenomen in het bepalen van een gemiddelde (maatgevende) JVS.

De gemiddelde JVS van de kades van de Nederwaard is bij het hanteren van een maalstop 1,5 miljoen €. De maalstop ontziet met name de overstromingsgebieden met geringe schade en in mindere mate de gebieden met potentieel hoge schade. Het risico op overstroming van de boezemstelsels van de Overwaard en Vijfheerenlanden is nul, uitgaande van de gebruikte methode en handhaving van het maalstoppeil.

Kadevak	T <sub>kruinhoogte bij maalstop</sub> (jaar)	Schade (miljoen €)	JVS <sub>maalstop</sub> (miljoen €)
AVk002	1,75	0,01	0,0
AVk003	1,00	9,43	0,0
AVk004	1,34	1,13	0,0
AVk015	1,00	14,38	14,38
AVk047	1,00	1,55	0,0
AVk048	1,00	1,55	0,0
AVk049	1,00	1,55	1,55
AVk051	1,00	1,55	0,0
AVk052	-	25,21	-
AVk055	1,55	3,86	0,0
AVk056	1,39	3,86	0,0
Avk007	17,18	17,86	1,04
<b>gemiddelde</b>			<b>1,5</b>

Tabel 3-6: Schade en risico bij kruinhoogte en maalstoppeil. Kades weergegeven in rood falen al voordat het maalstoppeil bereikt is (toetshoogte > maalstoppeil). T is de herhalingsstijd.

### 3.3.3 Normering

#### Overstromingskans en schade

In 2004 is de normering en toetsing van de boezemkades in dijkkring 16 afgerond [Kolen et al., 2004]. Voor de Nederwaard is een aanvullende scenario normering boezemkaden uitgevoerd om de invloed op de normering en toetsing van aanpassing van de inzet van gemaal Nederwaard te bepalen [Braak, 2005].

De normering is uitgevoerd volgens de verbeterde methode van de IPO-richtlijn (Fugro 1998 a en b). In de methode is de norm die aan een kering wordt toegekend gekoppeld aan de schade die in het achterliggende gebied ontstaat. De klassenindeling die hierbij wordt gehanteerd is opgenomen in Tabel 3-7.

Veiligheidsklasse	Directe economische gevolgschade (miljoen €)	Gemiddelde terugkeertijd: T <sub>norm</sub> (jaar)
I	0 – 8	10
II	8 – 25	30
III	25 – 80	100
IV	80 – 250	300
V	>250	1000

Tabel 3-7: Klassenindeling boezemkade normering.

Inundatiegebieden zijn bepaald door het waterschap op basis van keringen en waterkerende elementen (al dan niet in beheer van het waterschap). Voor deze gebieden is gecontroleerd of er geen overstroming naar andere gebieden plaatsvindt op basis van de hoogtekkaart gekeken en inundatiedieptes die optreden [Kolen et al., 2004].

## Risico

Risico is de kans op falen maal de schade die daarbij optreed. Bij de normering zijn kans en risico direct gerelateerd aan elkaar. Het bereik van de Jaarlijks Verwachte Schade is constant voor de verschillende veiligheidsklassen (Tabel 3-8). Dit is dan ook het uitgangspunt bij de normering.

Veiligheidsklasse	Directe economische gevolgschade (mln €)	Gemiddelde terugkeertijd: T <sub>norm</sub> (jaar)	Risico JVS (mln €)
I	0 – 8	10	0,00 - 0,80
II	8 – 25	30	0,27 - 0,83
III	25 – 80	100	0,25 - 0,80
IV	80 – 250	300	0,27 - 0,83
V	>250	1000	> 0,25

Tabel 3-8: Klassenindeling boezemkade normering en bijbehorend risico.

Per kade en overstromingsgebied is het jaarlijks verwachte risico gemiddeld 0,4 miljoen €. Slechts één kade (hoogstwaarschijnlijk met veiligheidsklasse I) zal per boezemsysteem doorbreken. Na doorbraak zal de waterstand in de boezem dalen waardoor andere kades niet overstromen (systeemwerking). Dit geldt voor alle drie boezemsystemen, waardoor het gezamenlijk risico 1,2 miljoen € bedraagt voor het hele gebied.

## 3.4 Risico behorende bij het regionaal watersysteem

### 3.4.1 Toetsing

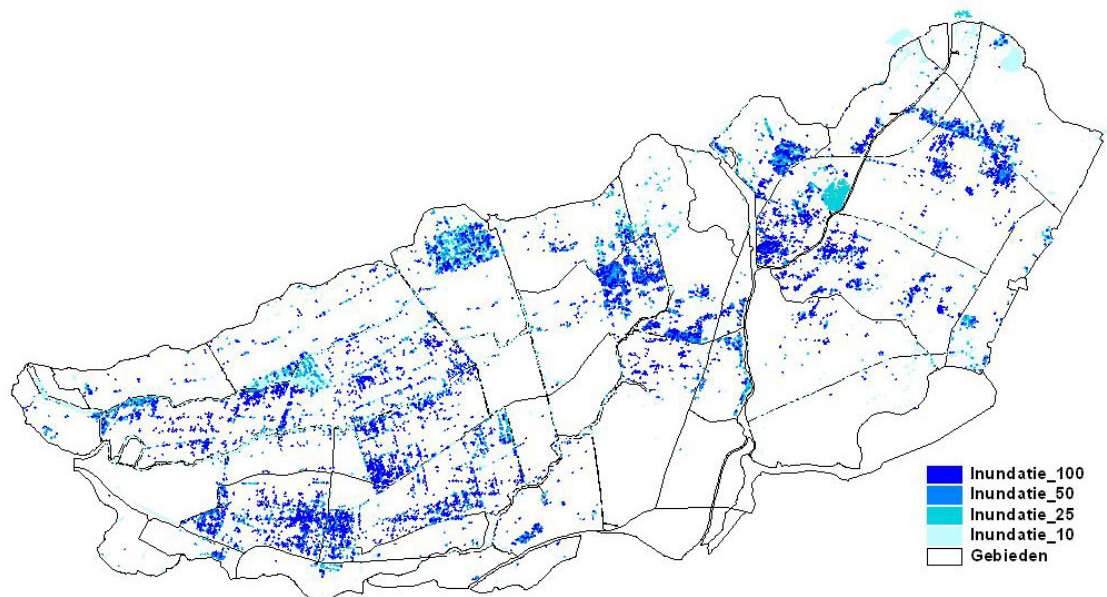
#### Overstromingskans

[Buitelaar, 2006] heeft het regionaal watersysteem (polders) van de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden getoetst aan de NBW normen (Tabel 3-9). Hiervoor zijn ontwerpbuien doorgerekend met DUFLOW modellen om de inundatie in het gebied te bepalen.

Grondgebruik	Maaiveldcriterium (%)	Terugkeertijd (jaar)
Grasland	5	10
Akkerbouw	1	25
Hoogwaardige land- en tuinbouw	1	50
Bebouwd gebied	0 <sup>8</sup>	100

Tabel 3-9: NBW normen.

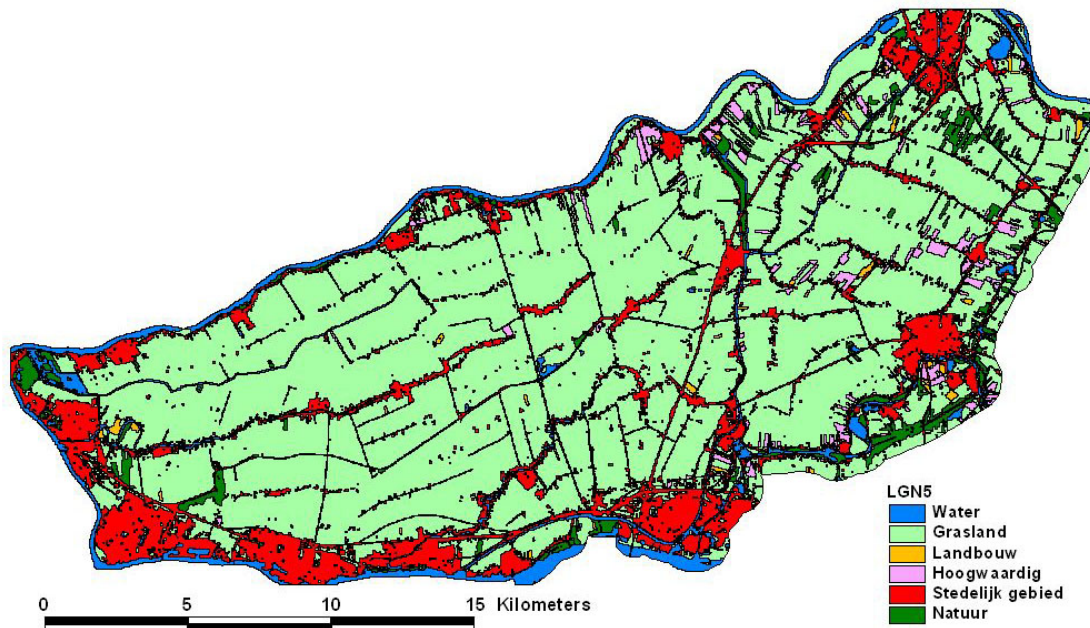
In Figuur 3-4 wordt de inundatie weergegeven bij de herhalingstijden behorende bij de NBW norm. In Figuur 3-5 wordt het geclassificeerde landgebruik (LGN5) van het gebied weergegeven.



Figuur 3-4: Inundatie bij herhalingstijden 10, 25, 50 en 100 jaar.

<sup>8</sup> Wegens onnauwkeurigheden in het AHN is een maaiveldcriterium van 1% gehanteerd.





Figuur 3-5: Geclassificeerd grondgebruik; LGN5.

Inundatieoppervlakken behorende bij de normklassen en per type grondgebruik zijn bepaald aan de hand van de toetsing (Tabel 3-10).

	$T_{inundatie}$ (1/jaar)	Grasland (ha)	Akkerbouw (ha)	Hoogwaardig (ha)	Bebouwing (ha)
Nederwaard	10	120,0	0,3	0,6	16,5
	25	192,4	0,8	0,7	22,4
	50	332,4	1,0	1,0	28,3
	100	552,5	1,2	1,4	34,5
Overwaard	10	246,8	0,2	3,1	12,5
	25	376,6	0,4	3,5	15,5
	50	523,2	0,8	4,1	19,3
	100	650,8	1,0	4,5	23,0
Vijfheerenlanden	10	75,5	0,7	11,6	28,0
	25	191,7	1,6	15,6	31,7
	50	280,4	2,3	20,4	34,1
	100	436,3	3,3	28,0	36,5

Tabel 3-10: Inundatieoppervlakken behorende bij de herhalings tijden van de normklassen, per grondgebruik en boezemsysteem.

**Schade**

Schadegetallen voor de inundatie van verschillende grondgebruiken zijn afkomstig van het WB21 schademodel [van der Bolt en Kok, 2000] en staan weergegeven in Tabel 3-11. Het schademodel is opgesteld bij de systematiek die heeft geleid tot de Basisnormen (vastgestelde NBW werknormen) voor overlast vanuit het regionale watersysteem.

Grondgebruik	Schade (Euro/ha)
Grasland	1000
Akkerbouw	4000
Hoogwaardig	135000
Bebouwd	246000

Tabel 3-11: Schadegetallen per type grondgebruik.

In de schadegetallen afkomstig van WB21 is onderscheid gemaakt tussen hoogwaardige landbouw en glastuinbouw (deze valt onder hoogwaardig bij de toetsing). De schadegetallen die hierbij horen zijn respectievelijk 2 en 25 €/m<sup>2</sup>. Bij de schadebepaling op basis van de NBW normen is gekozen voor een gemiddelde 13,5 €/m<sup>2</sup>.

Voor bebouwd gebied houdt de WB21 rekening met maximale schade van 246 €/m<sup>2</sup>. Dit treedt op bij inundatie van 1 meter. Daarbij wordt uitgegaan van een lineair schade verloop met waterdiepte. De schade bij een waterstand van ongeveer 10 cm, het bereik waarin wateroverlast plaats vindt, is 24,6 €/m<sup>2</sup>.

De schade als gevolg van inundatie zoals bepaald in de toetsing is weergegeven in Tabel 3-12.

	T <sub>inundatie</sub> (1/jaar)	Grasland (mln €)	Akkerbouw (mln €)	Hoogwaardig (mln €)	Bebouwing (mln €)	Totale Schade (mln €)
Nederwaard	10	0,12	0,00	0,08	4,07	4,26
	25	0,19	0,00	0,09	5,50	5,79
	50	0,33	0,00	0,14	6,95	7,42
	100	0,55	0,00	0,19	8,48	9,23
Overwaard	10	0,25	0,00	0,42	3,07	3,74
	25	0,38	0,00	0,48	3,81	4,66
	50	0,52	0,00	0,55	4,76	5,84
	100	0,65	0,00	0,60	5,65	6,91
Vijfheerenlanden	10	0,08	0,00	1,57	6,89	8,54
	25	0,19	0,01	2,10	7,81	10,10
	50	0,28	0,01	2,76	8,39	11,44
	100	0,44	0,01	3,78	8,99	13,21

Tabel 3-12: Schade bij inundatie uitgaande van toetsing zonder maalstop.

### Risico

Risico kan worden uitgedrukt in euro per jaar en is gelijk aan de Jaarlijks Verwachte Schade. Deze wordt als volgt berekend:

$$R = \frac{1}{T_n} \times S(T_n) + \dots + \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \times \frac{S(T_2) + S(T_1)}{2}$$

waarin,

- $R$  = risico in euro per jaar  
 $T_{1,n}$  = herhalingstijd van de kleinste tot  $n$ , de grootste (100 jaar)  
 $S(T_n)$  = schade behorende bij herhalingstijd  $T_n$

Het watersysteem is ontworpen om op jaarlijkse basis het overtollige water af te voeren zonder dat daarbij wateroverlast en schade optreedt. Als uitgangspunt voor de berekening van het risico (Jaarlijks Verwachte Schade) wordt dan ook gesteld dat er nul schade is bij een herhalingstijd van 1 jaar.

De Jaarlijks Verwachte Schade bedraagt:

Nederwaard:	2,53 miljoen €
Overwaard:	2,17 miljoen €
Vijfherenlanden:	4,87 miljoen €
<b>Totaal:</b>	<b>9,6 miljoen €</b>

### 3.4.2 Toetsing met maalstop

#### Overstromingskans

Het hanteren van maalstops heeft als gevolg dat de boezemwaterstanden beperkt worden (maalstoppeilen zijn weergegeven in Tabel 3-1). Dit leidt tot een vermindering van de bergingscapaciteit van de boezem (product van de verlaging van de waterstand met het boezemoppervlak). Deze vermindering wordt gecompenseerd door een toename van de berging in het regionaal watersysteem (extra wateroverlast in polders). In de Nederwaard leidt dit tot de onderstaande hoeveelheden (Tabel 3-13).

Herhalingstijd [jaar]	Waterstand – Maalstoppeil [m]	Boezem Oppervlak [m <sup>2</sup> ]	Te Bergen Volume Water [m <sup>3</sup> ]
10	0,44	790000	347600
30	0,57	790000	453500
100	0,72	790000	568800

Tabel 3-13: Overtollig water dat niet op de boezem maar in de polder geborgen moet worden als gevolg van het hanteren van het maalstoppeil (Nederwaard).

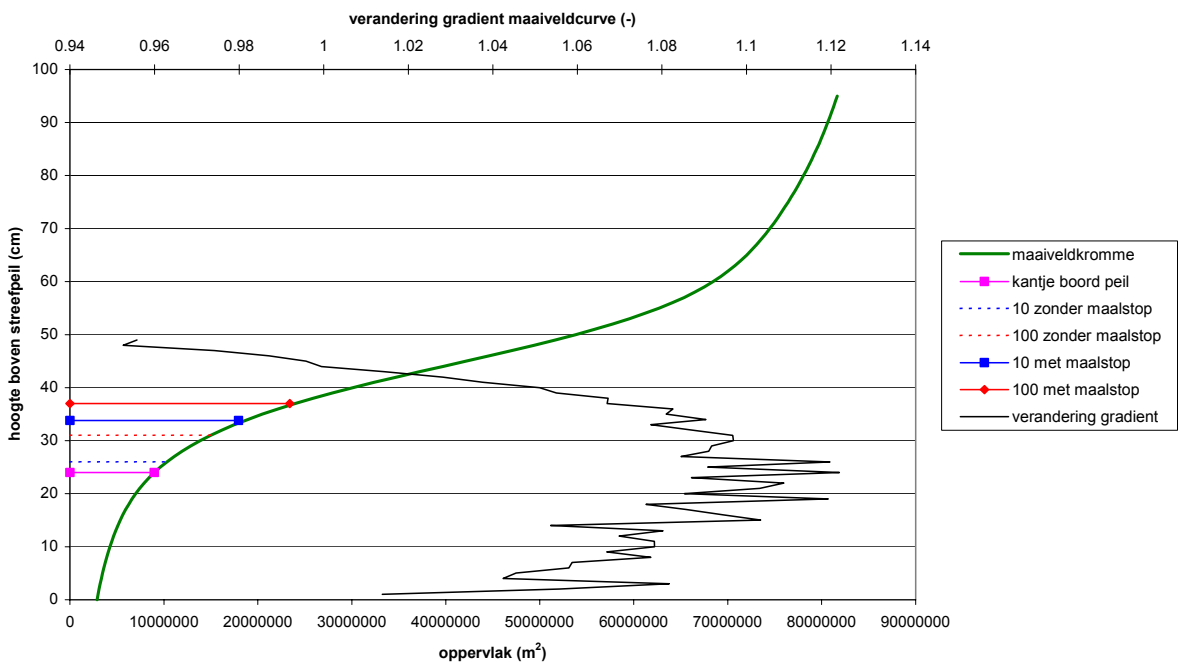
Het verschil tussen waterstand en maalstoppeil is gemiddeld voor de kades die niet voldoen aan de normering. Deze kades zijn beperkend voor de bergingscapaciteit van de boezem, waardoor een maximaal volume te bergen water bepaald wordt. Een integrale afname in waterstand over de boezem wordt aangenomen. In werkelijkheid is dit een overschatting omdat er sprake is van een vermindering van verhang als gevolg van boezembemaling (bij gemalen zal de waterstand niet of weinig veranderen). Tevens wordt aangenomen dat het wateroppervlak is constant met hoogte. Dat wil zeggen dat de kades vertikaal zijn en er geen sprake is van droogvallend boezemland.

De waterstanden in de Overwaard en Vijfheerenlanden behorende bij herhalingstijden tot 100 jaar blijven onder het maalstoppeil. Dit betekent dat de bergingscapaciteit van de boezem niet vermindert omdat in de praktijk het maalstoppeil niet bereikt wordt.

De inundatieoppervlakken bepaald in de toetsing (hoofdstuk 3.4.1) zijn via een maaiveldkromme van de Nederwaard (Figuur 3-6) omgezet naar volumes. De volumes die niet in de boezem geborgen kunnen worden als gevolg van een maalstop, zijn per herhalingstijd hierbij opgeteld zoals weergegeven in Tabel 3-14 (voor de herhalingstijden 25 en 50 jaar is de volume behorende bij de maalstop lineair geïnterpoleerd). De totale volume die geborgen moet worden in de polders is gebruikt om inundatie en schade te bepalen.

Herhalingstijd [jaar]	Volume behorende bij toetsing [m <sup>3</sup> ]	Volume behorende bij maalstop [m <sup>3</sup> ]	Totaal volume [m <sup>3</sup> ]	Totaal oppervlak [ha]
10	13900	347600	361500	896,1
25	31800	384467	416300	980,2
50	80500	445911	526400	1134,0
100	183500	568800	752300	1440,1

Tabel 3-14: *Samenvoegen wateroverlast als gevolg van toetsing en wateroverlast als gevolg van maalbeperking (hanteren maalstoppeil).*



Figuur 3-6: *Toename van wateroverlast in grasland van de Nederwaard als gevolg van het hanteren van een maalstoppeil.*

### Schade

Aangenomen wordt dat het overtollige water evenredig geborgen wordt op de grondgebruiksklassen (90,4% grasland, 0,3% akkerbouw, 0,3% hoogwaardig en 9,0% bebouwing). De toename in wateroverlast als gevolg van de maalstop is weergegeven in Figuur 3-6 en Tabel 3-15.

	T <sub>inundatie</sub> (1/jaar)	Grasland (ha)	Akkerbouw (ha)	Hoogwaardig (ha)	Bebouwing (ha)
Nederwaard	10	<b>810,0</b>	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>	<b>80,6</b>
	25	<b>886,1</b>	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>	<b>88,2</b>
	50	<b>1030,5</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>	<b>102,6</b>
	100	<b>1301,9</b>	<b>4,3</b>	<b>4,3</b>	<b>129,6</b>
Overwaard	10	246,8	0,2	3,1	12,5
	25	376,6	0,4	3,5	15,5
	50	523,2	0,8	4,1	19,3
	100	650,8	1,0	4,5	23,0
Vijfheerenlanden	10	75,5	0,7	11,6	28,0
	25	191,7	1,6	15,6	31,7
	50	280,4	2,3	20,4	34,1
	100	436,3	3,3	28,0	36,5

Tabel 3-15: Inundatieoppervlakken behorende bij de herhalingsstijden van de normklassen uitgaande van het hanteren een maalstoppeil, per grondgebruik en boezemsysteem. De toegenomen wateroverlast als gevolg van het hanteren van het maalstoppeil in de Nederwaard is dikgedrukt.

De schade als gevolg van inundatie bij het hanteren van een maalstoppeil is op dezelfde wijze bepaald als in paragraaf 3.4.1 en weergegeven in Tabel 3-16.

	T <sub>inundatie</sub> (1/jaar)	Grasland (mln €)	Akkerbouw (mln €)	Hoogwaardig (mln €)	Bebouwing (mln €)	Totale Schade (mln €)
Nederwaard	10	<b>0,81</b>	<b>0,01</b>	<b>0,36</b>	<b>19,84</b>	<b>21,02</b>
	25	<b>0,89</b>	<b>0,01</b>	<b>0,40</b>	<b>21,70</b>	<b>23,00</b>
	50	<b>1,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,46</b>	<b>25,24</b>	<b>26,74</b>
	100	<b>1,30</b>	<b>0,02</b>	<b>0,58</b>	<b>31,88</b>	<b>33,79</b>
Overwaard	10	0.25	0.00	0.42	3.07	3.74
	25	0.38	0.00	0.48	3.81	4.66
	50	0.52	0.00	0.55	4.76	5.84
	100	0.65	0.00	0.60	5.65	6.91
Vijfheerenlanden	10	0.08	0.00	1.57	6.89	8.54
	25	0.19	0.01	2.10	7.81	10.10
	50	0.28	0.01	2.76	8.39	11.44
	100	0.44	0.01	3.78	8.99	13.21

Tabel 3-16: Schade bij inundatie uitgaande van toetsing met maalstops.

## Risico

Het risico, in de vorm van de Jaarlijks verwachte schade is op dezelfde wijze bepaald als in paragraaf 3.4.1.

De Jaarlijks Verwachtte Schade bedraagt:

Nederwaard:	11,92 miljoen €
Overwaard:	2,17 miljoen €
Vijfherenlanden:	4,87 miljoen €
<b>Totaal:</b>	<b>19,0 miljoen €</b>

### 3.4.3 Normering

#### Overstromingskans en schade

Inundatieoppervlakken bij herhalingstijden behorende bij de NBW norm (10, 25, 50 en 100 jaar) zijn bepaald door [Buitelaar, 2006], hoofdstuk 3.4.1. Ervan uitgaande dat het gebied voldoet aan de norm (Tabel 3-9) treedt er geen inundatie op in grasland bij een herhalingstijd van 10 jaar, in akkerbouw bij een herhalingstijd van 25 jaar, etc . Tabel 3-10 toont aan dat dit in werkelijkheid niet het geval is. Om toch de inundatie en schade te bepalen uitgaande van de norm worden de inundatieoppervlakken in Tabel 3-10 per landgebruik gereduceerd met een constante factor (gelijk aan de inundatie die bij de normfrequentie optreed). Op deze wijze wordt de toename van het inundatieoppervlak, ten opzichte van het inundatieoppervlak behorende bij de norm, per grondgebruik en herhalingstijd bepaald. Bij een herhalingstijd van 25 jaar loopt bijvoorbeeld niet 192,4 ha grasland onder, maar  $192,4 - 120,0 = 72,5$  ha.

De inundatieoppervlakken uitgaande van de normering staan weergegeven in Tabel 3-17. Bij herhalingstijden onder de tien jaar en in bebouwde gebieden treedt geen inundatie op en er is geen sprake van schade.

	T <sub>inundatie</sub> (1/jaar)	Grasland (ha)	Akkerbouw (ha)	Hoogwaardig (ha)	Bebouwing (ha)
Nederwaard	10	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0
	25	72,5	<b>0,0</b>	0,0	0,0
	50	212,5	0,2	<b>0,0</b>	0,0
	100	432,6	0,4	0,4	<b>0,0</b>
Overwaard	10	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0
	25	129,8	<b>0,0</b>	0,0	0,0
	50	276,4	0,4	<b>0,0</b>	0,0
	100	404,1	0,6	0,4	<b>0,0</b>
Vijfheerenlanden	10	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0
	25	116,2	<b>0,0</b>	0,0	0,0
	50	204,8	0,7	<b>0,0</b>	0,0
	100	360,8	1,6	7,5	<b>0,0</b>

Tabel 3-17: Inundatieoppervlakken uitgaande van de norm, per grondgebruik en boezemsysteem. De **norm** is dikgedrukt.

	T <sub>inundatie</sub> (1/jaar)	Grasland (mln €)	Akkerbouw (mln €)	Hoogwaardig (mln €)	Bebouwing (mln €)	Totale Schade (mln €)
Nederwaard	10	<b>0.00</b>	0.00	0.00	0.00	0.00
	25	0.07	<b>0.00</b>	0.00	0.00	0.07
	50	0.21	0.00	<b>0.00</b>	0.00	0.21
	100	0.43	0.00	0.05	<b>0.00</b>	0.49
Overwaard	10	<b>0.00</b>	0.00	0.00	0.00	0.00
	25	0.13	<b>0.00</b>	0.00	0.00	0.13
	50	0.28	0.00	<b>0.00</b>	0.00	0.28
	100	0.40	0.00	0.05	<b>0.00</b>	0.46
Vijfheerenlanden	10	<b>0.00</b>	0.00	0.00	0.00	0.00
	25	0.12	<b>0.00</b>	0.00	0.00	0.12
	50	0.20	0.00	<b>0.00</b>	0.00	0.21
	100	0.36	0.01	1.02	<b>0.00</b>	1.38

Tabel 3-18: Schade bij inundatie uitgaande van de norm.

De schade als gevolg van inundatie, uitgaande van normering, is op dezelfde wijze bepaald als in paragraaf 3.4.1 en weergegeven in Tabel 3-18.

### Risico

Het risico, in de vorm van de Jaarlijks verwachte schade is op dezelfde wijze bepaald als in paragraaf 3.4.1. Nul schade treedt in alle gevallen op bij een herhalingstijd tot 10 jaar.

De Jaarlijks Verwachtte Schade bedraagt:

Nederwaard:	0,01 miljoen €
Overwaard:	0,02 miljoen €
Vijfheerenlanden:	0,03 miljoen €
<b>Totaal:</b>	<b>0,06 miljoen €</b>

## **4 Effecten van maatregelen regionale waterkeringen en regionaal watersysteem**

### **4.1 Inleiding**

Vijf maatregelen zijn gedefinieerd die het risico van overstromingen en wateroverlast van respectievelijk de regionale waterkeringen en het regionale watersysteem reduceren door de kans en/of de schade die optreedt bij het falen van regionale keringen en/of het regionaal watersysteem te reduceren. Het betreft de maatregelen:

1. Ophogen kades tot het niveau van de norm;
2. Berging vergroten door het oppervlak open water in polders uit te breiden met 50%;
3. Verlagen maalstoppeil en uitbreiden van open water in polders om extra overlast in de polders te voorkomen;
4. Verlagen maalstoppeil en het accepteren van extra overlast in de polders;
5. Inzetten inundatiepolder.

### **4.2 Ophogen boezemkades**

#### **4.2.1 Inleiding**

Bij de maatregel ophogen van boezemkades worden de kritieke kades opgehoogd tot normhoogte. Het betreft hier de kades die bij de toetsing in paragraaf 3.3.1 niet voldeden.

#### **4.2.2 Overstromingskans**

De kans op het falen van kades die opgehoogd zijn tot normhoogte is gelijk aan de kans die behoort bij de norm (Tabel 3-8).

De kans op schade in het regionaal watersysteem is gelijk aan de actuele situatie; toetsing met maalstop (zie hoofdstuk 3.4.2).

#### **4.2.3 Schade**

De schade die optreedt bij het falen van kades die opgehoogd zijn tot normhoogte is gelijk aan de schade die behoort bij de norm (Tabel 3-8).

De jaarlijks verwachte schade in het regionale watersysteem is gelijk aan de actuele situatie; toetsing met maalstop (zie hoofdstuk 3.4.2).

#### **4.2.4 Risico**

Het risico behorende bij kades die opgehoogd zijn tot normhoogte is gelijk aan het risico die behoort bij de norm (Tabel 3-8). Het jaarlijks verwachte risico is ongeveer 0,4 miljoen € per boezemsysteem waardoor het gezamenlijke risico 1,2 miljoen € bedraagt.



De jaarlijks verwachte schade in het regionale watersysteem is gelijk aan de actuele situatie; toetsing met maalstop (zie hoofdstuk 3.4.2). Dit bedraagt 19,0 miljoen €.

#### 4.2.5 Kosten

De benodigde kadeverhoging is vermenigvuldigd met de lengte van betreffende kadevakken om tot een totale kadeverhoging te komen. In Tabel 4-1 worden de resultaten weergegeven.

Voor de ophoging is uitgegaan van aarden kades. Deze maatregel wordt algemeen toegepast in onbebouwd gebied ([Bakker en Klopstra, 2007] en [HKV, 2005]), welke kenmerkend is voor de Over- en Nederwaard. De gehanteerde kosten zijn gebaseerd op kentallen uit de GWW Kosten, Kust- en oeverwerken, remming-, aanleg- en geleidewerken, 2005. De totale aanlegkosten van de kadeverhoging bedraagt 14,8 miljoen €.

Voor onderhoudskosten wordt uitgegaan van jaarlijkse kosten van 1% van de aanlegkosten. Deze jaarlijkse onderhoudskosten zijn contant gemaakt over een periode van 50 jaar uitgaande van een discontovoet van 2,5% (zie ook het kader op de volgende pagina). Deze contante waarde geeft het bedrag aan dat nu opzij gezet moet worden om de kosten van aanleg en onderhoud over een periode van 50 jaar te financieren. Dit resulteert in een kostenpost voor onderhoud van 4,2 M€.

Kadevak	Toetshoogte (m + NAP)	Actuele hoogte (m + NAP)	Benodigde kadeverhoging (m)	Lengte kade (km)	Kosten kadeverhoging (M€)
AVk002	-0,3	-0,55	0,25	1,7	0,26
AVk003	0,02	-0,55	0,57	12,9	4,40
AVk004	-0,28	-0,55	0,27	2,9	0,48
AVk015	0,18	-0,55	0,73	6,2	2,70
AVk047	-0,14	-0,55	0,41	3,7	0,92
AVk048	-0,24	-0,55	0,31	1,4	0,25
AVk049	0,01	-0,55	0,56	6,5	2,18
AVk051	-0,23	-0,55	0,32	6,8	1,31
AVk052	2,07	1,05	1,02	2,3	1,41
AVk055	-0,29	-0,55	0,26	2,9	0,45
AVk056	-0,28	-0,55	0,27	2,0	0,32
AVk007	-0,14	-0,2	0,06	3,2	0,12
<b>totaal</b>				<b>52,5</b>	<b>14,8</b>

Tabel 4-1: Benodigde kadeverhoging en een kostenraming.

De totale kosten voor het ophogen van de boezemkaden bedraagt 19 miljoen €.

$$CW = \left( \frac{1 - (1 - r)^n}{r} \right) * Ko$$

waarin:

$CW$  = Contante Waarde van de onderhoudskosten (€)

$r$  = discontovoet

$n$  = aantal jaren, gelijk te stellen aan de afschrijvingstermijn van maatregelen

$Ko$  = Onderhoudskosten (€/jaar)

Uitgegaan wordt van een rentevoet van 2.5% ( $r=0.025$ ) en een afschrijvingstermijn van maatregelen van 50 jaar ( $n=50$ ). Daarmee is de factor waarmee de jaarlijkse kosten van onderhoud wordt vermenigvuldigd gelijk aan 28,7.

## 4.3 Maatregel 50% uitbreiden open water in polders

### 4.3.1 Inleiding

Bij de maatregel 50% uitbreiden open water in polders wordt de bergingscapaciteit van de polders vergroot om overlast in het regionale systeem te voorkomen. De uitbreiding van open water wordt mogelijk gemaakt door de aankoop van grasland.

### 4.3.2 Overstromingskans

De kans op het falen van kades is gelijk aan de kans die behoort bij de toetsing met maalstop (Tabel 3-5).

### 4.3.3 Schade

De schade die optreedt bij het falen van kades is gelijk aan de schade die behoort bij de toetsing met maalstop (Tabel 3-6).

De schade die optreedt in het regionale watersysteem wordt beperkt door de toename van bergingscapaciteit in polders. Het oppervlak open water en de toename hiervan als gevolg van de maatregel staat weergegeven in Tabel 4-2. Uitgaande van een drooglegging van 25 cm is het bergende volume bepaald.

	<b>Oppervlak open water (ha , %)</b>	<b>Toename oppervlak open water (ha)</b>	<b>Toename berging open water (m<sup>3</sup>)</b>
Nederwaard	288,4 (2,9)	144,2	360500
Overwaard	470,3 (3,0)	235,15	587875
Vijfheerenlanden	232,9 (1,8)	116,45	291125

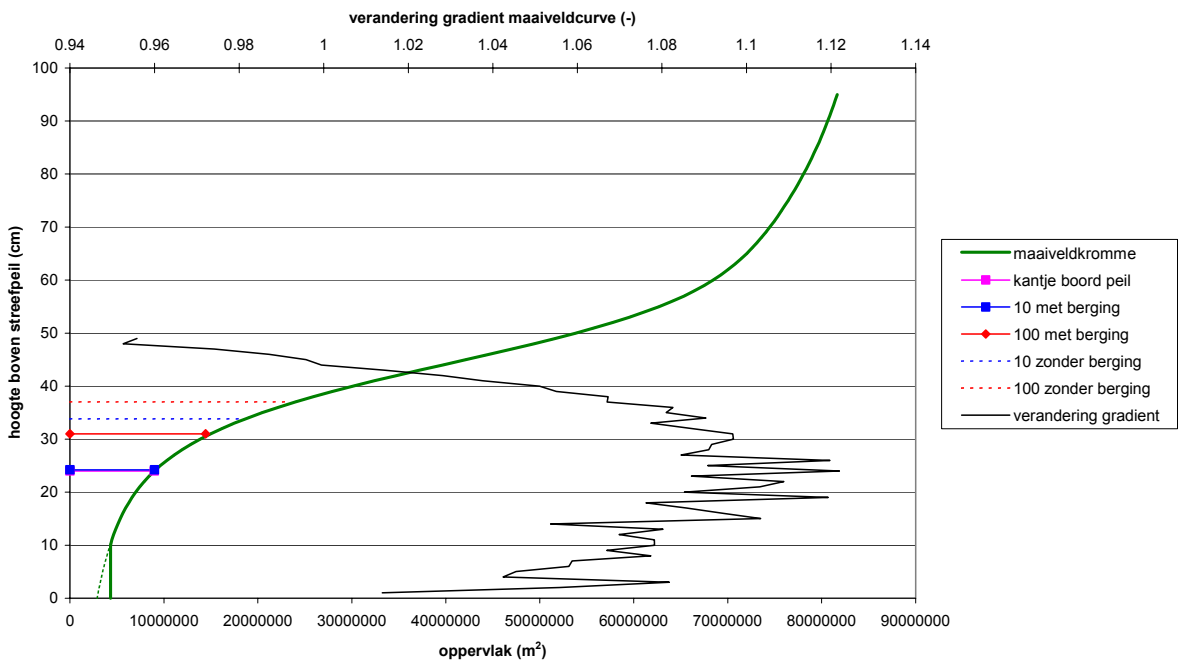
Tabel 4-2: Toename berging in open water.

De volume behorende bij de toetsing (en het hanteren van maalstops in het geval van de Nederwaard) is bepaald door inundatieoppervlakken te vertalen met behulp van maaiveldkrommes. Deze hoeveelheid water is verminderd met het bergende volume van de maatregel (Tabel 4-3). Het resterende volume water is met behulp van maaiveldkrommes weer vertaald naar een inundatieoppervlak.

	$T_{inundatie}$ (1/jaar)	Volume behorende bij toetsing <sup>9</sup> [m <sup>3</sup> ]	Volume toename open water [m <sup>3</sup> ]	Resterend volume [m <sup>3</sup> ]	Resterend oppervlak [ha]
Nederwaard	10	361500	360500	1000	1,5
	25	416300	360500	55800	85,8
	50	526400	360500	165900	245,5
	100	752300	360500	391800	545,7
Overwaard	10	35800	587875	0	0
	25	74300	587875	0	0
	50	131900	587875	0	0
	100	190600	587875	0	0
Vijfheerenlanden	10	10500	291125	0	0
	25	39500	291125	0	0
	50	72100	291125	0	0
	100	145000	291125	0	0

Tabel 4-3: Combineren wateroverlast als gevolg van toetsing (en maalstoppeil) met toegevoegde berging in openwater.

In de Overwaard en Vijfheerenlanden zal de toename van open water inundaties voorkomen. In de Nederwaard blijft nog een beperkte hoeveelheid water die voor overlast in de polders zal zorgen (Tabel 4-4) en (Figuur 4-1).



Figuur 4-1: Afname waterstanden als gevolg van uitbreiding open water in de Nederwaard.

<sup>9</sup> Inclusief volume als gevolg van maalstop

	Tinundatie (1/jaar)	Grasland (mln €)	Akkerbouw (mln €)	Hoogwaardig (mln €)	Bebouwing (mln €)	Totale Schade (mln €)
Nederwaard	10	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04
	25	0,08	0,00	0,04	1,90	2,02
	50	0,22	0,00	0,10	5,44	5,77
	100	0,49	0,01	0,23	12,09	12,82

Tabel 4-4: Schade als gevolg van inundatie in de Nederwaard bij 50% toename van open water.

#### 4.3.4 Risico

Het risico behorende bij kades is gelijk aan de toetsing met maalstop.

De jaarlijks verwachte schade in het regionale watersysteem is 0,4 miljoen €. Deze schade treedt op in de Nederwaard.

#### 4.3.5 Kosten

De kosten voor het kopen van grasland bedragen 28.866 € per hectare (Kadaster, 3<sup>e</sup> kwartaal 2007). Het Kadaster heeft bij het vaststellen van de gemiddelde landelijke prijzen alleen transacties groter dan een hectare meegenomen zonder bebouwing zoals een boerderij of stal.

Het benodigde areaal open water is 495,8 ha. De kosten die verbonden zijn aan het kopen van dit land bedragen 14,3 miljoen €. Er wordt geen rekening gehouden met kosten voor onderhoud of baten in de vorm van bijvoorbeeld recreatie.

## 4.4 Maatregel verlagen maalstoppeil en uitbreiden open water in polders

### 4.4.1 Inleiding

Het maalstoppeil wordt verlaagd in de Nederwaard en Overwaard om het verzakken van de kades te compenseren (zie hoofdstuk 3.2). Voor de Nederwaard geldt een peil van NAP - 1,00 m en de Overwaard NAP - 0,45 m. In het geval van de Nederwaard is het nieuwe peil lager dan het oorspronkelijke streefpeil. Om een toename van wateroverlast in de polders te voorkomen wordt het areaal open water uitgebreid. Deze maatregel combineert aanpassingen bij de regionale keringen en het regionaal watersysteem.

### 4.4.2 Overstromingskans

Bij het instellen van een maalstop worden waterstanden op de boezem beperkt. De herhalingstijd van het optreden van het verlaagde en oorspronkelijke maalstoppeil is bepaald aan de hand van de waterstandstatistiek van boezemlocaties (de herhalingstijd van het maalstoppeil is opgezocht in de logaritmische waterstandstatistiek curve; hoofdstuk 3.3.1). De resultaten staan weergegeven in Tabel 4-5. Uitgangspunt hierbij is dat enkel de waterstand leidt tot de afkondiging van een maalstop (geen windopzet).

Kadevak	Kruinhoogte (m + NAP)	T <sub>maalstop</sub> (jaar)	T <sub>maalstop -20 cm</sub> (jaar)
AVk002	-0,55	0,75	0,18
AVk003	-0,55	0,17	0,03
AVk004	-0,55	0,51	0,12
AVk015	-0,55	0,02	0,00
AVk047	-0,55	0,20	0,04
AVk048	-0,55	0,36	0,08
AVk049	-0,55	0,13	0,02
AVk051	-0,55	0,30	0,05
AVk052	1,05	-	-
AVk055	-0,55	0,65	0,16
AVk056	-0,55	0,58	0,13
AVk007	-0,2	52,84 (30,00)	8,12

Tabel 4-5: Kans op het bereiken van maalstoppeilen in de huidige situatie (op basis van waterstandstatistiek). Voor kadevakken AVk007 is niet het maalstoppeil maar de waterstandstatistiek gehanteerd. In dit geval lag het maalstopniveau boven de waterstand behorende bij de norm (de herhalingstijd van het maalstoppeil staat tussen haakjes aangegeven).

De gemiddelde herhalingstijd van het maalstoppeil is bepaald voor het huidige maalstoppeil en het verlaagde maalstoppeil (-20 cm). Hierbij is de herhalingstijd van kadevak AVk007 buiten beschouwing gelaten omdat deze dusdanig afwijkt van de overige kadevakken en de grote herhalingstijd het onwaarschijnlijk maakt dat deze zal falen.

Voor de Nederwaard gelden de volgende herhalingstijden:

$T_{\text{maalstop}}$  Nederwaard: 0,44 jaar

$T_{\text{maalstop} - 20 \text{ cm}}$  Nederwaard: 0,10 jaar

Het watersysteem is ontworpen om op jaarlijkse basis het overtollige water af te voeren zonder dat daarbij wateroverlast en schade optreedt. Als uitgangspunt voor de berekening van het risico (Jaarlijks Verwachte Schade) wordt dan ook gesteld dat er in de huidige situatie nul schade is in de Nederwaard bij een herhalingstijd van 1 jaar.

Voor de Overwaard geldt dat het verlaagde maalstoppeil een herhalingstijd van meer dan 100 jaar heeft. Het oorspronkelijke maalstoppeil heeft een grotere herhalingstijd en valt daarmee buiten de kans en risicobepaling.

De kans op voorkomen van waterstanden in de boezem wordt gekoppeld aan de kans op het bergen in open water. Bij het bereiken van het verlaagde maalstoppeil is de berging in open water nul. Voor herhalingstijden tussen het verlaagde en oorspronkelijke maalstoppeil zal het maalstoppeil gehandhaafd worden en water geborgen moeten worden in het uitgebreide open water. De kans dat de berging van het openwater volledig benut moet worden is gelijk aan de kans op het bereiken van het huidige maalstoppeil.

De toetshoogten bij een 20 cm verlaging van het maalstoppeil zijn lager dan de actuele kruinhoogten (Tabel 4-5). Er treedt dus geen schade op bij regionale kades. Alleen kade AVk025 langs de hoge boezem van de Overwaard vormt een uitzondering. Omdat de herhalingstijd niet bepaald kan worden wordt uitgegaan van de norm.

Kadevak	Kruinhoogte (m + NAP)	Toetshoogte maalstop - 20 cm (m + NAP)	$T_{\text{maalstop} - 20 \text{ cm}}$ (jaar)
AVk002	-0,55	-0,87	0,18
AVk003	-0,55	-0,79	0,03
AVk004	-0,55	-0,88	0,12
AVk015	-0,55	-0,69	0,00
AVk047	-0,55	-0,81	0,04
AVk048	-0,55	-0,87	0,08
AVk049	-0,55	-0,69	0,02
AVk051	-0,55	-0,84	0,05
AVk052	1,05	2,47	-
AVk055	-0,55	-0,87	0,16
AVk056	-0,55	-0,87	0,13
AVk007	-0,2	-0,28	8,12

Tabel 4-6: Kans op waterstanden (ten opzichte van huidig maalstoppeil).

#### 4.4.3 Schade

De schade die optreedt bij de regionale keringen is nul voor de Nederwaard en Vijfheerenlanden en gelijk aan de norm voor de Overwaard.

De schade die optreedt in het regionaal watersysteem is gelijk aan de actuele situatie bij maalstoppeil (hoofdstuk 3.4.2).

#### 4.4.4 Risico

Het risico behorende bij kades is nul voor de Nederwaard (en Vijfheerenlanden) en gelijk aan de norm, 0,4 miljoen € voor de Overwaard.

De jaarlijks verwachte schade in het regionale watersysteem is gelijk aan de actuele situatie; toetsing met maalstop (zie hoofdstuk 3.4.2). Dit bedraagt 19,0 miljoen €.

#### 4.4.5 Kosten

De kosten voor het kopen van grasland zijn op dezelfde wijze bepaald als in hoofdstuk 4.3.5. Het volume water dat in de polders geborgen moet worden is gelijk aan de verlaging van het maalstoppeil (0,20 m) keer het boezemoppervlak (Tabel 4-7). Zie hierbij ook aannames gemaakt in paragraaf 3.4.1. De drooglegging van grasland is ongeveer 25 cm. In Figuur 4-1 is te zien dat de maaiveldcurve op deze hoogte boven streefpeil een knik maakt (maximale gradiënt).

Boezem	Oppervlak (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Nederwaard L	790000	160000
Nederwaard H	150000	30000
Overwaard L	1460000	290000
Overwaard H	850000	170000
totaal	3250000	650000

Tabel 4-7: Oppervlak en inhoud van de boezemsystemen.

Bij een drooglegging van 25 cm en een benodigd bergingsvolume van ongeveer 650000 m<sup>3</sup> is ongeveer 260 ha grond nodig. De kosten die verbonden zijn aan het kopen van dit land bedragen 7,8 miljoen €. Er wordt geen rekening gehouden met kosten voor onderhoud of baten in de vorm van bijvoorbeeld recreatie.



## 4.5 Maatregel verlagen maalstoppeil en overlast in polders

### 4.5.1 Inleiding

Het maalstoppeil wordt verlaagd om het verzakken van de kades te compenseren. Deze schijf water moet in de polders geborgen worden. Als gevolg van maalstops zal wateroverlast in de polders optreden.

### 4.5.2 Overstromingskans

De kans op het bereiken van het maalstoppeil en het falen van de kades bij het verlaagde maalstoppeil is bepaald in hoofdstuk 4.4.2.

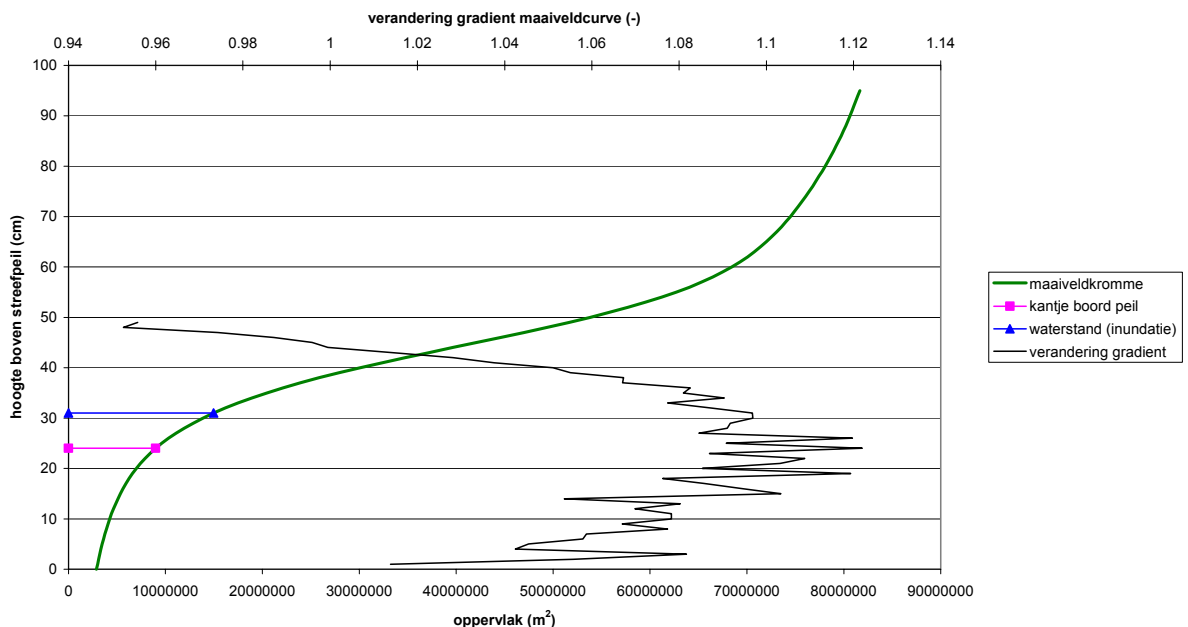
### 4.5.3 Schade

De inundatie in polders en resulterende schade wordt als volgt bepaald:

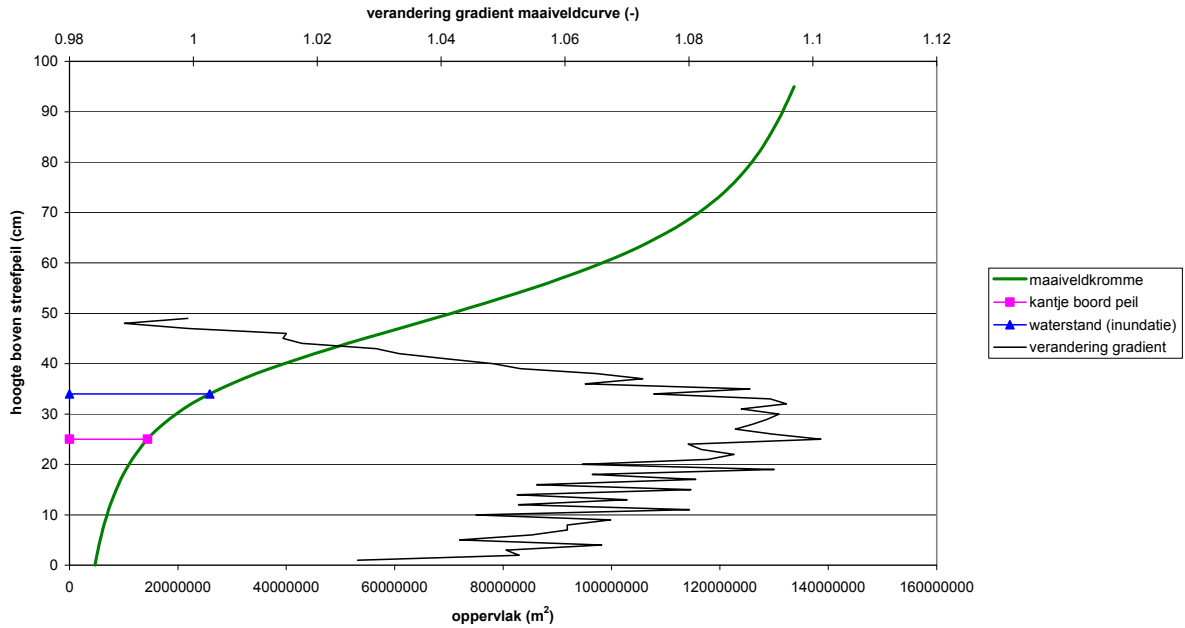
1. Berekenen te bergen volume in de polders (zie hoofdstuk 4.4.5):
2. Bepalen maaiveldcurve.
3. Volume onbenutte berging op de boezem op het maaiveld bergen.

De volume water (Tabel 4-7) wordt geborgen op het maaiveld (Figuur 4-2 en Figuur 4-3). Hierbij wordt aangenomen dat de openwater berging binnen de polders vol zit (dit is te verwachten bij een maalstop). In de maaiveldcurve is dit punt, het zogenaamde kantje-boord peil, herkenbaar als een knik (drooglegging 24 a 25 cm).

4. Schade bepalen. De toename in geïnundeerd oppervlak, vermenigvuldigen met de schade die daarbij optreedt.



Figuur 4-2: Wateroverlast op het maaiveld (grasland) in de Nederwaard.



Figuur 4-3: Wateroverlast op het maaiveld (grasland) in de Overwaard.

Schade zal optreden in een gebied van ongeveer 600 ha in de Nederwaard en 1150 ha in de Overwaard. De maximale waterdiepte is respectievelijk 7 en 9 centimeter. Ondanks de beperkte inundatiediepte treedt maximale schade op als gevolg van hoge grondwaterstanden. Het overtollige water wordt evenredig geborgen over de grondgebruiksklassen (90,4% grasland, 0,3% akkerbouw, 0,3% hoogwaardig en 9,0% bebouwing). De totale schade bedraagt 14,1 miljoen € in de Nederwaard en 26,9 miljoen € in de Overwaard.

	Grasland (mln €)	Akkerbouw (mln €)	Hoogwaardig (mln €)	Bebouwing (mln €)	Totale Schade (mln €)
Nederwaard	0,54	0,01	0,21	13,29	14,1
Overwaard	1,04	0,01	0,41	25,47	26,9

Tabel 4-8: Schade als gevolg van inundatie in de Nederwaard bij verlaging maalstoppeil.

#### 4.5.4 Risico

Het risico behorende bij kades is nul voor de Nederwaard (en Vijfheerenlanden) en gelijk aan de norm, 0,4 miljoen € voor de Overwaard.

De jaarlijks verwachte schade in het regionale watersysteem wordt op dezelfde wijze bepaald als actuele situatie; toetsing met maalstop (zie hoofdstuk 3.4.2). De extra schade als gevolg van maalstops, met bijbehorende herhalingstijden, is hieraan toegevoegd. Deze heeft een herhalingstijd van 1 jaar. Er treedt geen schade op bij kleinere herhalingstijden.

De Jaarlijks Verwachte Schade bedraagt:

Nederwaard:	18,24 miljoen €
Overwaard:	2,58 miljoen €
Vijfherenlanden:	4,87 miljoen €
<b>Totaal:</b>	<b>25,7 miljoen €</b>

#### **4.5.5 Kosten**

Aan deze maatregel zijn geen kosten verbonden.

## 4.6 Maatregel inzetten inundatiepolder

### 4.6.1 Inleiding

Een inundatiepolder wordt ingezet om overstroming vanuit de boezems van de Neder- en Overwaard te voorkomen. Bemalingsgebied Laag-Blokland is gekozen als inundatiegebied en kan water ontvangen vanuit zowel de boezem van de Neder- als de Overwaard. De capaciteit van de inundatiepolder is gelijk aan de verminderde boezemcapaciteit als gevolg van het verzakken van de kades. De methode is gelijk aan het opvangen van water in de polders (hoofdstuk 4.5) alleen wordt het water geconcentreerd in één polder.

### 4.6.2 Overstromingskans

De kans op het inzetten van de inundatiepolder is analoog aan de kans op het afkondigen van een maalstop 20 cm lager dan in de huidige situatie (hoofdstuk 4.4.2).

### 4.6.3 Schade

Het water in de polder wordt geborgen op het land dat niet omringd is met kades (analoog aan de schadebepaling in hoofdstuk 4.5.3), zie Figuur 4-4. Het oppervlak dat geïnundeerd wordt is 264 ha. De maximale inundatiediepte is bijna 70 cm. De resulterende schade bedraagt 0,26 miljoen € die bijna in zijn geheel optreedt in grasland (99%).

### 4.6.4 Risico

Het risico behorende bij kades is nul voor de Nederwaard (en Vijfheerenlanden) en gelijk aan de norm, 0,4 miljoen € voor de Overwaard.

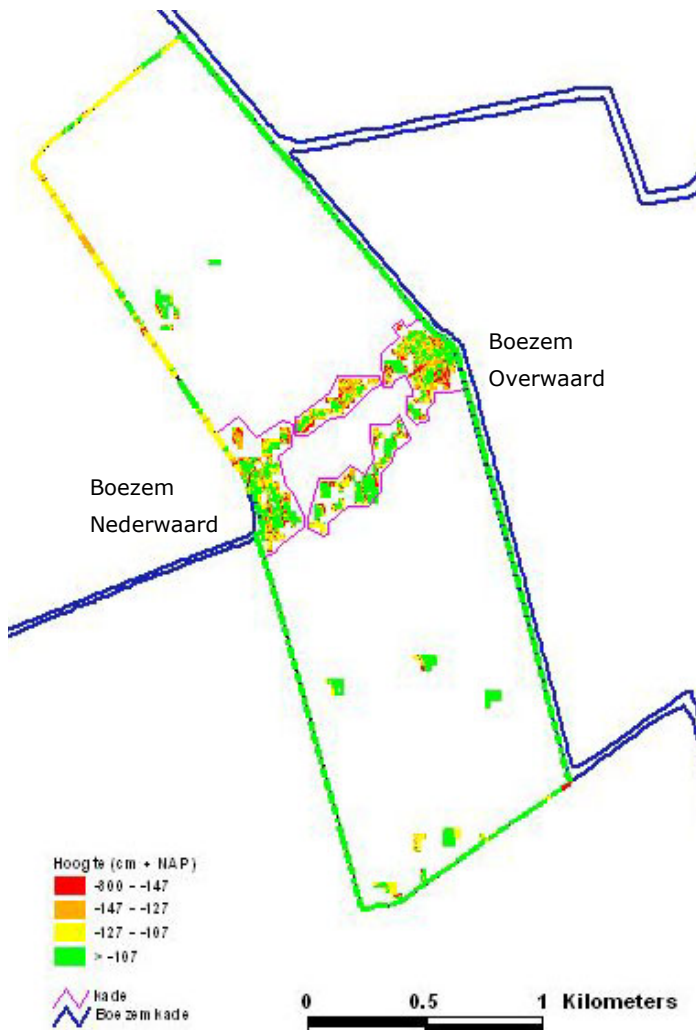
De jaarlijks verwachte schade in het regionale watersysteem wordt op dezelfde wijze bepaald als actuele situatie; toetsing met maalstop (zie hoofdstuk 3.4.2). De extra schade als gevolg van het inzetten van de inundatiepolder, met bijbehorende herhalingstijden, is hieraan toegevoegd.

De Jaarlijks Verwachte Schade bedraagt:

Nederwaard + Overwaard:	5,22 miljoen €
Vijfheerenlanden:	4,87 miljoen €
<b>Totaal</b>	<b>10,1 miljoen €</b>

## 4.6.5 Kosten

### Kades



Figuur 4-4: Maaiveld hoogte in bebouwde gebieden en langs de rand van bemalingsgebied Laag-Blokland. Kades dienen te worden aangelegd op locaties langs de rand van het gebied (waar het maaiveld lager dan NAP – 1,07 is) en rondom de bebouwde kernen.

Kades zijn nodig om de inundatie van bebouwde gebieden en aanliggende polders te voorkomen. De benodigde kadehoogte afhankelijk van de hoeveelheid water die ingelaten wordt (de resulterende waterstand is bepaald in 4.6.3) en de hoogte van het landschap (AHN).

Figuur 4-4 geeft de hoogte aan van de bebouwde gebied in het bemalingsgebied en de hoogte langs de rand van het gebied. Waar deze gebieden onder NAP – 1,07 m (50 cm waakhogte) liggen moeten kades aangelegd worden. De totaal benodigde lengte van aan te leggen kades is 7,2 km. De krijgen een hoogte van NAP – 0,57 m (50 cm waakhogte). De kosten van het aanbrengen van deze kades kost bijna 3,5 miljoen €, het onderhoud 1 miljoen €. Dit is op dezelfde wijze bepaald als de kades in hoofdstuk 4.2.5.

## Inlaten

Twee inlaten moeten gebouwd worden om het bemalingsgebied vanuit de lage boezem van de Neder- en Overwaard te inunderen. Voor het ontwerp wordt uitgegaan van een volkomen overlaten. Het debiet over de inlaat kan dan berekend worden met:

$$Q = \mu \cdot B \cdot dh \cdot \sqrt{2g \cdot dh}$$

$\mu$  = afvoercoëfficiënt (0,6)

$dh$  = waterstand min drempelniveau (0,2 m)

$g$  = versnelling zwaartekracht (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Deze formule is geïntegreerd over een dag, de periode waarin de inundatiepolder gevuld moet worden. Dit leidt tot de breedtes van 20 en 35 meter voor respectievelijk de Neder- en Overwaard.

Het maximale debiet is bepaald aan de hand van de stroomsnelheid bij maximale waterstand op de boezem (20 cm).

$$v = \sqrt{g \cdot dh}$$

Dit resulteert in een debiet van 5,5 en 9,9 m<sup>3</sup>/s voor respectievelijk de Neder- en Overwaard. De maximale afvoer naar de inundatiepolder is een factor 2 a 3 kleiner dan de afvoercapaciteit van het boezemgemaal. De afvoercapaciteit van de watergangen is daarom voldoende en er wordt aangenomen dat verder geen beschermende maatregelen tegen erosie genomen hoeven te worden.

De kosten voor het aanleggen van de twee inlaten bedraagt circa 0,93 en 1,03 miljoen € voor respectievelijk de Neder- en Overwaard. Het onderhoud bedraagt in totaal 0,56 miljoen €.

## 4.7 Kosten-batenanalyse

Het economisch risico voor de regionale keringen en watersysteem staat weergegeven in Tabel 4-9 voor de verschillende situaties en maatregelen.

		JVS - keringen [miljoen €]	JVS - watersysteem [miljoen €]
Regionale keringen	Normering	1,2	-
	Actuele hoogte (toetsing)	4,2	-
	Actuele hoogte bij maalstoppeil	1,5	-
Regionaal watersysteem	Normering	-	0,1
	Actuele situatie (toetsing)	-	9,6
	Actuele situatie bij maalstoppeil	-	19,0
Maatregelen	Huidige situatie	1,5	19,0
	Ophogen kades	1,2	19,0
	50% uitbreiden open water	1,5	0,4
	Verlagen maalstoppeil, uitbreiden open water	0,4	19,0
	Verlagen maalstoppeil, overlast polders	0,4	25,7
	Inundatiepolder	0,4	10,1

Tabel 4-9: Jaarlijks Verwachte Schade bij regionale keringen en het regionaal watersysteem.

Om de schade over een zekere tijdshorizon te kunnen beoordelen en te vergelijken wordt de schade uitgedrukt in contante waarde (zie ook hoofdstuk 4.2.5). De contante waarde van de schade voor de regionale keringen en watersysteem staat weergegeven in Tabel 4-10.

		CW schade - keringen [miljoen €]	CW schade - watersysteem [miljoen €]	CW schade - totaal [miljoen €]
Regionale keringen	Normering	34	-	-
	Actuele hoogte (toetsing)	121	-	-
	Actuele hoogte bij maalstoppeil	43	-	-
Regionaal watersysteem	Normering	-	3	-
	Actuele situatie (toetsing)	-	276	-
	Actuele situatie bij maalstoppeil	-	545	-
Maatregelen	Huidige situatie	43	545	588
	Ophogen kades	34	545	580
	50% uitbreiden open water	43	11	55
	Verlagen maalstoppeil, uitbreiden open water	11	545	557
	Verlagen maalstoppeil, overlast polders	11	738	749
	Inundatiepolder	11	290	301

Tabel 4-10: Contante waarde van schade bij regionale keringen en het regionaal watersysteem.

De baten van de verschillende maatregelen zijn de verminderingen in totale schade die ze opleveren. De baten worden bepaald als het verschil in contante waarde tussen een scenario met maatregelen en de huidige situatie. De baten van de maatregelen staan samen met de kosten weergegeven in Tabel 4-11. Het verschil tussen de twee is de uiteindelijke netto contante waarde van de maatregelen.

		Baten [miljoen €]	Kosten [miljoen €]	NCW [miljoen €]
Maatregelen	Ophogen kades	8	19	-11
	50% uitbreiden open water	533	14	519
	Verlagen maalstoppeil, uitbreiden open water	31	8	23
	Verlagen maalstoppeil, overlast polders	-161	0	-161
	Inundatiepolder	287	7	280

Tabel 4-11: *Baten (vermindering van schade ten opzichte van de huidige situatie), kosten en Netto Contante Waarde.*

Twee van de vijf maatregelen zijn niet kosten-baten efficiënt. Bij het verlagen van het maalstoppeil en accepteren van overlast is de schade in bebouwd gebied erg groot. Het ophogen van kades bij het huidige beheer (maalstoppeil) levert slechts een beperkte afname in overstromingskans op.

Bij de drie maatregelen die wel kosten-baten efficiënt zijn is van doorslaggevend belang dat het wateroverlast opgevangen wordt door grasland. In het geval van de inundatiepolder treedt in grasland de schade op en bij het uitbreiden van open water wordt grasland gekocht. De maatregel waarbij het meeste grasland ingezet wordt is de uitbreiding van open water met 50%. Dit levert een NCW op van 519 miljoen € over een periode van 50 jaar.



## 5 Beoordelingskader

### 5.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is een vergelijking gemaakt tussen de risico's horende bij overstroming van de primaire keringen, regionale keringen (boezemkades) en het regionaal watersysteem (polders). Hiertoe zijn de kans op overstroming en de bijbehorende overstromingsschade bepaald.

Maatregelen zijn gedefinieerd om de kans en schade als gevolg van de overstroming van primaire keringen te beperken. Het betreft:

1. Kwelwegverlenging om piping tegen te gaan (grondoplossing).
2. Compartimentering langs de Westelijke kade van het Merwedekanaal.
3. Ophogen bebouwde gebieden met 2,5 meter.

Tevens zijn maatregelen gedefinieerd om de kans en schade als gevolg van de overstroming van regionale keringen en wateroverlast in het regionaal watersysteem te beperken. Het betreft:

4. Ophogen boezemkades tot normhoogte.
5. Verlagen maalstoppeil en uitbreiden open water in de polders om extra overlast te voorkomen.
6. Verlagen maalstoppeil en overlast in polders toestaan.
7. Inzetten bemalingsgebied Laag-Blokland als inundatiepolder.

In de volgende paragraaf wordt de contante waarde van overstromingsschade en kosten van maatregelen beschreven op basis van een ingevuld beoordelingskader. Daarna volgt een korte gevoeligheidsanalyse waarbij de huidige situatie vergeleken wordt met de situatie waarbij aan de norm voldaan wordt.

## 5.2 Beoordelingskader Veiligheid en Economie

Beoordelingscriterium	eenheid	Huidig beheer en onderhoud <sup>10</sup>	Investeren primaire keringen		
			Kwelweg- verlenging <sup>11</sup>	Verhogen bebouwde gebieden <sup>12</sup>	Comparti- mentering
CW overstromingsschade	mIn €				
- Primaire keringen		1588	1058	461 <sup>13</sup>	879
- Regionale keringen		43	43	43	43
- Poldersysteem		545	545	72 <sup>14</sup>	545
Aantal slachtoffers					
- Primaire keringen <sup>15</sup>		15	15	0	9
- Regionale keringen		0	0	0	0
CW totale gemonetariseerde overstromingsschade <sup>16</sup>	mIn €				
- Primaire keringen		1621	1091	461	899
- Regionale keringen		43	43	43	43
- Poldersysteem		545	545	72	545
CW kosten maatregelen	mIn €				
- Primaire keringen		0	2	900 <sup>17</sup>	386
- Regionale keringen		0	0	0	0
- Poldersysteem		0	0	0	0
<b>Contante Waarde</b>	<b>mIn €</b>	<b>2209</b>	<b>1681</b>	<b>1476</b>	<b>1873</b>

<sup>10</sup> Risico primaire keringen: risico berekend met de VNK methode, zichtduur 50 jaar, discontovoet 2,5%.

<sup>11</sup> Voor het verlengen van de kwelweg wordt uitgegaan van een grondoplossing (goedkoper dan een constructieve oplossing).

<sup>12</sup> Bebouwde gebieden zijn opgehoogd tot 1 meter boven het laagste dijkniveau.

<sup>13</sup> Uitgegaan is van nul *directe* schade in stedelijk gebied (HIS-SSM).

<sup>14</sup> Uitgegaan is van nul schade in bebouwd gebied.

<sup>15</sup> Aangenomen wordt dat 0,01% van het aantal inwoners omkomt. (RWS; Overstromingsscenario's voor rampenplannen, Rijn-Maaas).

<sup>16</sup> Kosten per slachtoffer: 2,2 miljoen €.

<sup>17</sup> Kosten zijn enkel voor ophoging, niet voor het afbreken en opbouwen van huizen en infrastructuur.

Beoordelingscriterium	eenheid	Investeren regionale keringen / Regionaal watersysteem				
		Ophogen kades	50% uitbreiden open water	Verlagen ms-peil, uitbreiden open water	Verlagen ms-peil, overlast polders	Inundatie polder
CW overstromingsschade	mIn €					
- Primaire keringen		1588	1588	1588	1588	1588
- Regionale keringen		34	43	11	11	11
- Poldersysteem		545	11	545	738	290
Aantal slachtoffers						
- Primaire keringen <sup>18</sup>		15	15	15	15	15
- Regionale keringen		0	0	0	0	0
CW totale gemonetariseerde overstromingsschade <sup>19</sup>	mIn €					
- Primaire keringen		1621	1621	1621	1621	1621
- Regionale keringen		34	43	11	11	11
- Poldersysteem		545	11	545	738	290
CW kosten maatregelen	mIn €					
- Primaire keringen		0	0	0	0	0
- Regionale keringen		19	0	0	0	0
- Poldersysteem		0	14	8	0	7
<b>Contante Waarde</b>	<b>mIn €</b>	<b>2219</b>	<b>1689</b>	<b>2158</b>	<b>2370</b>	<b>1929</b>

Het economische overstromingsrisico bij primaire keringen is een factor vijf keer zo groot als het risico in het regionale watersysteem (polders) en een factor dertig keer zo groot als het risico behorende bij de regionale keringen.

Alle maatregelen voor de primaire keringen zorgen voor aanzienlijke reducties in de contante waarde van de kosten. De laagste kosten worden gevonden bij het ophogen van bebouwde gebieden. Hierbij wordt wel uitgegaan van nieuw aan te leggen gebieden en niet als maatregel voor bestaande gebieden (er wordt geen rekening gehouden met het afbreken en opbouwen van huizen en infrastructuur). Kwelwegverlenging om piping bij primaire keringen tegen te gaan is een praktische maatregel met de laagste contante waarde van kosten (meest kosten-baten efficient).

Van de maatregelen voor regionale keringen en het regionaal watersysteem zijn enkel het ophogen van boezemkades en verlagen van het maalstoppeil in combinatie met het uitbreiden van open water, kosten-baten efficient. De overige maatregelen hebben een grotere contante waarde van de kosten. Deze maatregelen kosten dus meer dan dat ze opleveren (reductie van risico).

<sup>18</sup> Aangenomen wordt dat 0,01% van het aantal inwoners omkomt. (RWS; Overstromingssscenario's voor rampenplannen, Rijn-Maaas).

<sup>19</sup> Kosten per slachtoffer: 2,2 miljoen €.

### 5.3 Gevoeligheidsanalyse (vergelijking huidige situatie met de normering)

De normen voor de primaire keringen, regionale keringen en het regionaal watersysteem (polders) staan niet in verhouding tot elkaar. Het economische risico bij primaire keringen is een factor tien keer zo groot als het risico bij de regionale keringen en een factor honderd keer zo groot als het risico behorende in het regionale watersysteem (polders). Dit gegeven kan een strengere norm voor de primaire keringen en in mindere mate regionale keringen rechtvaardigen.

Beoordelingscriterium	eenheid	Huidig beheer en onderhoud	Norm
CW totale gemonetariseerde overstromingsschade	mIn €		
- Primaire keringen		1621	351 <sup>20</sup>
- Regionale keringen		63	34 <sup>21</sup>
- Poldersysteem		379	3 <sup>22</sup>

Het is duidelijk dat het huidige risico groter is dan het risico dat volgt uit de norm. De verhoudingen tussen de risico's verschillen ook. In vergelijking met de norm is het verhoogde risico bij de regionale keringen relatief klein en in het poldersysteem groot (gevolg van het hanteren van een maalstop). Het grote risico behorende bij de primaire keringen, zowel in de huidige situatie als volgens de norm, geeft wederom aan dat investeren in de primaire keringen van groot belang is.

<sup>20</sup> Wet op de waterkering.

<sup>21</sup> Verbeterde methode IPO-richtlijn.

<sup>22</sup> NBW norm.

## 5.4 Conclusies

Voor de case dijkkring 16 geldt dat het risico van overstroming als gevolg van falen van primaire keringen beduidend hoger is dan het risico van overstromen als gevolg van falen van regionale keringen of lokale neerslag in de polders. De oorzaak hiervoor is de grote kansbijdrage aan falen van primaire keringen door piping. Het gevaar van piping kan met een relatief bescheiden investering fors en kosten-effectief worden teruggedrongen. Dit is voor deze dijkkring de meest kansrijke maatregel. Ook het ophogen van nieuwbouwlocaties is in de huidige situatie kosten-effectief, maar zal dat naar verwachting niet zijn wanneer de primaire keringen voldoen aan de normen. Het verminderen van het gevaar van piping is een aantrekkelijker maatregel dan het ophogen van nieuwbouwlocaties, aangezien met de eerste maatregel het gehele gebied is gebaat.

Nadat de primaire keringen op orde zijn gebracht (dat wil zeggen voldoen aan de normen) is het risico vergelijkbaar met het risico als gevolg van wateroverlast in de polders in de huidige situatie. In het risico van falen van primaire keringen is de maatschappelijke ontwrichting in geval van overstroming met het toegepaste beoordelingskader en het beschikbare instrumentarium of effecten te schatten echter eerder onderschat dan overschat, zodat wij de kans groot achten dat ook na het op orde brengen van de primaire keringen het risico van overstromen groter is dan de risico's van overstromen van regionale keringen of wateroverlast in de polders.

Indien zowel de primaire keringen, de regionale keringen als de polders op orde worden gebracht, dat wil zeggen voldoen aan de normen, is het risico van overstromen van primaire keringen het grootst. Zo bezien zijn de normen niet in evenwicht met elkaar.

Het risico van falen van regionale keringen is in de huidige situatie lager dan het risico op wateroverlast in de polders, doordat de kans op falen kan worden beperkt door een maalbeperking op te leggen aan de polders. Desalniettemin zijn een aantal maatregelen denkbaar waarmee de bescherming tegen overstroming vanuit de boezem kosten-effectief kan worden vergroot, namelijk door de kaden op te hogen tot normhoogte, of door het maalstoppeil op de boezem te verlagen, gekoppeld aan het vergroten van het openwater in de polders. Effecten van maatregelen in alleen het poldersysteem konden nog niet worden beschouwd, hiervoor zal nog de maatregel 'verdubbeling van het percentage open water' of effecten worden geanalyseerd.

Nadat alle systemen op orde zijn gebracht is het risico het laagst voor wateroverlast in de polders, het risico op overstromen vanuit de boezem is een factor 10 hoger, het risico op overstromen van de primaire keringen weer een factor 10 hoger.

Kort samengevat concluderen wij het volgende:

- In de huidige situatie is het risico op overstroming door falen van primaire keringen beduidend groter dan de risico's als gevolg van falen van regionale keringen of hevige lokale neerslag in de polders.
- De bescherming tegen overstroming als gevolg van falen van primaire keringen is kosten-effectief te vergroten door het gevaar van piping te verminderen.
- Ook nadat de primaire keringen orde zijn gebracht is het risico met inachtneming van de maatschappelijke ontvricting groter dan het huidige risico als gevolg van falen van regionale keringen of hevige lokale neerslag in polders.
- Ook indien alle type watersystemen voldoen aan de daarvoor geldende normen is het risico van overstromen als gevolg van falen van primaire keringen het grootst.
- Ondanks dat het risico van falen van regionale keringen het kleinst is, zijn hier maatregelen denkbaar waarmee het risico kosten-effectief verder kan worden verlaagd.
- Of kosten-effectieve maatregelen in de polders denkbaar zijn zal nog worden onderzocht.

## 6 Referenties

- Bakker, M. en Klopstra, D. (2007): Onderzoek waterdiepte ten behoeve van actualisatie van de legger. HKV [LIJN IN WATER](#), PR1302.10.
- Bolt, F.J.E.van der en M. Kok. (2000): Hoogwaternormering regionale watersystemen – Schademodellering. HKV lijn in water en Alterra.
- Braak, W.E.W. van den (2005): Aanvullend scenario normering boezemkaden Nederwaard. HKV lijn in water, PR954.10.
- Buitelaar (2006): Modelling en normenstudie Alblasserwaard en Vijfheerenlanden, fase 2: Normenstudie. Grontmij, 180526.
- Eijgenraam, C.J.J., C.C. Koopmans, P.J.G. Tang en A.C.P. Verster. Evaluatie van Infrastructuurprojecten; leidraad voor kosten-batenanalyse –Deel1: Hoofdrapport. Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Ministerie van Economische Zaken, 2000.
- Fugro (1998a): Richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden. Provincie Zuid-Holland, Dienst Water en Milieu.
- Fugro (1998b): Achtergronden bij de richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden. Provincie Zuid-Holland, Dienst Water en Milieu.
- GWK Kosten, Kust- en oeverwerken, remming-, aanleg- en geleidewerken 2005. Reed Business.
- HKV [LIJN IN WATER](#) (2005): 'Pilot' De Ronde Hoep - een weegschaal voor beheersing van hoogwatercalamiteiten. PR866.
- Huizinga, H.J., M. Dijkman en A. Barendrecht. HIS-Schade en Slachtoffermodule Versie 2.1 Gebruikershandleiding. DWW-2005-004. RWS Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 2004.
- Klijn, F., H. van der Klis, J. Stijnen, K. de Bruijn en Matthijs Kok. Overstromingsrisico dijkringen in Nederland, betooglijnen en deskundigenoordeel. WL | Delft Hydraulics en HKV lijn in water, 2004.
- Kolen, B., van den Braak, W.E.W., Barendrecht, A., Udo, J.B.M., Botterhuis, A.A.J. en Lammers, I.B.M. (2004): Normering Boezemkaden dijkringen 15, 16, 17, 20, 21, 22 en 25 –Hoogheemraadschap van de Alblasserwaard en De Vijfheerenlanden. HKV [LIJN IN WATER](#), PR 743.
- Lammers, I.B.M., van den Braak, W.E.W. en Kolen, B. (2006): Risico-analyse Rivierenland. Aanvulling. HKV [LIJN IN WATER](#), PR986.10.
- Thonus, B.I., J.M. van Noortwijk, M. Kok. Verkenning kosten-batenanalyse, dijkkringgebied 14: Zuid Holland. HKV lijn in water, 2005.
- VNK. Veiligheid Nederland in Kaart - Overstromingsrisico dijkkring 16 Alblasserwaard- en Vijfheerenlanden. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005[1].
- VNK. Veiligheid Nederland in Kaart –Hoofdrapport onderzoek overstromingsrisico's. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005.
- Wet op de waterkering, Algemene regels ter verzekering van de beveiliging door waterkeringen tegen overstromingen door het buitenwater en regeling van enkele daarmee verband houdende aangelegenheden. Tweede Kamer der Staten-Generaal, diverse vergaderjaren, Den Haag.

## **Bijlagen**



## Bijlage A: Vergelijking AHN en FLIMAP

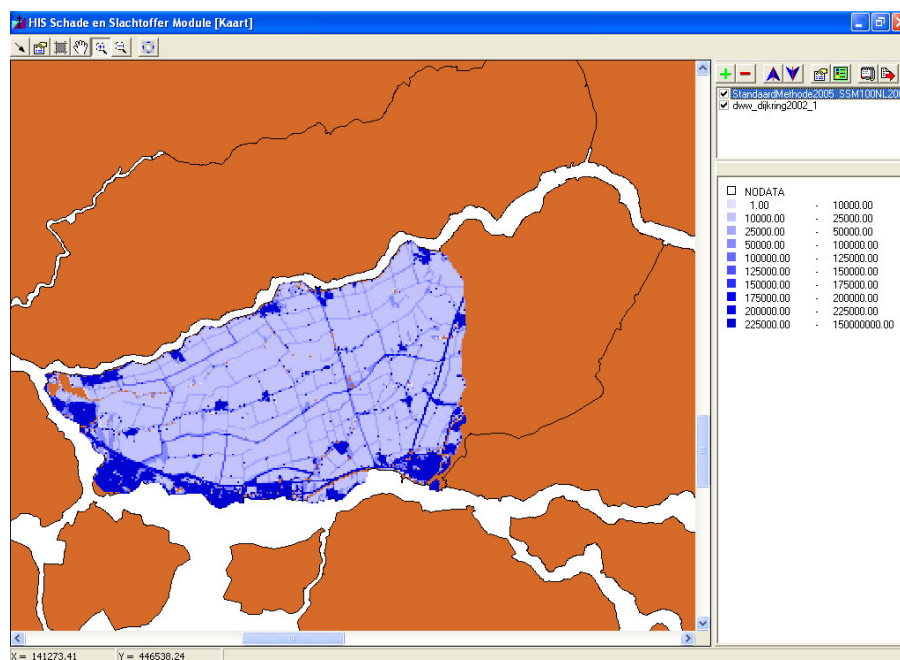
Twee nul-situaties zijn berekend voor het gebied Nederwaard en Overwaard om het effect van bebouwing in het maaiveldverloop te baplen. Hierbij is gebruik gemaakt van de verschillende bronnen voor maaiveldhoogte (AHN en FLIMAP).

AHN; resolutie 5\*5 meter; niet gecorrigeerd voor bebouwing; gebiedsdekkend.

FLIMAP; resolutie 25\*25 meter; gecorrigeerd voor bebouwing; Nederwaard en Overwaard.

### FLIMAP, Nederwaard en Overwaard

De resulterende overstromingsschade bedraagt € 21,5 miljard (152.000 slachtoffers). De schade is ruimtelijk weergegeven in onderstaande figuur. In Nederwaard en Overwaard bevindt zich het grootste deel van het bebouwde gebied en derhalve ook het grootste deel van de schade.



Figuur: Ruimtelijke verdeling van schade in Nederwaard en Overwaard bij gehele inundatie (gecorrigeerd voor bebouwing).

Om een directe vergelijking te maken tussen de maaiveldhoogte uit FLIMAP (gecorrigeerd voor bebouwing) en het AHN (niet gecorrigeerd voor bebouwing) is de schade van Nederwaard en Overwaard bepaald aan de hand van het AHN (zie onderstaande tabel). Hieruit blijkt dat het aandeel van woningschade vergelijkbaar is. De totale schade is alleen zo'n 20% lager bij gebruik van het AHN.

schade	heel gebied	Nederwaard en Overwaard	
	AHN	Flimap	AHN
totaal (miljoen €)	22,4	21,5	17,4
woningen (miljoen €)	14,1	13,6	11,2
slachtoffers (aantal)	157.000	152.000	126.000

Tabel: Schade en slachtoffers bij overstroming.