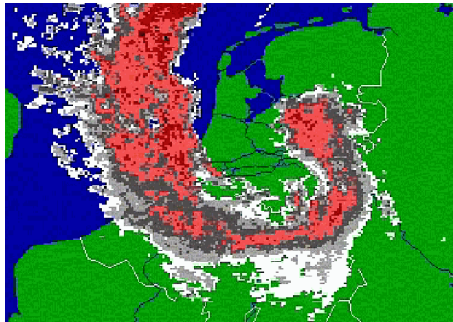


*Opdrachtgevers:*  
STOWA  
Stichting Leven met Water  
Provincie Zuid Holland  
Waterschap Zuiderzeeland  
Verbond van Verzekeraars

## **Van neerslag tot schade**

### **Deelrapport 2: Samenhang normen overstromingen en wateroverlast Flevoland**



## Colofon

**Titel:** Van Neerslag tot schade. Deelrapport 2: Samenhang normen overstromingen en wateroverlast Flevoland.  
**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 2 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 September 2008 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	Inleiding .....	1
1.2	Inschatting overstromingskans .....	1
1.3	Inschatting risico .....	3
<b>2</b>	<b>Effecten van maatregelen primaire waterkeringen .....</b>	<b>14</b>
2.1	Inleiding .....	14
2.2	Dijkverhoging .....	14
2.3	Golfaanval verminderen .....	15
2.4	Compartimenteren .....	16
2.5	Kernen ophogen .....	21
<b>3</b>	<b>Overstromingskans en –risico regionale keringen en regionaal watersysteem .....</b>	<b>29</b>
3.1	Inleiding .....	29
3.2	Systeembeschrijving .....	29
3.3	Inschatting inundatiekans .....	30
3.4	Schadebepaling .....	34
3.5	Risico .....	36
<b>4</b>	<b>Beoordelingskader .....</b>	<b>38</b>
4.1	Inleiding .....	38
4.2	Beoordelingskader Veiligheid en Economie .....	39
4.3	Gevoeligheidsanalyse .....	40
4.4	Vergelijking risico's .....	41
<b>5</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>43</b>

# 1 Overstromingskans en –risico primaire waterkeringen

## 1.1 Inleiding

De primaire keringen van Flevoland (dijkring 8) zijn genormeerd op een jaarlijkse overschrijdingskans van 1/4000 (Wet op de waterkering). Uit de eerste resultaten van VNK is gebleken dat deze normkans meestal niet overeen komt met de overstromingskans, omdat in het getal voor de normering slechts rekening gehouden wordt met 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 overstromingskans sterk doen toenemen.

Doel van dit hoofdstuk is het verschil in economisch risico tussen de klassieke methode en de VNK methode inzichtelijk te maken. Uitgangspunten hierin zijn:

- schade wordt bepaald aan de hand van huidig landgebruik
- de huidige maaiveldhoogte wordt gebruikt (er wordt geen rekening gehouden met bodemdaling) voor het bepalen van waterdieptes na overstroming
- de zichtduur waarover wordt gerekend is 50 jaar (technische levensduur)

Hiertoe wordt in de volgende paragraaf de overstromingskans van dijkring 7 ingeschat, aan de hand van de norm en aan de hand van de overstromingskans volgens de methode gebruikt in VNK. Vervolgens wordt ingegaan op de schade na een overstroming en wordt het overstromingsrisico uitgaande van de norm (klassieke methode) en uitgaande van de overstromingskans (VNK methode) bepaald.

## 1.2 Inschatting overstromingskans

In het kader van VNK-1 is voor 16 dijkringen de overstromingskans bepaald. Hierin is dijkring 8 (Flevoland) echter niet bestudeerd, hetgeen gedaan zal worden in VNK-2. Om nu toch een inschatting van de werkelijke overstromingskans van dijkring 8 te geven, kijken we naar de normen, resultaten van de meest recente toetsing en de resultaten van VNK voor andere vergelijkbare dijkringen.

### 1.2.1 Normen en toetsing

De norm voor dijkring 8 (Flevoland) is 1/4000 jaar (Wet op de waterkering). De primaire keringen zijn hierop gedimensioneerd. De meest recente toetsing is uitgevoerd tussen 2000 en 2004, een samenvatting van de resultaten is gepubliceerd in 2004 (Bart, 2004). Deze toetsing is uitgevoerd met de hydraulische randvoorwaarden uit Hydra-M. Op verschillende locaties voldeden dijken en kunstwerken niet aan de norm. Tijdens en na de toetsing zijn verschillende verbeteringen uitgevoerd, in Tabel 1-1 is een overzicht gegeven van de (in 2004 geplande) verbeteringen.

We nemen aan dat de in Tabel 1-1 genoemde verbeteringen zijn uitgevoerd en dat daardoor de genoemde dijken en bijzondere locaties voldoen aan de norm. Alle dijken voldoen hiermee aan de norm, in Tabel 1-2 is een overzicht gegeven van de bijzondere locaties die niet aan de norm voldoen.



<b>Dijk</b>	<b>locatie [km]</b>	<b>verbeterd in</b>	<b>verbetering gereed in</b>
Oostvaardersdijk	0,0 - 2,7	2002	
Vossemeerdijk en Ketelmeerdijk	0,0 - 17,6	2003	
IJsselmeerdijk	17,6 - 35,1		2005
Oostvaardersdijk	3,8 - 21,30		2005
Oostvaardersdijk	23,6 - 27,97		2006
IJmeerdijk, Gooimeerdijk en Eemmeerdijk	0,0 - 31,8		2006
<b>Bijzondere locaties</b>	<b>locatie</b>	<b>verbeterd in</b>	<b>verbetering gereed in</b>
Blocq van Kuffeler		2003	
Ketelmeerdijk	Ketelhaven		2005
Oostvaardersdijk	Lelystad		2005

Tabel 1-1 Overzicht van de in 2004 reeds uitgevoerde en geplande verbeteringen aan de primaire keringen

<b>Bijzondere locaties</b>	<b>onderdeel</b>	<b>score</b>
Damwand Almere Haven	sterkte	geen oordeel
Sluis Ketelhaven	hoogte, stabiliteit, piping	geen oordeel
Inlaatduiker Ketelhaven	stabiliteit	geen oordeel
Gemaal Ketelhaven	hoogte	onvoldoende
Gemaal Ketelhaven	stabiliteit, piping	geen oordeel
Gemaal Wortman (Lelystad)	hoogte	onvoldoende
Coupure Lelystad	hoogte	onvoldoende
Keermuur Lelystad	hoogte	onvoldoende
Zuidersluis (Blocq van Kuffeler)	sterkte	geen oordeel
Zuidersluis (Blocq van Kuffeler)	piping	onvoldoende
Gemaal Blocq van Kuffeler	piping	onvoldoende

Tabel 1-2 Locaties die niet aan de norm voldoen

## 1.2.2 VNK resultaten

Uit de VNK-1 resultaten blijkt dat de overstromingskans voor 15 van de 16 beschouwde dijkringen aanzienlijk hoger ligt dan de norm. Gemiddeld genomen is de kans op falen bijna 80% hoger dan de norm. Dit varieert tussen dijkring 32 (Zeeuwsch Vlaanderen) met een norm van 1/4000 per jaar en een overstromingskans van >1/100 per jaar tot dijkring 3 (Terschelling) met een norm van 1/2000 per jaar en een overstromingskans van 1/1500 per jaar.

Dijkring 7, de Noordoostpolder, is wel meegenomen in VNK-1. De ondergrond in dijkring 7 en 8 is vergelijkbaar, en de keringen zijn in dezelfde periode aangelegd en van dezelfde kwaliteit. De overstromingskans in dijkring 7 wordt hier gebruikt om de overstromingskans voor dijkring 8 af te leiden. In Tabel 1-3 zijn enkele gegevens van de primaire categorie A keringen van beide dijkringen gegeven.

In Tabel 1-4 zijn de overstromingskansen gegeven, die horen bij de verschillende faal-mechanismen voor dijkkring 7. De bijdrage van de dijken aan de overstromingskans is erg klein, en veel kleiner dan de norm. Piping speelt in dijkkring 7 nauwelijks een rol doordat de ondergrond van de keringen klei is. Het al dan niet optreden van piping is vaak onzeker; de invloed van onzekerheden op de overstromingskans is in dijkkring 7 dus relatief klein. Verreweg de grootste bijdrage aan de overstromingskans wordt geleverd door het constructief falen van kunstwerken (waarbij een bres ontstaat). Deze kans is sterk te verlagen door bij één van de kunstwerken een aanvaarbalk aan te brengen. In combinatie met nader onderzoek is de jaarlijkse overstromingskans hiermee relatief eenvoudig te verlagen tot 1/3100 (VNK, 2006).

Ook voor dijkkring 8 zal waarschijnlijk gelden dat de bijdrage van dijken aan de overstromingskans gering is, omdat de dijken in beide dijkkringen vergelijkbaar zijn. Aangezien het aantal kunstwerken in beide dijkkringen ook vergelijkbaar is (Tabel 1-3), stellen we dat de werkelijke overstromingskans ongeveer hetzelfde zal zijn. De jaarlijkse overstromingskans, gebaseerd op resultaten van VNK-1, is daarmee 1/3000.

Dijkkring	Lengte kering [km]	Aantal kunstwerken	Norm [per jaar]	Overstromingskans VNK-1 [per jaar]
7 Noordoostpolder	55	13	1/4000	1/900
8 Flevoland	86	11	1/4000	-

Tabel 1-3 Gegevens keringen dijkkring 7 (Noordoostpolder) en 8 (Flevoland)

Type kering	Faalmechanisme	Overstromingskans [per jaar]
Dijken	Overloop en golfoverslag	1/30.000
	Opbarsten en piping	<10 <sup>-6</sup>
	Beschadiging bekleding	<10 <sup>-6</sup>
	Afschuiven binnentalud	1/50.000
Kunstwerken	Overslag	1/10.000
	Niet-sluiten	1/15.000
	Constructief falen	1/1000

Tabel 1-4 Overstromingskansen als gevolg van de verschillende faalmechanismen in dijkkring 7 (Noordoostpolder)

### 1.3 Inschatting risico

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 (waarbij de overstromingskans van de dijkkring gelijk is aan de normkans van een dijkvak) en de VNK methode (waarbij zo goed mogelijk de overstromingskans van een dijkkring bepaald wordt). De waterdieptes ten gevolge van een overstroming worden bepaald met de klassieke methode (hele dijkkring overstroomt tot laagste kruinhoogte), die overeenkomt met de globale methode uit VNK. Ook de schadebepaling is voor beide gevallen met dezelfde methode gedaan.

### 1.3.1 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, of horende bij de veiligheid tegen overstromen zoals deze blijkt uit resultaten van de laatste toetsing. De meest recente toetsing is uit 2004; hierna zijn alle dijken op hoogte gebracht. Op enkele bijzondere locaties voldoen kades niet aan de normhoogte, maar het is onbekend welke waterstand ze wel kunnen keren. Bij gebrek aan gegevens nemen we aan dat deze bijzondere locaties geen rol spelen in een doorbraak; de kans van falen van de dijkring is conform de norm 1/4000 per jaar.

#### 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 golfoverslag en piping, zie voor een volledig overzicht VNK, 2005[1]). Onzekerheden over de conditie van een kering of kunstwerk worden expliciet meegenomen. Zoals beschreven in hoofdstuk 1.2, wordt de jaarlijkse overstromingskans van dijkring 8 op deze manier 1/3000.

### 1.3.2 Overstromingsscenario's

De klassieke methode en de globale methode uit VNK om inundatiedieptes te bepalen gaan ervan uit dat er voldoende water is om een hele dijkring te overstromen, waarbij de waterstand in de dijkring gelijk wordt aan de laagste kruinhoogte. Voor Flevoland is dit echter een zeer onwaarschijnlijk scenario, omdat de waterstand in het IJsselmeer of het Markermeer nooit zo hoog is als de laagste kruinhoogte in Flevoland en omdat de meren met de polder communicerende vaten zijn na een doorbraak. De waterstand in het IJsselmeer of Markermeer daalt aanzienlijk als gevolg van een overstroming, het oppervlak van de polder is van dezelfde orde grootte als dat van de meren. De waterstand in de dijkring kan niet hoger worden dan de waterstand op het IJsselmeer of Markermeer (VNK, 2005[2]).

Uitgangspunt in de globale schadebepaling is dat de dijkringen als één geheel worden beschouwd. Flevoland wordt door de Knardijk echter in twee compartimenten gedeeld; Oostelijk en Zuidelijk Flevoland (zie Figuur 1-1). Als de Knardijk niet faalt, zal bij falen van een primaire kering slechts één compartiment overstromen. Bij een doorbraak van de IJsselmeerdijk overstroomt Oostelijk Flevoland, bij een doorbraak van de Oostvaardersdijk (langs het Markermeer) overstroomt Zuidelijk Flevoland. De verwachting is dat de Knardijk, die NAP +2,8 m hoog is, niet zal overstromen. Deze verwachting wordt getoetst. Op twee locaties is de Knardijk onderbroken, hier kan de dijk gesloten worden met kunstwerken. Of deze kunstwerken voldoen en of de dijk sterk genoeg is om een overstroming te keren, is niet duidelijk. Daarom zijn verschillende overstromingsscenario's gedefinieerd:

1. overstroming vanuit IJsselmeer, Knardijk faalt en heel Flevoland overstroomt
2. overstroming vanuit IJsselmeer, Knardijk faalt niet en alleen Oostelijk Flevoland overstroomt
3. overstroming vanuit Markermeer, Knardijk faalt en heel Flevoland overstroomt
4. overstroming vanuit Markermeer, Knardijk faalt niet en alleen Zuidelijk Flevoland overstroomt.



Figuur 1-1 Flevoland

In de klassieke methode is het peil waarop de dijkkring faalt het toetspeil (met een overschrijdingskans van 1/4000 per jaar). In de VNK methode is het peil waarop de dijkkring faalt de waterstand die 1/3000 per jaar wordt overschreden. De peilen behorende bij deze overschrijdingskansen worden afgeleid van meerpeilstatistiek. Hierin wordt geen rekening gehouden met windopzet, daar de dijken gedimensioneerd zijn op de waterstand horende bij de norm plus extra hoogte voor windopzet. Ook op de uiteindelijke waterdieptes na de overstroming heeft windopzet geen invloed, daar deze relatief kortdurend is en dus weinig extra watervolume oplevert. De gebruikte meerpeilstatistiek voor het IJsselmeer is dezelfde als die gebruikt in Hydra-VIJ (Geerse, 2006) en voor het Markermeer dezelfde als die gebruikt in Hydra-M (afkomstig uit invoerbestand Hydra-M).

Omdat in de VNK methode de overstromingskans is gebaseerd op meerdere faalmechanismen, is aan deze kans niet één op één een waterstand te koppelen. In de globale methode wordt normaal gesproken uitgegaan van een overstroming tot de laagste kruinhoogte, waarbij de kans op een bepaalde buitenwaterstand er niet toe doet. Voor Flevoland is echter wel een buitenwaterstand behorende bij een overstromingskans nodig. In de gedetailleerde methode van VNK (waarin overstromingsscenario's worden uitgewerkt) wordt een belastingcombinatie (initiële waterstand, windsnelheid en -richting) bepaald waarbij een dijkvak faalt, deze belastingcombinatie heeft een bepaalde kans van voorkomen. In voorliggend onderzoek wordt niet gewerkt met wind en wordt de overstromingskans dus direct gekoppeld aan een waterstand met dezelfde kans van voorkomen.

Onzekerheden over de juistheid van de hydraulische belastingen worden in VNK-1 niet meegenomen.

Om de eindwaterstand na een overstroming te bepalen, worden het betreffende meer en de dijkkring gezien als twee bakken waarin een volume water verdeeld wordt tot een

evenwichtspeil. Initieel is er een waterstand op het meer en is de dijkkring niet overstroomd. De afname in hoeveelheid water in het meer tijdens de overstroming, is gelijk aan de hoeveelheid water die de dijkkring instroomt. Wanneer met een gemiddelde bodemhoogte (maaveld) van de dijkkring gerekend wordt is dit in formulevorm:

$$A_m \times (h_0 - h_{eind}) = A_d \times (h_{eind} - h_{bodem})$$

$A_m$  = oppervlak meer

$A_d$  = oppervlak dijkkring

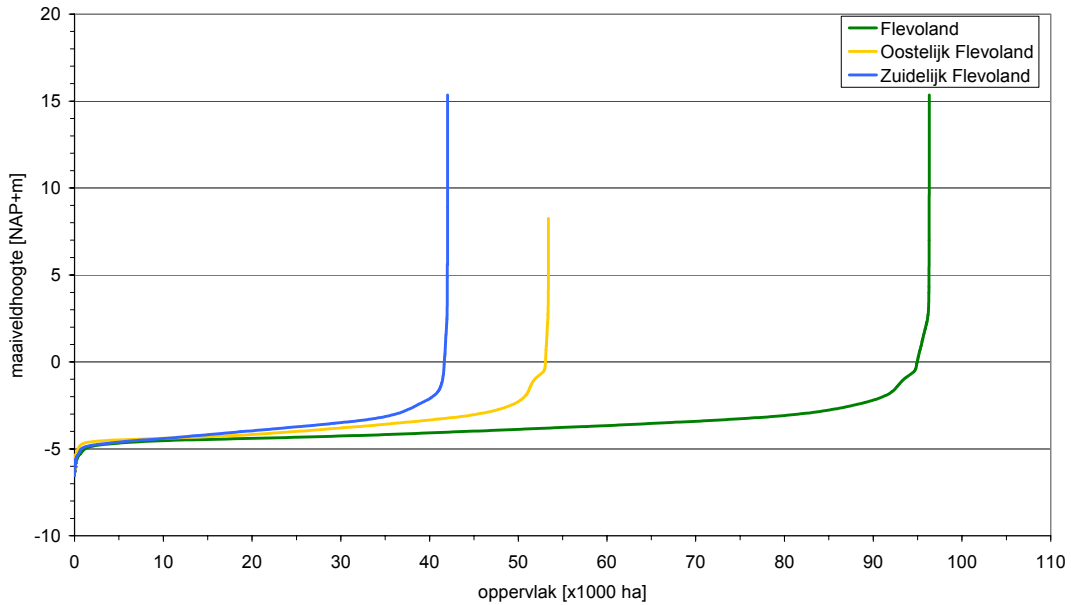
$h_0$  = initiële waterstand IJsselmeer

$h_{eind}$  = eindwaterstand, gelijk in meer en dijkkring

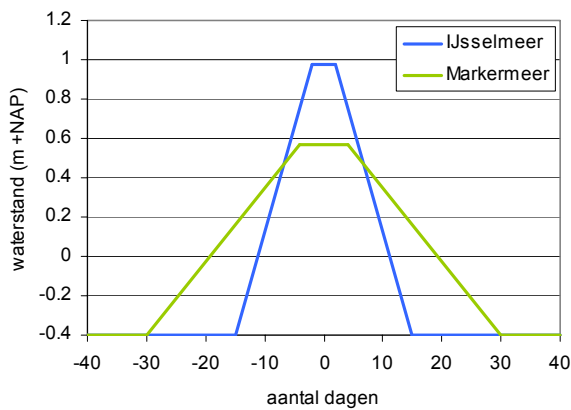
$h_{bodem}$  = bodemhoogte dijkkring ( $h_{eind} - h_{bodem}$  = waterdiepte in dijkkring)

De eindwaterstand is hierin de enige onbekende, deze kan dus bepaald worden. Er is echter gebleken dat de uitkomsten in eindwaterstanden anders zijn wanneer met de maaiveldkromme (verdeling van maaiveldhoogte tegen oppervlak) in plaats van het gemiddelde maaiveld gerekend wordt. De maaiveldkrommen voor Flevoland, Oostelijk Flevoland en Zuidelijk Flevoland zijn gegeven in Figuur 1-2. In het gemiddelde maaiveldniveau worden ook de hoog liggende stukken land meegenomen, die in werkelijkheid niet zullen overstromen. Wanneer wordt gewerkt met maaiveldkrommen wordt een reëler beeld verkregen van het daadwerkelijk overstromend gebied en het volume water dat daarin kan stromen. De eindwaterstand wordt op deze manier iteratief bepaald, omdat ook het overstroomd gebied nu variabel is (afhankelijk van de waterdiepte).

De initiële waterstand is de waterstand waarbij de dijk faalt. Deze waterstand houdt voor het IJsselmeer vier dagen aan (Geerse, 2006). Na de topwaterstand die vier dagen aanhoudt, zakt de waterstand in 13 dagen uit tot streefpeil (Geerse, 2006). Voor het Markermeer is de duur van de topwaterstand niet bepaald, maar wel bekend is dat waterstanden langer aanhouden dan op het IJsselmeer. Voor het Markermeer is daarom aangenomen dat de topwaterstand 8 dagen aanhoudt en in 26 dagen uitzakt naar streefpeil. In Figuur 1-3 is het verloop van de waterstand om de top weergegeven voor beide meren.



Figuur 1-2 Maaiveldkrommen dijkkring 8



Figuur 1-3 Waterstandsverloop om topwaterstand behorende bij een kans van 1/4000 jaar (NAP – 0,40 m is streefpeil voor beide meren)

Naar verwachting is de eindwaterstand nog niet bereikt na vier dagen, in modelleringen voor eerder onderzoek is daar ongeveer 10 dagen voor nodig (HKV, 2007). Uitgaande van deze 10 dagen is de gemiddelde waterstand opgesteld die het voor overstroming beschikbare volume bepaald voor een overstroming vanuit het IJsselmeer:

$$h_{gem} = \frac{4 \times h_0 + 6 \times \left( \frac{h_0 - h_{10}}{2} + h_{10} \right)}{10}$$

waarin

$h_0$  = waterstand na 0 en 4 dagen

$h_{10}$  = waterstand na 10 dagen

$h_{gem}$  = gemiddelde waterstand.

Voor een overstroming vanuit het Markermeer is eenzelfde berekening uit te voeren, maar dan met een topwaterstand die acht in plaats van vier dagen aanhoudt, waarna er dus nog twee dagen zijn waarin de waterstand weer daalt.

In Tabel 1-5 zijn de benodigde parameterwaarden om (met de maaiveldkrommen) de eindwaterstand van een overstroming te berekenen, gegeven.

Parameter	eenheid	IJsselmeer	Markermeer
oppervlak	[ha]	113600	60999
streefpeil	[NAP +m]	-0,40	-0,40
waterstand 1/3000 jaar	[NAP +m]	0,95	0,55
gemiddelde waterstand in 10 dagen voor 1/3000 jaar	[NAP +m]	0,79	0,55
waterstand 1/4000 jaar	[NAP +m]	0,98	0,57
gemiddelde waterstand in 10 dagen voor 1/4000 jaar	[NAP +m]	0,82	0,57

Parameter	eenheid	Flevoland	Oostelijk Flevoland	Zuidelijk Flevoland
oppervlak	[ha]	97405	54151	43254

Tabel 1-5 Benodigde parameters voor het opstellen van de waterbalans

### 1.3.3 Schadebepaling

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. Het aantal slachtoffers en getroffen en is niet goed te bepalen met de globale methode. Er wordt hier een inschatting gegeven, deze kan beschouwd worden als een bovengrens. Gevolgen voor milieu en schade aan Landschap, Natuur en Cultuurhistorie (LNC-waarden) zijn niet beschouwd. Als input voor de schadebepaling dienen de overstromingsdiepte en het grondgebruik.

In Tabel 1-6 zijn voor overstromingen met een kans van voorkomen van 1/3000 jaar tot 1/10.000 jaar de gevolgen in waterdiepte, waterstand en in economische schade gegeven. De initiële waterstanden zijn de gemiddelde waterstanden gedurende 10 dagen die optreden als gevolg van een topwaterstand met betreffende herhalingstijd. De aanname dat de Knardijk (NAP +2,8 m) niet zal overstromen, blijkt correct (waterstanden worden maximaal NAP -0,58 m, zie Tabel 1-6). Een voorbeeld van de maximale waterdiepte als gevolg van een overstroming met een kans van voorkomen van 1/4000 jaar is gegeven in Figuur 1-4.

De variatie in schade bij verschillende herhalingstijden is niet groot, doordat de verschillen in eindwaterstand niet groot zijn. Wanneer heel Flevoland overstroomt (Knardijk faalt), ontstaat bijna 60% van de totale schade in Zuidelijk Flevoland, terwijl Zuidelijk Flevoland maar 44% van het totale oppervlak is. Zuidelijk Flevoland is gevoeliger voor schade door de aanwezigheid van Almere.

Overstroming vanuit IJsselmeer		Heel Flevoland overstroomt (scenario 1)			Oostelijk Flevoland overstroomt (scenario 2)		
Kans [per jaar]	initiële waterstand [m +NAP]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]
1/3000	0,79	2,54	-1,28	14189	3,10	-0,65	7572
1/4000	0,82	2,55	-1,27	14243	3,12	-0,63	7628
1/6000	0,85	2,57	-1,25	14351	3,14	-0,61	7686
1/10.000	0,89	2,59	-1,23	14459	3,16	-0,58	7773

Overstroming vanuit Markermeer		Heel Flevoland overstroomt (scenario 3)			Zuidelijk Flevoland overstroomt (scenario 4)		
Kans [per jaar]	initiële waterstand [m +NAP]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]
1/3000	0,55	1,78	-2,09	10569	2,61	-1,22	8388
1/4000	0,57	1,78	-2,09	10569	2,62	-1,21	8420
1/6000	0,61	1,80	-2,07	10654	2,64	-1,19	8485
1/10.000	0,66	1,82	-2,05	10738	2,67	-1,16	8584

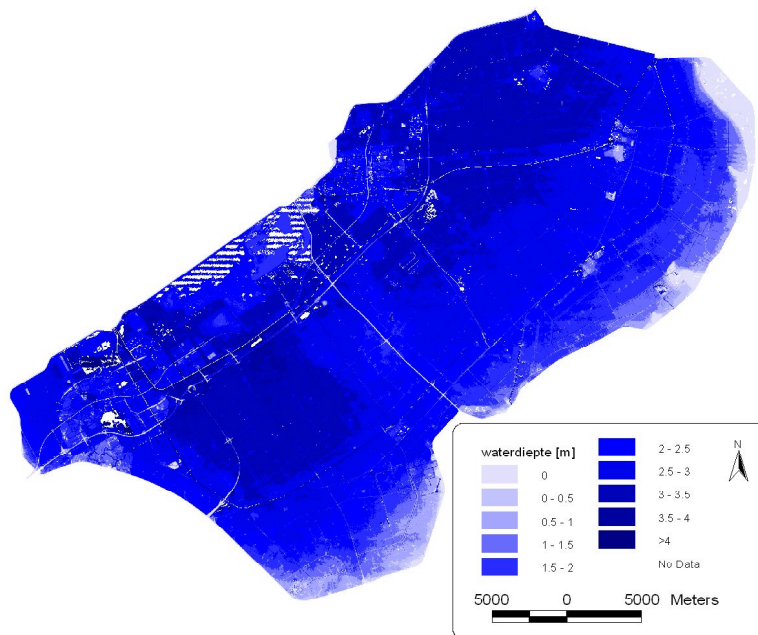
Tabel 1-6 Schade optredend als gevolg van de verschillende overstromingen

Voor dijkkring 7 is in VNK-1 zowel met de globale als met de gedetailleerde methode (hydraulische overstromingsberekeningen) de schade bepaald. Deze blijkt in de globale methode een factor vijf hoger uit te vallen dan in de gedetailleerde methode. Het is aannemelijk dat ook in Flevoland de werkelijke schade aanzienlijk lager is dan de schade zoals opgenomen in Tabel 1-6. Hoeveel lager is echter niet zomaar te vast stellen. Flevoland is op dit punt niet vergelijkbaar met de Noordoostpolder. Flevoland is groter dan de Noordoostpolder, waardoor de kans dat het in zijn geheel overstroomt (voordat de dijken gedicht zijn) kleiner is. De schade zou dan lager uitvallen dan hier is berekend. De locatie van de doorbraak is echter ook sterk bepalend voor de uiteindelijke schade; als de dijk bij Almere of Lelystad bezwijkt en Flevoland niet in zijn geheel overstroomt is de schade groter dan wanneer de dijk in het noorden bezwijkt en Flevoland niet in zijn geheel overstroomt.

De schade zoals die in deze studie is bepaald (Tabel 1-6) komt overeen met schade getallen uit eerder onderzoek:

- In 'Overstromingsrisico dijkringen in Nederland' (Klijn et al., 2004) wordt een verwachte totale schade van 7 miljard euro gegeven, bij een minimale totale schade van 3,5 miljard euro en een maximale totale schade van bijna 38 miljard euro.
- In de studie 'Risico's in bedijkte termen' (RIVM en MNP, 2004) zijn minimale en maximale waarden gegeven van economische schade door een overstroming voor alle dijkringen in Nederland. Deze waarden zijn gebaseerd op eerder gepubliceerde waarschijnlijke schades (uit Klijn et al., 2004) en beschikbare overstromingssimulaties. Voor Flevoland liggen de onder- en bovengrens op respectievelijk 2 miljard en op 50 miljard euro.





*Figuur 1-4 Waterdiepte als gevolg van een overstroming vanuit het IJsselmeer, waarbij de Knardijk faalt (kans is 1/4000 per jaar)*

In Tabel 1-7 zijn voor de berekende overstromingen de gevolgen in gemiddelde waterdiepte, aantal slachtoffers en aantal getroffen en gegeven. De verschillen in waterdiepte en slachtoffers corresponderen met de verschillen in overstromingskans (1/3000 per jaar tot 1/10.000 per jaar). Het aantal getroffen en is niet afhankelijk van de overstromingskans, omdat bij elke overstroming hetzelfde gebied overstroomt. Bij een overstroming vanuit het Markermeer is het aantal slachtoffers groter als de Knardijk niet faalt en dus alleen zuidelijk Flevoland overstroomt. Dit komt door het grote verschil in waterdiepte in het overstroomde gebied. Door reductie in oppervlak van het overstroomde gebied is de economische schade wel minder als alleen Zuidelijk Flevoland overstroomt (zie Tabel 1-6).

	Overstroming vanuit IJsselmeer		Overstroming vanuit Markermeer	
	Heel Flevoland overstroomt (scenario 1)	Oostelijk Flevoland overstroomt (scenario 2)	Heel Flevoland overstroomt (scenario 3)	Zuidelijk Flevoland overstroomt (scenario 4)
gem. eindwaterdiepte	2,41 – 2,46 m	3,04 – 3,11 m	1,63 – 1,67 m	2,55 – 2,61 m
aantal slachtoffers	1141 - 1175	670 - 699	700 - 717	703 - 729
aantal getroffen en (* 1000)	242	97	242	146

*Tabel 1-7 Aantal slachtoffers en getroffen en optredend als gevolg van de verschillende overstromingen*

In (RIVM en MNP, 2004) is ook een inschatting gemaakt van het aantal dodelijke slachtoffers na een overstroming voor alle dijkkringen in Nederland. Hiervoor is gebruikt gemaakt van basisgegevens, overstromingssimulaties en aannamen voor preventieve evacuatie. Voor elke dijkkring is een lage en een hoge schatting gemaakt. Het aantal dodelijke slachtoffers bij een overstroming in Flevoland komt hier op 1000 tot 10.000 mensen. Dit is ruim meer dan het aantal slachtoffers dan wij berekenen, mogelijke is men bij bepaling van de bovengrens van 10.000 slachtoffers uitgegaan van grotere waterdieptes (hele dijkkring overstroomt tot aan laagste kruinhoogte).

### 1.3.4 Risico

#### Jaarlijks verwachte schade

Het risico (in economische schade) kan worden uitgedrukt in euro per jaar en is dan gelijk aan een jaarlijks verwachte schade. Dit is het oppervlak onder Figuur 1-5 en 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

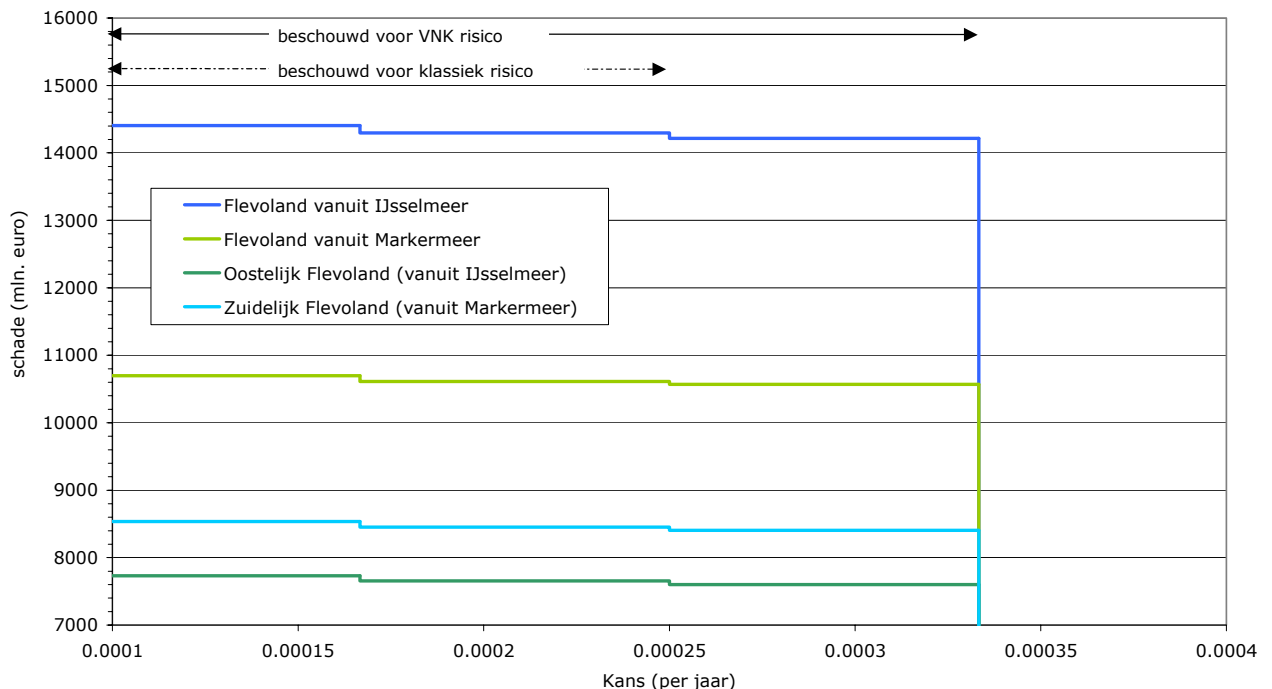
$JVS$  = risico in euro per jaar

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

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

Als bovengrens is een gebeurtenis met een kans van 1/10.000 per jaar gekozen. In de klassieke methode (norm) beginnen de schadeklassen bij een kans van 1/4000 per jaar; bij gebeurtenissen met een grotere kans vindt geen overstroming plaats en is de schade nul. Voor de VNK methode beginnen de schadeklassen bij een kans van 1/3000 per jaar. De schadeklassen voor alle scenario's zijn gegeven in Figuur 1-5. De berekende economische risico's voor de verschillende scenario's zijn gegeven in Tabel 1-8 en Figuur 1-6.

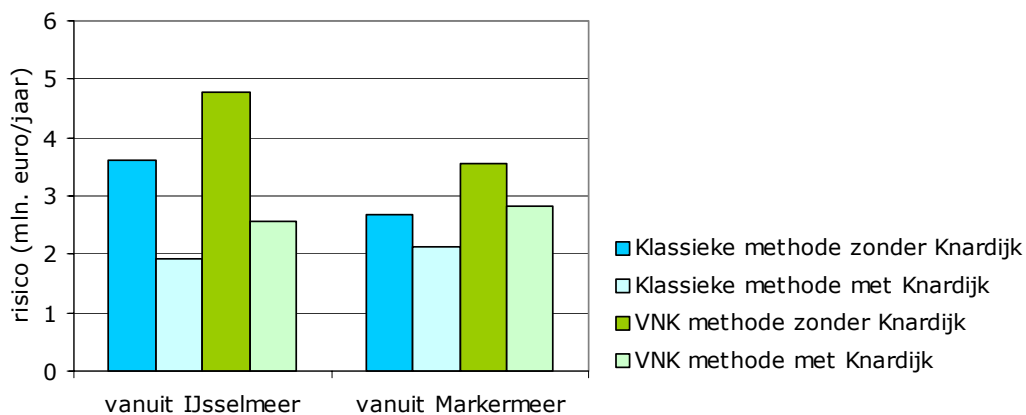
De jaarlijks verwachte schade in de VNK methode is 33% meer dan de jaarlijks verwachte schade in de klassieke methode.



Figuur 1-5 Schadeklassen voor alle vier de overstromingsscenario's

Scenario	Methode	Economisch risico (JVS) [mln. € per jaar]
1 Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	Klassieke methode	3,6
2 Oostelijk Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	Klassieke methode	1,9
3 Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	Klassieke methode	2,7
4 Zuidelijk Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	Klassieke methode	2,1
1 Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	VNK methode	4,8
2 Oostelijk Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	VNK methode	2,6
3 Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	VNK methode	3,6
4 Zuidelijk Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	VNK methode	2,8

Tabel 1-8 Economisch risico(jaarlijks verwachte schade) bij verschillende scenario's



Figuur 1-6 Economisch risico (jaarlijks verwachte schade) voor een doorbraak vanuit het IJsselmeer en een doorbraak vanuit het Markermeer

### Contante waarde

Om de schade over een zeker 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 voor een situatie waarin elk jaar (gedurende n jaren) schade wordt opgelopen, welke wordt verdisconteerd naar nu. Dit berekenen we 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. Er kan rekening gehouden worden met een risico opslag tot 3,0%.

De contante waarde is voor alle scenario's berekend met een discontovoet van 2,5 en 3,0% en voor een tijdshorizon van 50 jaar en oneindig (volgens OEI). De resultaten zijn opgenomen in Tabel 1-9.

Tijdshorizon 50 jaar		discontovoet	contante waarde	
		[%]	[mln. €]	
scenario			Klassieke methode	VNK methode
1	Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	2,5	102	137
2	O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	2,5	54	74
3	Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	2,5	77	102
4	Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	2,5	60	79
<hr/>				
1	Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	3,0	93	124
2	O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	3,0	49	67
3	Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	3,0	69	93
4	Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	3,0	54	72
<hr/>				
Tijdshorizon oneindig		discontovoet	contante waarde	
		[%]	[mln. €]	
scenario			Klassieke methode	VNK methode
1	Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	2,5	144	192
2	O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	2,5	76	104
3	Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	2,5	108	144
4	Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	2,5	84	112
<hr/>				
1	Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	3,0	120	160
2	O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	3,0	63	87
3	Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	3,0	90	120
4	Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	3,0	70	93

Tabel 1-9 Contante waarde van de schade in verschillende scenario's

## 2 Effecten van maatregelen primaire waterkeringen

### 2.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk is een inschatting gemaakt van het risico behorende bij de primaire keringen, gebaseerd op de norm (Wet op de waterkering) en gebaseerd op de overstromingskans afgeleid van VNK-1. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op maatregelen waarmee dit risico verminderd kan worden. De effecten van de maatregelen worden zowel bepaald voor het risico behorende bij de klassieke methode (norm) als behorende bij de VNK methode. Per maatregel wordt een kosten-batenanalyse gedaan, om inzicht te verkrijgen in de invloed van aannames voor overschrijdingskans (klassieke methode/VNK methode) op het al dan niet kosten-baten efficiënt zijn van maatregelen.

In overleg met waterschap Zuiderzeeland zijn maatregelen om het overstromingsrisico van de primaire keringen te verminderen benoemd. Het betreft de volgende maatregelen:

1. Dijkverhoging
2. Verminderen golfaanval
3. Compartimenteren (Knardijk)
4. Ophogen van waardevolle kernen (wat zou de schade na een overstroming zijn als alle steden een meter hoger hadden gelegen, ofwel: is het verstandig nieuw te bouwen wijken hoger te leggen?)

Maatregelen 1 en 2 reduceren de kans op een overstroming. Maatregelen 3 en 4 reduceren de gevolgen van een overstroming.

In de volgende paragrafen worden de maatregelen en hun effecten uitgewerkt. Per maatregel worden kosten en baten in kaart gebracht.

### 2.2 Dijkverhoging

Door waterkeringen integraal met een meter (decimeringshoogte; Slomp, 2006) te verhogen wordt volgens de systematiek van de huidige Wet op de Waterkering het beschermingsniveau met een factor 10 verhoogd. Voor Flevoland gaat dan de jaarlijkse overschrijdingskans van 1/4000 naar 1/40.000.

In de klassieke methode wordt deze redenering gevolgd en aangenomen dat een halve meter verhoging het jaarlijks risico verlaagt met een factor 10. De contante waarde van het jaarlijks risico (bij een oneindige tijdshorizon) is gelijk aan € 144 miljoen (zie hoofdstuk 1), dit is gelijk aan de maximale baten (te realiseren als een overstroming nooit voor kan komen). In de VNK methode zijn de baten minder, omdat de bijdrage van de hoogte van de kering aan de overstromingskans veel geringer is.

Het verhogen van de waterkeringen brengt kosten met zich mee. In eerder onderzoek voor dijkkring 7, de Noordoostpolder (Kuijper en Kok, 2006) is uitgegaan van de volgende kosten:

- € 1,2 miljoen per km, bij ophogen met 1,0 m bij toepassen van een grondoplossing
- € 3,4 miljoen per km, bij ophogen met 1,0 m bij toepassen van een constructieve oplossing.

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.

Op basis van deze studies wordt aangenomen dat de kosten voor 1,0 m dijkophoging circa € 3 miljoen per km bedragen (kosten in Flevoland zullen dichter liggen bij die in de Noordoostpolder dan bij die voor rivierdijken). Voor de totale dijkkring bedragen de kosten:

$$86 \text{ km (totale lengte primaire waterkering dijkkring 8)} \times € 3 \text{ miljoen} = € 258 \text{ miljoen.}$$

De kosten van de maatregel dijkverhoging zijn bij een verhoging met een halve meter al veel groter zijn dan de baten, dus deze maatregel is vanuit kosten-baten optiek niet interessant. Dit geldt zowel voor de klassieke methode als voor de VNK methode.

Vanuit de VNK methode beschouwd is het wel interessant om andere maatregelen te treffen, specifiek gericht op het 'oplossen' van zwakke plekken. Een dergelijk aanpak is voor dijkkring 7 (Noordoostpolder) gevolgd in VNK-1. Voor de Noordoostpolder is de bijdrage van verschillende faalmechanismen aan de overstromingskans uitgewerkt. Er zijn grote verschillen in bijdrage (VNK, 2005), in Tabel 2-1 is hiervan een overzicht gegeven.

type kering	Faalmechanisme	Bijdrage [kans per jaar]
dijk	Overloop en golfoverslag	1/30.000
	Opbarsten en piping	<10 <sup>-6</sup>
	Beschadiging bekleding	<10 <sup>-6</sup>
	Afschuiven binnentalud	1/50.000
kunstwerk	Overslag	1/10.000
	Niet-sluiten	1/15.000
	Constructief falen	1/1000

Tabel 2-1 Bijdrage aan de overstromingskans van de Noordoostpolder per faalmechanisme (bron: VNK, 2005)

Uit Tabel 2-1 blijkt dat de bijdrage van faalmechanismen voor dijken aan de overstromingskans van de Noordoostpolder beduidend lager zijn dan die voor kunstwerken. Door de kunstwerken te verbeteren is de overstromingskans van de dijkkring waarschijnlijk sterk te reduceren, tegen relatief lage kosten. Als de kunstwerken niet meer maatgevend zijn, is de jaarlijkse overstromingskans van de dijkkring 1/30.000. Door de dijken te verhogen is deze kans verder te reduceren. Deze analyse kan voor dijkkring 8 (Flevoland) nog niet uitgevoerd worden, omdat de VNK analyse voor deze dijkkring nog gemaakt moet worden (in het project Veiligheid Nederland in Kaart 2). De verwachting is wel dat voor Flevoland ongeveer hetzelfde zal gelden.

## 2.3 Golfaanval verminderen

Golfaanval vanuit het IJsselmeer en Markermeer kan worden gereduceerd door het aanleggen van golfbrekers. De overstromingskans neemt daardoor af en het gebied wordt daardoor veiliger. In deze globale evaluatie wordt niet in detail een evaluatie van kosten en baten gemaakt, maar wel een globale verkenning uitgevoerd.

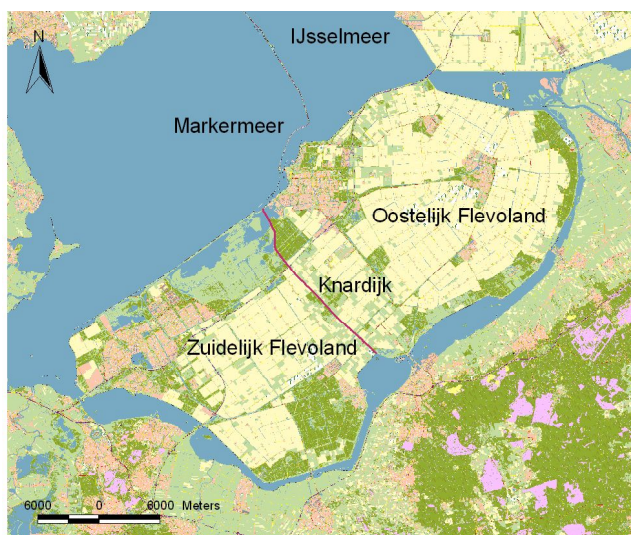
De golfbelasting op de waterkering hangt af van de golfhoogte en de (piek)periode. De golven in het IJsselmeer en Markermeer hebben een hoogte van enkele meters, bij een waterdiepte van circa 5 meter. Er lijkt dus wel ruimte te zijn voor golfreductie. Echter, navraag bij Rijkswaterstaat leert dat om golfreductie te realiseren door ophoging van het voorland, deze ophoging zodanig moet zijn dat het voorland voor de waterkering nagenoeg altijd droog moet liggen. Deze maatregel wordt daardoor erg kostbaar wordt (waarschijnlijk kostbaarder dan dijkverhoging). In de beschouwing over kosten-effectieve alternatieven valt dit alternatief dus af.

Vanuit de VNK methode gezien heeft golfoverslag waarschijnlijk geen grote bijdrage aan de overstromingskans van Flevoland. In Tabel 2-1 is te zien dat overloop en golfoverslag in de Noordoostpolder slechts een bijdrage van 1/30.000 hebben aan de jaarlijkse overstromingskans, veronderstelt wordt dat dit voor Flevoland ongeveer hetzelfde is.

## 2.4 Compartimenteren

### 2.4.1 Inleiding

Flevoland wordt door de Knardijk in twee compartimenten verdeeld: Oostelijk Flevoland en Zuidelijk Flevoland (Figuur 2-1). De Knardijk heeft een hoogte van NAP +2,8 m en zal niet overstromen. De hoogste waterstanden die optreden (bij een jaarlijkse kans van overstromen van 1/10.000) zijn NAP -0,58 m ten noorden van de Knardijk en NAP -1.16 m ten zuiden van de Knardijk (zie hoofdstuk 1). De dijk heeft dus zodanig veel overhoogte dat ook golfoverslag geen rol zal spelen. Omdat de dijk normaal gesproken droog is, is echter niet zeker dat deze niet zal bezwijken als er water tegenaan staat. Op twee locaties is de dijk doorsneden door de boezem, hier kan de dijk met schuiven worden afgesloten. De faalkans van het sluiten van de schuiven bij een overstroming is niet bekend.



Figuur 2-1 Flevoland met de Knardijk en de twee compartimenten

In hoofdstuk 1 is de jaarlijks verwachte schade gepresenteerd voor de situatie met Knardijk en zonder Knardijk. Hier wordt het verschil in economische schade en slachtoffers tussen deze scenario's verder uitgewerkt.

## 2.4.2 Schade en slachtoffers

Het effect van de Knardijk op schade en slachtoffers is bepaald door vier overstromingsscenario's uit te werken:

1. overstroming vanuit IJsselmeer, Knardijk faalt en heel Flevoland overstroomt
2. overstroming vanuit IJsselmeer, Knardijk faalt niet en alleen Oostelijk Flevoland overstroomt
3. overstroming vanuit Markermeer, Knardijk faalt en heel Flevoland overstroomt
4. overstroming vanuit Markermeer, Knardijk faalt niet en alleen Zuidelijk Flevoland overstroomt.

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 productie-stilstand) en indirecte schade (bijvoorbeeld reistijdverlies) onderscheiden. Het aantal slachtoffers en getroffensten is niet goed te bepalen met de gehanteerde globale methode voor het bepalen van de waterdiepte na een overstroming. Er wordt een inschatting gegeven van het aantal slachtoffers en getroffensten, deze kan beschouwd worden als een bovengrens. Het aantal getroffensten is per scenario voor alle kansen van voorkomen gelijk, omdat de omvang van het overstroomde gebied nauwelijks afhankelijk is van de waterstand. Gevolgen voor milieu en schade aan Landschap, Natuur en Cultuurhistorie (LNC-waarden) zijn niet beschouwd. Als input voor de schadebepaling dienen de overstromingsdiepte en het grondgebruik.

De hoeveelheid schade en aantallen slachtoffers bij overstromingen met verschillende kansen van voorkomen zijn gepresenteerd in Tabel 2-2 en Tabel 2-3. Voor de achterliggende berekeningen wordt verwezen naar hoofdstuk 1.

De aanwezigheid van de Knardijk reduceert de schade sterk: gemiddeld 46% reductie na een doorbraak vanuit het IJsselmeer en 20% reductie na een doorbraak vanuit het Markermeer. De schadereductie door de Knardijk is groter na een doorbraak vanuit het IJsselmeer doordat dan het relatief waardevolle Almere niet overstroomt.

Het aantal slachtoffers wordt door aanwezigheid van de Knardijk alleen gereduceerd bij een overstroming vanuit het IJsselmeer. De reductie in aantal slachtoffers is dan 41%. Bij een overstroming vanuit het Markermeer zorgt de Knardijk er wel voor dat er een kleiner gebied overstroomt (en er dus minder getroffensten zijn), maar wordt de waterdiepte in het overstroomde gebied zo groot dat het aantal slachtoffers zelfs iets meer is dan zonder de Knardijk.



Overstroming vanuit IJsselmeer		Heel Flevoland overstroomt (scenario 1)			Oostelijk Flevoland overstroomt (scenario 2)		
Kans [per jaar]	initiële waterstand [m +NAP]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]
1/3000	0,79	2,54	-1,28	14189	3,10	-0,65	7572
1/4000	0,82	2,55	-1,27	14243	3,12	-0,63	7628
1/6000	0,85	2,57	-1,25	14351	3,14	-0,61	7686
1/10.000	0,89	2,59	-1,23	14459	3,16	-0,58	7773

Overstroming vanuit Markermeer		Heel Flevoland overstroomt (scenario 3)			Zuidelijk Flevoland overstroomt (scenario 4)		
Kans [per jaar]	initiële waterstand [m +NAP]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]
1/3000	0,55	1,78	-2,09	10569	2,61	-1,22	8388
1/4000	0,57	1,78	-2,09	10569	2,62	-1,21	8420
1/6000	0,61	1,80	-2,07	10654	2,64	-1,19	8485
1/10.000	0,66	1,82	-2,05	10738	2,67	-1,16	8584

Tabel 2-2 Schade optredend als gevolg van de verschillende overstromingen

	Overstroming vanuit IJsselmeer		Overstroming vanuit Markermeer	
	Heel Flevoland overstroomt (scenario 1)	Oostelijk Flevoland overstroomt (scenario 2)	Heel Flevoland overstroomt (scenario 3)	Zuidelijk Flevoland overstroomt (scenario 4)
gem. eindwaterdiepte	2,41 – 2,46 m	3,04 – 3,11 m	1,63 – 1,67 m	2,55 – 2,61 m
aantal slachtoffers	1141 - 1175	670 - 699	700 - 717	703 - 729
aantal getroffen ( * 1000)	242	97	242	146

Tabel 2-3 Range in aantal slachtoffers en getroffen ( \* 1000) optredend als gevolg van de verschillende overstromingen

### Jaarlijks verwachte schade

Het risico (in economische schade) kan worden uitgedrukt in € 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  $K_n$

Als bovengrens is een gebeurtenis met een jaarlijkse kans van 1/10.000 gekozen. In de klassieke methode (norm) beginnen de schadeklassen bij een jaarlijkse kans van 1/4000; bij gebeurtenissen met een grotere kans vindt geen overstroming plaats en is de schade nul. Voor de VNK methode beginnen de schadeklassen bij een jaarlijkse kans van 1/3000. De berekende economische risico's voor de verschillende scenario's zijn gegeven in Tabel 2-4.

Scenario	Economisch risico [mln. € per jaar]	
	Klassieke methode	VNK methode
1 Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	3,6	4,8
2 Oostelijk Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	1,9	2,6
3 Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	2,7	3,6
4 Zuidelijk Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	2,1	2,8

Tabel 2-4 Economisch risico bij de verschillende scenario's

### 2.4.3 Kosten-batenanalyse

#### Baten

De baten van compartimentering door de Knardijk zijn de verminderingen in schade die de aanwezigheid van de Knardijk oplevert, bij overstroming vanuit het IJsselmeer en vanuit het Markermeer. Om deze baten te bepalen, wordt schade met en zonder Knardijk vergeleken. Om de schade over een zeker 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  
 $n$  = 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. Er kan rekening gehouden worden met een risico opslag tot 3,0%.

De contante waarde is voor alle scenario's berekend met een discontovoet van 2,5 en 3,0% en voor een tijdshorizon van 50 jaar en oneindig (volgens OEI). De resultaten zijn opgenomen in Tabel 2-5. De baten van de compartimentering door de Knardijk (CW schade scenario zonder Knardijk min CW schade scenario met Knardijk) zijn gegeven in Tabel 2-6.

<b>Tijdshorizon 50 jaar</b>					
<b>contante waarde</b> [mln. €]		overstroming vanuit IJsselmeer		overstroming vanuit Markermeer	
methode	discontovoet [%]	scenario 1 zonder Knardijk	scenario 2 met Knardijk	scenario 3 zonder Knardijk	scenario 4 met Knardijk
Klassieke methode	2,5	102	54	77	60
Klassieke methode	3,0	93	49	69	54
VNK methode	2,5	137	74	102	79
VNK methode	3,0	124	67	93	72

<b>Tijdshorizon oneindig</b>					
<b>contante waarde</b> [mln. €]		overstroming vanuit IJsselmeer		overstroming vanuit Markermeer	
methode	discontovoet [%]	scenario 1 zonder Knardijk	scenario 2 met Knardijk	scenario 3 zonder Knardijk	scenario 4 met Knardijk
Klassieke methode	2,5	144	76	108	84
Klassieke methode	3,0	120	63	90	70
VNK methode	2,5	192	104	144	112
VNK methode	3,0	160	87	120	93

Tabel 2-5 Contante waarde van de schade in verschillende scenario's en bij verschillende tijdshorizon

<b>Baten</b> [mln. €]		overstroming vanuit IJsselmeer		overstroming vanuit Markermeer	
Tijdshorizon	discontovoet [%]	klassieke methode	VNK methode	klassieke methode	VNK methode
50 jaar	2,5	48	62	17	23
50 jaar	3,0	44	57	15	21
oneindig	2,5	68	88	24	32
oneindig	3,0	57	73	20	27

Tabel 2-6 Baten (in contante waarde van de schade) van compartimentering door de Knardijk

### Kosten

De benodigde investerings- en onderhoudskosten om de Knardijk waterkerend te maken en/of te houden zijn momenteel niet bekend, maar enkele kentallen zijn wel te geven.

De kosten voor dijkverzwaring worden verondersteld ongeveer gelijk te zijn aan die van dijkverhoging (€ 3,0 miljoen per km; paragraaf 2.2). De Knardijk is ruim 18 km lang. Als de dijk over de gehele lengte verzwared zou moeten worden kost dit ongeveer:

$$18 \text{ km} \times \text{€ } 3 \text{ miljoen} = \text{€ } 54 \text{ miljoen.}$$

Dit zijn eenmalige investeringskosten. Voor de kunstwerken waarmee de twee openingen in de Knardijk gesloten dienen te worden, wordt gewerkt met de volgende kentallen per kunstwerk (ervaringsgetallen VNK, Thonus et al., 2005):

- niet sluiten afsluitmiddelen: € 0,2 miljoen
- sterkte en stabiliteit: € 2 miljoen
- kerende hoogte: € 20 miljoen

### **Analyse**

De contante waarde van de baten bedragen tussen de € 15 en de 68 miljoen in de klassieke methode en tussen de € 21 en de 88 miljoen in de VNK methode. Verzwaren van de dijk (ruim 18 km lang) kan in beide methoden dus een interessante maatregel zijn. Ook het eventueel sluitend maken van de twee kunstwerken zou waarschijnlijk gunstig zijn, vooral wanneer gewerkt wordt met het risico volgend uit de VNK methode. Ook of een doorbraak verwacht wordt vanuit het IJsselmeer of vanuit het Markermeer is bepalend voor de kosten-baten verhouding van de maatregel. Bij een doorbraak vanuit het IJsselmeer levert de Knardijk meer baten en zou het zeker rendabel zijn de kunstwerken te optimaliseren. Nota bene: de sterkte van de Knardijk en de faalkans van de kunstwerken zijn momenteel niet bekend, mogelijk zijn deze reeds klein.

Door te compartimenteren wordt een deel van de schade verplaatst. Compartimentering reduceert de schade in heel Flevoland, maar is voor het overstroomde compartiment ongunstig. Het compartiment dat niet overstroomt heeft geen schade, maar het andere compartiment des te meer door de grotere waterdiepte. In het aantal slachtoffers is dit effect nog sterker, in Zuidelijk Flevoland zijn zelfs meer slachtoffers als gevolg van de compartimentering.

## **2.5 Kernen ophogen**

### **2.5.1 Inleiding**

Bij een overstroming van Flevoland ontstaat het grootste deel van de schade op locaties met veel waarde, zoals bebouwd gebied. Dit betreft de volgende gebieden:

- Almere
- Lelystad
- Dronten
- Zeewolde
- Swifterband
- Biddinghuizen
- Vliegveld Lelystad

Wanneer deze kernen hoger zouden zijn aangelegd en dus niet of tot een kleinere waterdiepte zouden overstroomden, wordt waarschijnlijk een groot deel van de schade voorkomen. Dit wordt onderzocht door de bodem onder de kernen hoger te modelleren dan deze is. Dit is theoretisch; de kernen liggen hoe ze liggen en Lelystad kan bijvoorbeeld niet een meter opgehoogd worden. De effecten van ophoging worden echter wel inzichtelijk gemaakt, mogelijk kan dit meegenomen worden bij de aanbouw van nieuwe wijken.

Uitgangspunt is de ophoging van de kernen met 1 m. Bij opbrengen van 1 m grond zal echter extra bodemdaling optreden, door extra klink als gevolg van het gewicht van die ene meter grond die er opgebracht is. Hoeveel klink optreedt hangt af van het materiaal van de ondergrond en de dikte van de dragende, inklinkende laag. In Tabel 2-7 zijn enige indicatieve waarden voor zetting opgenomen, voor ondergrond die in Flevoland verwacht kan worden. Dit is de eindzetting die na een periode van bijna 30 jaar (10.000 dagen) bereikt is. Voor dit

onderzoek wordt gesteld dat gemiddeld 25 cm klink op kan treden. Derhalve is uitgewerkt wat 25 cm klink (dus resterende ophoging van 75 cm) zou betekenen voor het overstromingsrisico in schade en slachtoffers.

Klei (C=20)		Zand (C=100)		Veen (C=5)	
dikte [m]	zetting [m]	dikte [m]	zetting [m]	dikte [m]	zetting [m]
2	0,07	2	0,01	2	0,28
5	0,26	5	0,05	5	1,05
10	0,60	10	0,12		

Tabel 2-7 Waarden voor zetting voor verschillende ondergrond

Nota bene: Bodemdaling treedt ook in de huidige situatie op. In 2005 is de bodemdaling voor 1998 tot 2030 voor verschillende gebieden Flevoland geschat; deze varieert tussen 3 cm en 45 cm (Vermeulen et al., 2000).

Gezien de eindwaterdieptes na een overstroming (zie hoofdstuk 1), zal ophoging van de kernen met 1 m overstroming van die kernen niet kunnen voorkomen. De waterdiepte in de overstroomde kernen zal echter minder zijn dan zonder de ophoging.

### 2.5.2 Aanpak

In alle genoemde kernen is het hoogtetgrid opgehoogd (Figuur 2-2). Dit is gedaan voor de initiële ophoging met 1,00 m en voor de na zetting resterende ophoging van 0,75 m. Vervolgens is voor buitenwaterstanden met een jaarlijkse kans van voorkomen van 1/3000, 1/4000, 1/6000 en 1/10.000 het evenwichtspeil na overstroming van Flevoland bepaald. Dit is gedaan voor overstroming vanuit het IJsselmeer en vanuit het Markermeer, en voor situaties waarin de Knardijk bezwijkt en waarin hij niet bezwijkt. De gehanteerde methode is beschreven in hoofdstuk 1.



Figuur 2-2 Flevoland met de opgehoogde gebieden groen omlijnt

### 2.5.3 Schade en slachtoffers

De economische schade en het aantal slachtoffers zijn op dezelfde wijze bepaald als in paragraaf 2.4.2.

In Tabel 2-8 zijn voor de overstromingen de gevolgen in waterdiepte, waterstand en in economische schade gegeven, bij ophoging van de kernen met 1 m. In Tabel 2-9 zijn de gevolgen in slachtoffers en getroffen en gegeven. De resultaten na zetting (ophoging van 0,75 cm) worden getoond in Tabel 2-10 en Tabel 2-11.

Overstroming vanuit IJsselmeer		Heel Flevoland overstroomt (scenario 1)			Oostelijk Flevoland overstroomt (scenario 2)		
Kans [per jaar]	initiële waterstand [m +NAP]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]
1/3000	0,79	2,47	-1,23	10752	3,03	-0,61	5736
1/4000	0,82	2,49	-1,21	10834	3,05	-0,59	5770
1/6000	0,85	2,50	-1,20	10876	3,06	-0,57	5805
1/10.000	0,89	2,53	-1,17	10999	3,08	-0,55	5840

Overstroming vanuit Markermeer		Heel Flevoland overstroomt (scenario 3)			Zuidelijk Flevoland overstroomt (scenario 4)		
Kans [per jaar]	initiële waterstand [m +NAP]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]
1/3000	0,55	1,75	-2,02	6831	2,54	-1,16	6205
1/4000	0,57	1,76	-2,01	6876	2,55	-1,15	6229
1/6000	0,61	1,77	-2,00	6939	2,57	-1,13	6278
1/10.000	0,66	1,79	-1,98	7063	2,60	-1,10	6352

Tabel 2-8 Schade optredend als gevolg van de verschillende overstromingen, bij ophoging van de kernen met 1 m

	Overstroming vanuit IJsselmeer		Overstroming vanuit Markermeer	
	Heel Flevoland overstroomt (scenario 1)	Oostelijk Flevoland overstroomt (scenario 2)	Heel Flevoland overstroomt (scenario 3)	Zuidelijk Flevoland overstroomt (scenario 4)
gem. eindwaterdiepte	2,47 – 2,53 m	3,03 – 3,08 m	1,75 – 1,79 m	2,54 – 2,60 m
aantal slachtoffers	656 - 681	394 - 408	374 - 387	403 - 419
aantal getroffen ( * 1000)	242	97	242	146

Tabel 2-9 Aantal slachtoffers en getroffen ( \* 1000) optredend als gevolg van de verschillende overstromingen, bij ophoging van de kernen met 1 m

De sterkste schadereductie vindt plaats bij een overstroming vanuit het Markermeer, waarbij heel Flevoland overstroomt. In dit scenario levert de ophoging met 1 m een schade reductie van 35%, in de overige scenario's is dit gemiddeld 25%. De reductie in slachtoffers is gemiddeld 43%, het aantal slachtoffers is sterker afhankelijk van de waterdiepte dan de schade.

Overstroming vanuit IJsselmeer		Heel Flevoland overstroomt (scenario 1)			Oostelijk Flevoland overstroomt (scenario 2)		
Kans [per jaar]	initiële waterstand [m +NAP]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]
1/3000	0,79	2,49	-1,24	11556	3,05	-0,62	6086
1/4000	0,82	2,50	-1,23	11597	3,06	-0,60	6128
1/6000	0,85	2,52	-1,21	11678	3,08	-0,58	6171
1/10.000	0,89	2,54	-1,19	11759	3,11	-0,55	6236

Overstroming vanuit Markermeer		Heel Flevoland overstroomt (scenario 3)			Zuidelijk Flevoland overstroomt (scenario 4)		
Kans [per jaar]	initiële waterstand [m +NAP]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]	gem. eind waterdiepte [m]	eind waterstand [m +NAP]	schade [mln. €]
1/3000	0,55	1,75	-2,04	7954	2,55	-1,18	6683
1/4000	0,57	1,76	-2,03	8008	2,56	-1,17	6707
1/6000	0,61	1,78	-2,01	8116	2,59	-1,14	6779
1/10.000	0,66	1,80	-1,99	8222	2,62	-1,11	6852

Tabel 2-10 Schade optredend als gevolg van de verschillende overstromingen, bij resterende ophoging van de kernen van 0,75 m

	Overstroming vanuit IJsselmeer		Overstroming vanuit Markermeer	
	Heel Flevoland overstroomt (scenario 1)	Oostelijk Flevoland overstroomt (scenario 2)	Heel Flevoland overstroomt (scenario 3)	Zuidelijk Flevoland overstroomt (scenario 4)
gem. eindwaterdiepte	2,49 – 2,54	3,05 – 3,11	1,75 – 1,80	2,55 – 2,62
aantal slachtoffers	756 - 780	449 - 468	442 - 459	464 - 484
aantal getroffen (* 1000)	242	97	242	146

Tabel 2-11 Aantal slachtoffers en getroffen optredend als gevolg van de verschillende overstromingen, bij resterende ophoging van de kernen van 0,75 m

Ook hier vindt de sterkste schadereductie (ten opzichte van niet-ophogen) plaats bij een overstroming vanuit het Markermeer, waarbij heel Flevoland overstroomt. In dit scenario levert de ophoging met 0,75 m een schade reductie van 24%, in de overige scenario's is dit gemiddeld 20%. De reductie in slachtoffers is gemiddeld 34%, het aantal slachtoffers is sterker afhankelijk van de waterdiepte dan de schade.

De hoeveelheid schade en het aantal slachtoffers na ophoging met 0,75 m liggen tussen die in de scenario's zonder ophoging en met ophoging van 1 m. De vermindering in schade en slachtoffers verloopt ongeveer lineair met de ophoging.



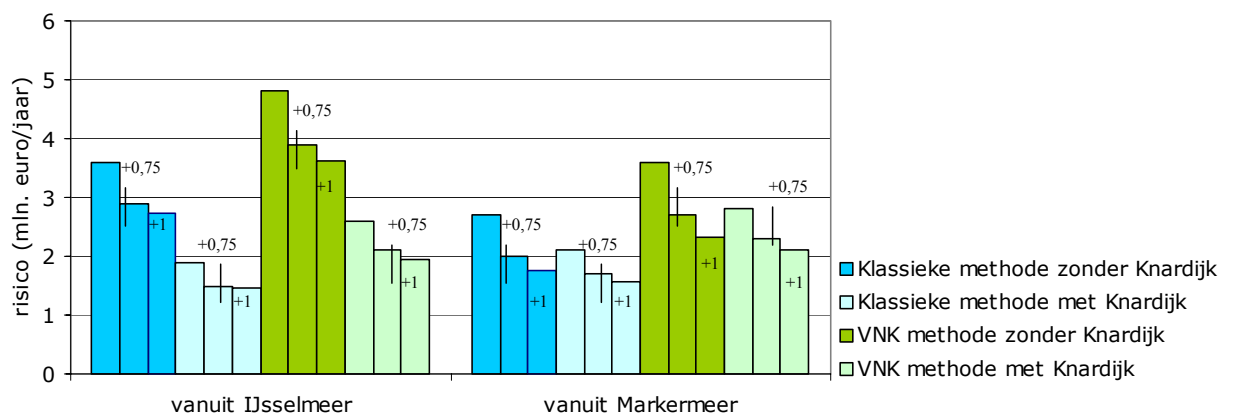
### Jaarlijks verwachte schade

Het risico is uitgedrukt in jaarlijks verwachte schade, op de manier die is beschreven in paragraaf 2.4.2.

De berekende economische risico's voor de verschillende scenario's zijn gegeven in Tabel 2-12 en Figuur 2-3, voor de situatie met het maaiveld op huidige hoogte en met ophoging van de kernen met 1 m en met 0,75 m.

Scenario	Methode	Economisch risico [mln. € per jaar]		
		huidige hoogte	kernen + 1 m	kernen +0,75 m
1 Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	Klassiek	3,6	2,7	2,9
2 O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	Klassiek	1,9	1,5	1,5
3 Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	Klassiek	2,7	1,7	2,0
4 Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	Klassiek	2,1	1,6	1,7
1 Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	VNK	4,8	3,6	3,9
2 O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	VNK	2,6	1,9	2,1
3 Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	VNK	3,6	2,3	2,7
4 Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	VNK	2,8	2,1	2,3

Tabel 2-12 Economisch risico bij verschillende scenario's, met en zonder ophoging van de kernen



Figuur 2-3 Economisch risico voor een doorbraak vanuit het IJsselmeer en een doorbraak vanuit het Markermeer, met en zonder ophoging van de kernen

De reductie in risico als gevolg van het ophogen van de kernen is het sterkst voor zuidelijk Flevoland, omdat daar de meeste waarde is (Almere).

### 2.5.4 Kosten-batenanalyse

#### Baten

De baten van ophoging van de kernen zijn de vermindering in schade die de ophoging oplevert. Deze zijn bepaald zoals beschreven in paragraaf 2.4.3. De contante waarde is voor alle scenario's berekend met een discontovoet van 2,5 en 3,0% en voor een tijdshorizon van 50 jaar. De resultaten zijn opgenomen in onderstaande tabel.

Tijdshorizon oneindig		discontovoet	contante waarde	
		[%]	[mln. €]	
scenario			Klassieke methode	VNK methode
1	Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	2,5	144	192
2	O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	2,5	76	104
3	Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	2,5	108	144
4	Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	2,5	84	112
1	Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	3,0	120	160
2	O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	3,0	63	87
3	Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	3,0	90	120
4	Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	3,0	70	93

Tabel 1-9.

scenario		discontovoet	contante waarde –Klassieke methode		
		[%]	[mln. €]		
			huidige hoogte	kernen +1 m	kernen +0,75 m
1	Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	2.5	102	77	82
2	O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	2.5	54	43	43
3	Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	2.5	77	48	57
4	Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	2.5	60	45	48
1	Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	3.0	93	69	75
2	O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	3.0	49	39	39
3	Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	3.0	69	44	51
4	Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	3.0	54	41	44

scenario		discontovoet	contante waarde –VNK methode		
		[%]	[mln. €]		
			huidige hoogte	kernen +1 m	kernen +0,75 m
1	Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	2.5	136	102	111
2	O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	2.5	74	54	60
3	Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	2.5	102	65	77
4	Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	2.5	79	60	65
1	Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	3.0	124	93	100
2	O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	3.0	67	49	54
3	Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	3.0	93	59	69
4	Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	3.0	72	54	59

Tabel 2-13 Contante waarde van de schade in verschillende scenario's, met en zonder ophoging

Gesteld is dat na 30 jaar de eindzetting van 0,25 m bereikt is. Aangenomen wordt dat in de eerste 30 jaar de ophoging van 1 m lineair reduceert tot 0,75 m<sup>1</sup> en dat in de volgende 20 jaar de resterende ophoging 0,75 m blijft. Daarmee wordt de contante waarde van de schade na ophoging:

$$CW = \frac{30 * \frac{(CW_{1m} + CW_{0,75m})}{2} + 20 * CW_{0,75m}}{50}$$

De resulterende baten van de ophoging (CW schade zonder ophoging min CW schade met ophoging) zijn gegeven in Tabel 2-14.

scenario	discontovoet [%]	Baten [mln. €]	
		Klassiek methode	VNK methode
1 Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	2,5	22	28
2 O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	2,5	11	16
3 Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	2,5	23	29
4 Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	2,5	13	16
1 Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	3,0	20	26
2 O. Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	3,0	10	15
3 Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	3,0	20	27
4 Z. Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	3,0	11	15

Tabel 2-14 Baten (in contante waarde van de schade) van ophoging van de kernen met (initieel) 1 m

### Kosten

Het ophogen van de kernen met 1 m grond kent eenmalige investeringskosten. Hiervan is een ruwe schatting gemaakt op basis van het volume benodigde zand en de transportkosten. De investeringskosten worden geschat op ongeveer € 0,5 miljard.

### Analyse

De contante waarde van de baten bedragen tussen de € 11 en 23 miljoen met de klassieke methode, en tussen € 16 en 28 miljoen met de VNK methode. De kosten van ophoging van de kernen liggen hier ver boven. Het ophogen van de kernen is wat kosten-baten betreft zowel in de klassieke methode als in de VNK methode niet efficiënt.

Hierbij wordt opgemerkt dat het ophogen van de kernen het aantal slachtoffers na een overstroming reduceert met gemiddeld 34 tot 43%.

<sup>1</sup> In feite verloopt zetting volgens een e-macht, maar omdat exacte gegevens over de ondergrond hier ook niet in beschouwing zijn genomen en het dus toch om schattingen gaat, kan gewerkt worden met deze aanname.

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

### **3.1 Inleiding**

Voor het project 'Van neerslag tot schade' wordt de normering en samenhang van deze normen op basis van risico voor verschillende typen wateroverlast bestudeerd en vergeleken. De normering en samenhang wordt uitgewerkt voor drie casegebieden. Dit hoofdstuk behandelt voor de case Flevoland (waterschap Zuiderzeeland) de poldernormering en het economisch risico van het regionale watersysteem. De normering en het economisch risico van de primaire keringen in Flevoland zijn behandeld in hoofdstuk 1.

In het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW, 2003) zijn landelijke werknormen voor wateroverlast in regionale watersystemen vastgelegd. Deze normen zijn gebaseerd op een economische afweging (kosten-batenanalyse) en een inschatting van de maatschappelijke aanvaardbaarheid van de kans op wateroverlast. Waterschap Zuiderzeeland hanteert een eigen, strengere norm, de Flevolandse Norm. Volgens deze norm mag landbouwgebied maximaal eens in 80 jaar en stedelijk gebied maximaal eens in 100 jaar schade ondervinden door regionale wateroverlast. Bij de toetsing aan de norm wordt gekeken naar overschrijding van waterstanden als gevolg van neerslag. Mogelijke faalmechanismen als opwaaiing en falen van gemalen wordt hierin niet meegenomen. Deze kunnen echter wel een rol spelen.

Schade door inundaties vanuit het regionale watersysteem zijn bepaald met schademodelen voor regionale wateroverlast en het model dat gebruikt is voor schadebepaling na overstroming van de primaire keringen, om de schademodelen te kunnen vergelijken. Uitgangspunt hierbij is dat de schade wordt bepaald aan de hand van het huidig landgebruik. Doel van dit hoofdstuk is het verschil in economisch risico tussen de 'toetsing' methode en een methode waarin naar meer faalmechanismen wordt gekeken.

In de volgende paragraaf is kort de werking van het watersysteem in Zuiderzeeland beschreven. Daarna wordt de inundatiekans bepaald, gevolgd door de bijbehorende schade is bepaald. Tenslotte worden de economische risico's bepaald.

### **3.2 Systeembeschrijving**

Flevoland (dijkring 8) bestaat uit twee polders, Oostelijk en Zuidelijk Flevoland. Beide polders zijn verdeeld in de zogenaamde hoge afdeling en lage afdeling (Figuur 3-1), die afwateren op respectievelijk de Hoge en Lage vaart. In totaal is Flevoland opgedeeld in 146 peilvakken. Deze wateren via 11 hoofdeenheden uiteindelijk af op de Lage Vaart en de Hoge Vaart (deels gestuwd en deels bemalen), van waaruit het water wordt uitgeslagen op het buitenwater met behulp van vier gemalen (Tabel 3-1). Bij de inrichting van het waterhuishoudkundige systeem van Flevoland is gekozen voor een grote gemaalcapaciteit en weinig berging in het oppervlaktewater, waardoor het percentage open water relatief laag is (2,7% van het totale oppervlak binnendijks).



Figuur 3-1 De Hoge en lage afdelingen in Flevoland en de Noordoostpolder (bron: website Zuiderzeeland).

Het verschil tussen beide afdelingen is het gehanteerde streefpeil (Hoge Afdeling NAP -5,20; Lage Afdeling NAP -6,20m)

Gemaal	locatie	bemalen afdeling	aantal pompen	capaciteit per pomp	opvoerhoogte
De Blocc van Kuffeler	Almere	Hoge afdeling	2	850 m <sup>3</sup> /min	5 m
		Lage afdeling	2	700 m <sup>3</sup> /min	6 m
Wortman	Lelystad	Lage afdeling	4	500 m <sup>3</sup> /min	6 m
Colijn	Ketelhaven	Hoge afdeling	1	580 m <sup>3</sup> /min	5 m
		Lage afdeling	2	500 m <sup>3</sup> /min	6 m
Lovink	Harderhaven	Hoge afdeling	2	580 m <sup>3</sup> /min	5 m
<b>Totaal</b>				<b>7840 m<sup>3</sup>/min</b>	
(oppervlak is 97296 ha)				<b>11,6 mm/dag</b>	

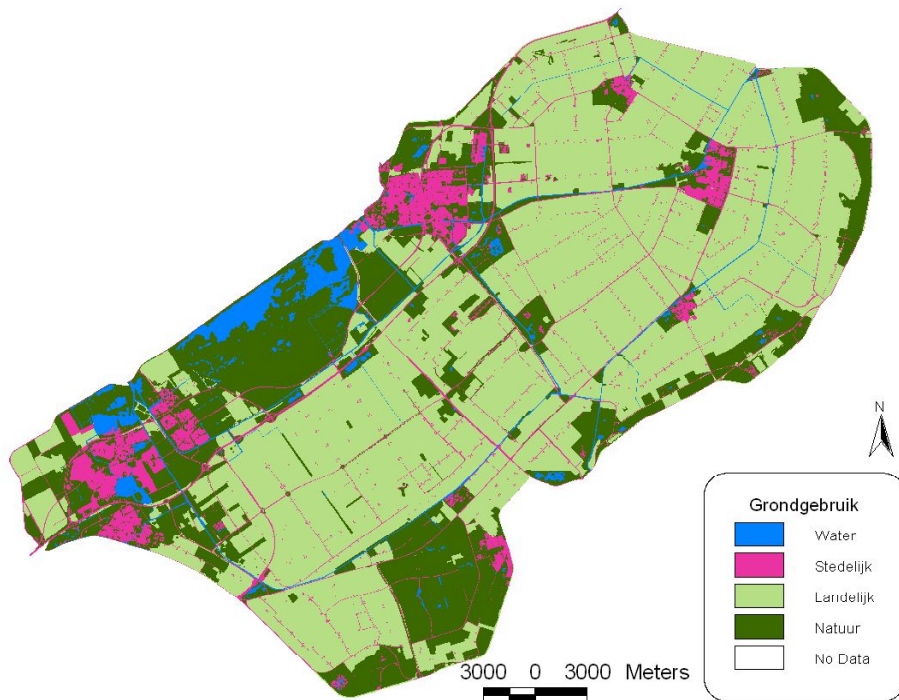
Tabel 3-1 De grote gemalen in Flevoland

## 3.3 Inschatting inundatiekans

### 3.3.1 Norm

In het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW, 2003) zijn landelijke werknormen<sup>2</sup> voor wateroverlast in regionale watersystemen vastgelegd. Deze normen zijn gebaseerd op een economische afweging (kosten-batenanalyse) en een inschatting van de maatschappelijke aanvaardbaarheid van de kans op wateroverlast. Waterschap Zuiderzeeland hanteert de provinciale norm, de zogenaamde Flevolandse Norm. Hierin is voor landelijk gebied (Figuur 3-2) de norm voor wateroverlast gemiddeld één keer per 80 jaar en maximaal één keer per 50 jaar. Voor stedelijk gebied (Figuur 3-2) een norm van eens in de 100 jaar (1/100), met een maximale afvoer van 1,5 liter per seconde per hectare (Omgevingsplan Flevoland 2006).

<sup>2</sup> De werknormen zijn in 2007 vastgesteld als de Basisnormen.



Figuur 3-2 Grondgebruik in Flevoland, voor toetsing aan Flevolandse norm

### 3.3.2 Kansbepaling volgens de toetsing

In september 2007 is een studie naar de huidige en toekomstige regionale wateroverlast afgerond (Nelen en Schuurmans, 2007). Hierin is met behulp van een gekoppeld hydrologisch-hydraulisch model (Sobek Rural rainfall-runoff en channel flow modules) de toetsing op wateroverlast uitgevoerd. In deze studie is de wateroverlast bepaald door een neerslagreeks van 100 jaar (in uurwaarden) op te leggen aan het model en zo per locatie een 100-jarige waterstandreeks te berekenen (tijdreeksmethode). Hiermee zijn de mogelijke faalfactoren begintoestand van de polder, het neerslagvolume en de neerslagintensiteit gecombineerd. Per jaar is de hoogste waterstand bepaald; de hoogste van deze is de waterstand horende bij eens per 100 jaar. Hiermee wordt aangenomen dat de 100-jarige neerslagreeks representatief is, en dat de hoogste opgetreden waterstand in die 100 jaar ook daadwerkelijk een kans van voorkomen van 1/100 per jaar heeft.

Het resultaat (afgeleid van Nelen en Schuurmans, 2007) van deze toetsing is dat bij de huidige inrichting van het watersysteem, in 2015, 1008 ha in Flevoland niet aan de norm voldoet. In Tabel 3-2 is dit uitgesplitst naar landgebruik en is de situatie voor 2050 gegeven. Voor de situatie in 2015 is rekening gehouden met bodemdaling (1/3 van de verwachte bodemdaling in 2050) en klimaatverandering (1/3 van het middenscenario 2050). Voor de situatie in 2050 is ook rekening gehouden met verwachte bodemdaling en klimaatverandering (middenscenario 2050).

Landgebruik	2015		2050	
	[ha]	[% oppervlak landgebruik]	[ha]	[% oppervlak landgebruik]
stedelijk	155	1,9	415	4,9
landbouw met 1% maaiveldcriterium <sup>3</sup>	850	1,5	6941	12
<b>totaal</b>	<b>1008</b>		<b>7356</b>	
landbouw zonder maaiveldcriterium	1443	2,4	7533	13

Tabel 3-2 Oppervlak in Flevoland dat niet voldoet aan de norm, in 2015 en 2050, bij de huidige inrichting van het watersysteem

### 3.3.3 Kansbepaling met extra faalmechanismen

In een evaluatie van de waterhuishouding van Flevoland uit 2000 (Vermeulen et al., 2000) is voor gebeurtenissen met een herhalingstijd groter dan 30 jaar de overschrijdingskans van waterstanden bepaald aan de hand van de volgende factoren:

- begintoestand in de polder (voorgeschiedenis van de bodem)
- neerslagvolume
- neerslagintensiteit
- falen van een poldergemaal.

Verschillende combinaties van waarden van bovenstaande factoren kunnen leiden tot hoge waterstanden (bijvoorbeeld een natte bodem, groot neerslagvolume bij een gemiddelde neerslagintensiteit, terwijl de gemalen werken). Aan de hand van de toetsing uit 2007 en de evaluatie uit 2000 wordt het effect van mogelijke extra faalmechanismen op de wateroverlast bepaald. Naast 'falen van een poldergemaal' zijn in voorliggende studie nog twee factoren als mogelijke faalmechanismen aangemerkt:

- opwaaiing
- belemmering bemalen op buitenwater

De mogelijke faalmechanismen worden hieronder uitgewerkt.

#### Falen van een poldergemaal

Zowel in de Hoge als in de Lage afdeling zijn er deelgebieden die worden bemalen. Wanneer een poldergemaal uit zou vallen, kan het water uit deze deelgebieden dus niet worden afgevoerd en ontstaat er mogelijk een situatie van wateroverlast. Bij falen van een poldergemaal functioneren één of meerdere eenheden van een gemaal niet op een moment dat de situatie van het watersysteem hierom vraagt. Het gemaal kan de gevraagde capaciteit niet leveren, terwijl de gevraagde capaciteit lager is dan de ontwerpcapaciteit. De tijdsduur waarover een gemaal faalt en het capaciteitsverlies is van belang voor het al dan niet optreden van wateroverlast. In verschillende studies (Hartong en Vermeulen, 1999; Lammers en Versteeg, 2003; Lammers et al., 2006) is voor verschillende oorzaken van falen de kans en de gemiddelde duur bepaald. Hierin is onder andere gekeken naar onderhoudsgegevens van diverse waterschappen, waaronder Heemraadschap Flevowaard. Enkele voorbeelden van faalmechanismen zijn gegeven in Tabel 3-3.

<sup>3</sup> percentage van het laagste maaiveld, waarvan inundatie niet wordt beschouwd als wateroverlast. Dit is enerzijds bedoeld om invloed van lokale depressies en laaggelegen slootkanten te beperken en anderzijds om het effect van meetfouten te beperken.

Faalmechanisme		Faalkans	Duur niet- beschikbaarheid	Capaciteitsverlies
		[1/jaar]		[%]
Calamiteit	-Blikseminslag	0,001	> 6 uur	100
	-Brand elektrisch/diesel gemaal	0,001/ 0,004	6 uur tot 6 maanden	100
	-Inbraak inclusief vandalisme buiten/binnen gemaal	0,001/ 0,004	> 6 uur	100
Energie voorziening	-Elektriciteit	0,005	> 6 uur	100
	-Diesel	0,001	> 6 uur	100
Besturing		Gemaalspecifiek	Gemaalspecifiek	100
Afsluitklep		0,001	> 6 uur	1 maalgang

Tabel 3-3 Voorbeelden van faalmechanismen met bijbehorende kansen, duur en capaciteitsverlies

Uit bovengenoemde onderzoeken blijkt dat de kans op falen van (een eenheid van) een gemaal minder dan 1/100 per jaar is. Net als in de evaluatie van de waterhuishouding in 2000 (Vermeulen et al., 2000) is 'falen van een gemaal' verder niet als faalfactor meegenomen, omdat wateroverlast met een kans van voorkomen tot 1/100 per jaar wordt beschouwd.

### Belemmering bemalen op buitenwater

Het water uit Zuiderzeeland wordt door vier gemalen uitgeslagen op het buitenwater. Bij falen van (één van) deze gemalen zal het peil op de Hoge en/of Lage Vaart stijgen en zullen mogelijk zowel de bemalen deelgebieden als de gestuwde deelgebieden hun water niet meer kwijt kunnen op de Vaart(en). Mogelijke wateroverlast ontstaat daardoor in de polders vanuit de kavelsloten en niet vanuit de Hoge en/of Lage Vaart.

Twee scenario's leiden tot belemmering van uitslaan op het buitenwater:

- Falen van een gemaal
- Hoge buitenwaterstand

Het falen van een groter gemaal heeft, net als falen van een poldergemaal, een kans van voorkomen kleiner dan 1/100 per jaar en wordt hier dus niet beschouwd.

Het is denkbaar dat de buitenwaterstand op bijvoorbeeld het IJsselmeer zodanig hoog is dat gemaal Wortman bij Lelystad niet meer (optimaal) kan uitslaan. Een hoge waterstand op het buitenwater wordt veroorzaakt door een hoge IJsselafvoer en harde noordwesten wind, waardoor het IJsselmeer niet voldoende kan spuien. Hoge waterstanden in de polder worden vooral veroorzaakt door hoge neerslag en de kans hierop wordt onafhankelijk veronderstelt van de kans op hoge buitenwaterstanden. De gemalen die de Hoge Afdeling bemalen hebben hun maximale capaciteit bij een opvoerhoogte van 5 m, gemalen die de Lage Afdeling bemalen hebben hun maximale capaciteit bij een opvoerhoogte van 6 m. De streefpeilen van de Hoge en Lage Afdelingen liggen respectievelijk op NAP -5,20 m en NAP -6,20 m. Bij binnen waterstanden op streefpeil werken de gemalen dus optimaal tot een buitenwaterstand van NAP -0,20. Het streefpeil op het buitenwater is in de winter (wanneer wateroverlastsituaties het meest waarschijnlijk zijn) NAP -0,40 m. In Hydra-M zijn bij gemaal Wortman en bij De Blocq van Kuffeler de waterstanden die eens per 100 jaar voorkomen, bepaald. Wanneer het polderpeil op streefpeil is, is de extra opvoerhoogte bepaald bij deze buitenwaterstanden (Tabel



3-4). Voor gemaal Wortman is het capaciteitsverlies 24% bij een polderpeil op streefpeil en een buitenwaterstand die gemiddeld eens per 100 jaar voorkomt.

Voor de situatie waarin de polderwaterstanden gelijk zijn aan de waterstanden met een kans van voorkomen van 1/100 per jaar (gelijk aan de maximale polderwaterstanden; Nelen en Schuurmans, 2007) is de opvoerhoogte minder dan maximaal en is er dus geen capaciteitsverlies.

Gemaal	binnenwaterstand		buitenwaterstand		extra opvoerhoogte [m]	capaciteitsverlies [%]
	streefpeil	T100*	T100	variabel		
	[NAP +m]	[NAP +m]	[NAP +m]	[NAP +m]		
Wortman – Lage Afdeling	-6,20		0,62		0,82	24
De Blocq van Kuffeler – Hoge Afdeling	-5,20		0,28		0,48	8
De Blocq van Kuffeler – Lage Afdeling	-6,20		0,28		0,48	11

\* waterstand geldt voor peilvakken ZZL41(Lage Afdeling) en ZZI42 (Hoge Afdeling) (Nelen en Schuurmans, 2007)

Tabel 3-4 Binnen- en buitenwaterstanden en capaciteitsverlies gemalen door extra opvoerhoogte

## 3.4 Schadebepaling

### 3.4.1 Schade bij kans volgens toetsing

In voorliggende studie zijn twee schademodelen gebruikt om de inundatieschade te berekenen. Bij het opstellen van de systematiek die heeft geleid tot de Basisnormen (vastgestelde NBW werknormen) is een schademodel opgesteld (WB21 schademodel; van der Bolt en Kok, 2000). Dit schademodel bestaat uit zes schadefuncties voor zes typen landgebruik. Het WB21 schademodel is ontwikkeld voor schadebepaling voor overlast vanuit regionale watersystemen en richt zich op directe schade ten gevolge van hoge grondwaterstanden en overstromingen met geringe waterdiepte. De HIS Schade en Slachtoffermodule (HIS-SSM, versie 2.2; Huizinga et al., 2005) is het tweede schademodel dat gebruikt is. HIS-SSM is ontwikkeld voor het vaststellen van schade en slachtoffers bij grootschalige overstromingen en richt zich op schadebepaling van zowel directe als indirecte schade als gevolg van overstromingen met een relatief grote waterdiepte. Dit schademodel is gebruikt in de schadebepaling voor de primaire keringen (zie hoofdstuk 1) en wordt, om vergelijking van het risico mogelijk te maken, ook hier toegepast. Hierbij wordt opgemerkt dat HIS-SSM niet geschikt is voor schadebepaling bij de kleinere waterdieptes zoals optredend bij inundatie vanuit het regionale watersysteem. De gebruikte schadefuncties zijn niet afgeregeld op deze waterdieptes.

Zowel in het WB21 model als in HIS-SSM wordt schade bepaald als functie van de inundatiediepte. Deze inundatiediepte is ons onbekend, daarom wordt voor alle geïnundeerde cellen een gelijke waterdiepte aangenomen. Hierbij is gekozen voor twee waterdieptes:

- 50 cm Voor glastuinbouw en stedelijk gebied wordt de maximale schade bereikt bij een waterdiepte van 50 cm. Grotere waterdieptes worden voor inundatie vanuit het regionale watersysteem niet verwacht, dus ook met HIS-SSM wordt bij 50 cm de maximale schade bepaald.
- 10 cm Een relatief geringe waterdiepte lijkt redelijk als gemiddelde voor inundatie vanuit het regionale watersysteem.

In geval van inundatie, onafhankelijk van de waterdiepte, treden voor grasland, akkerbouw en hoogwaardige land- en tuinbouw de maximale schadebedragen op, omdat de schade in feite al ontstaan is door de hoge grondwaterstanden die vooraf gaan aan de inundatie. Voor glastuinbouw en stedelijk gebied spelen grondwaterstanden geen rol in het ontstaan van schade. In Tabel 3-5 zijn de resultaten van de schadeberekeningen opgenomen.

Jaar	Herhalingstijd [jaar]	Schade bij 10 cm waterdiepte		Schade bij 50 cm waterdiepte	
		WB21 [mln. €]	HIS-SSM [mln. €]	WB21 [mln. €]	HIS-SSM [mln. €]
2015	80	73	6.1	351	30
	100	81	13	387	62
2050	80	204	27	924	143
	100	227	43	1022	206

Tabel 3-5 Schade bij verschillende scenario's, bepaald met WB21 model en HIS-SSM

De schade bepaald met het WB21 model is zonder uitzondering veel hoger dan die bepaald in HIS-SSM. De schade in het WB21 model wordt voor gemiddeld 94% gerealiseerd in stedelijk gebied. Het maximale schadebedrag voor stedelijk gebied in WB21 is een gemiddelde schade voor woningen en bedrijven en is daarmee hoger dan de schade die er ontstaat aan alleen huizen. In HIS-SSM wordt per woning of bedrijf een schade berekend, de schade aan bebouwd gebied in de polder valt daardoor aanzienlijk lager uit dan in het WB21 model. In HIS-SSM bepaalt de directe schade in bebouwd gebied ongeveer 40-50% van de totale schade. De schade in bebouwd gebied wordt dus mogelijk overschat met het WB21 model, maar we gaan er voor deze studie vanuit dat de schade bepaald met het WB21 model juist is dan de schade bepaald met HIS-SSM, vanuit de aard van de modellen.

Grondwaterstanden worden niet berekend in deze studie, dus schade aan grasland, akkerbouw en hoogwaardige land- en tuinbouw voordat er inundatie optreedt wordt niet bepaald. In eerder onderzoek voor Waterschap Aa en Maas (Sterk Consulting en HKV lijn in water, 2005) is zowel de natschade door hoge grondwaterstanden als de inundatieschade bepaald. Hier bleek dat de inundatieschade ongeveer 80% van de totale schade veroorzaakt. Waterschap Aa en Maas omvat een licht hellend gebied, waar grondwater makkelijker tot afstroming komt dan in een vlak gebied als Flevoland. De verwachting is dus wel dat in Flevoland natschade meer dan 20% van de totale schade zal bedragen, maar het voert momenteel te ver om dit te kwantificeren. In een nader stadium van dit onderzoek zal hier aandacht aan besteed worden.

Tijdens de toetsing van 2007 (Nelen en Schuurmans, 2007) is de zogenaamde meetbare directe schade van de eerste orde bepaald (schade aan gebouwen, infrastructuur en gewassen als gevolg van het onder water staan).

## 3.5 Risico

### 3.5.1 Jaarlijks verwachte schade

In de studie van Nelen en Schuurmans (2007) is het risico bepaald als jaarlijks verwachte schade, uitgedrukt in euro per jaar. Dit is het bedrag dat, bij gelijk blijvende omstandigheden, elk jaar gereserveerd zou moeten worden om over een langere periode alle schade te kunnen vergoeden. Het door Nelen en Schuurmans bepaalde risico bij de huidige inrichting van het watersysteem is 3,6 mln. €/jaar in 2007, 3,9 mln. €/jaar in 2015 en 4,7 mln. €/jaar in 2050.

De jaarlijks verwachte schade is, zowel door Nelen en Schuurmans als in deze studie<sup>4</sup> (voor de schadebedragen uit Tabel 3-5) bepaald volgens:

$$JVS = K_{T100} \times S(K_{T100}) + (K_{T80} - K_{T100}) \times \frac{S(K_{T80}) + S(K_{T100})}{2}$$

waarin:

$JVS$  = risico in euro per jaar

$K_{T80}$  = kans van gebeurtenis T80 (waarbij T80 is grootste kans, kleinste schade en T100 is kleinste kans, grootste schade)

$S(K_{T80})$  = schade behorende bij kans  $K_{T80}$

Hierin is aangenomen dat bij gebeurtenissen met een kleinere herhalingsperiode dan 80 jaar (grotere kans dan  $K_{T80}$ ) geen inundaties optreden en er dus geen schade ontstaat. De resulterende jaarlijks verwachte schadebedragen zijn gegeven in Tabel 3-6.

Jaar	JVS bij 10 cm waterdiepte		JVS bij 50 cm waterdiepte		JVS Nelen en Schuurmans [mln. €/jaar]
	WB21	HIS-SSM	WB21	HIS-SSM	
	[mln. €/jaar]	[mln. €/jaar]	[mln. €/jaar]	[mln. €/jaar]	
2007					3,6
2015	1,0	0,2	4,8	0,7	3,9
2050	2,8	0,5	12,7	2,5	4,7

Tabel 3-6 Jaarlijks verwachte schade bij verschillende scenario's, bepaald met WB21 model en HIS-SSM

De jaarlijks verwachte schade zoals berekend door Nelen en Schuurmans ligt tussen die van het WB21 model en HIS-SSM in. De overeenkomst tussen de jaarlijks verwachte schades, bepaald met de verschillende modellen, toont aan dat de gevoeligheid voor welk schademodel er gebruikt wordt voor het doel van dit onderzoek niet groot is.

### 3.5.2 Contante waarde

Om de schade over een zekere tijdshorizon te kunnen beoordelen en te vergelijken met bijvoorbeeld kosten van extra gemaalcapaciteit, wordt de schade uitgedrukt in contante waarde. Door een bedrag 'contant' te maken wordt rekening gehouden met de waardeverandering in de tijd. De contante waarde (CW) van de overstromingsschade is berekend voor een situatie waarin elk jaar (gedurende n jaren) schade wordt opgelopen, welke wordt verdisconteerd naar nu. Dit berekenen we volgens:

<sup>4</sup> Ook de jaarlijks verwachte schade bij overstroming van de primaire keringen is op deze manier bepaald.

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

waarin

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

*r* = disconteringsvoet

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

De contante waarde is voor alle scenario's berekend met een discontovoet van 2,5% en voor een tijdshorizon van 50 jaar. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 3-7.

Jaar	waterdiepte [cm]	Contante waarde		
		WB21 [mln. €]	HIS-SSM [mln. €]	Nelen en Schuurmans [mln. €]
2007	-	-	-	1,4
2015	-	-	-	1,6
2050	-	-	-	1,9
2015	10	0,4	0,1	
	50	1,9	0,3	
2050	10	1,1	0,2	
	50	5,1	1,0	

Tabel 3-7 Contante waarde van de schade in verschillende scenario's

## 4 Beoordelingskader

### 4.1 Inleiding

In de studie 'Van neerslag tot schade' is voor verschillende casussen een vergelijking gemaakt tussen de risico's horende bij overstroming van de primaire keringen, het regionale watersysteem en vanuit de poldersystemen. Hiertoe zijn overstromingsschades bepaald, effectiviteit van maatregelen en kosten van maatregelen. In dit hoofdstuk worden de resultaten voor de casus Zuiderzeeland gepresenteerd. Voor Zuiderzeeland zijn voor dijkkring 8, Flevoland, de volgende punten onderzocht:

- overstromingsrisico, jaarlijks verwachte schade en contante waarde van de schade voor primaire keringen, uitgaande van de norm en uitgaande van VNK ('werkelijke overstromingskans')
- effecten van maatregelen met betrekking tot het reduceren van de overstromingskans van primaire keringen en met betrekking tot het reduceren van de gevolgen van een overstroming van de primaire keringen
- overstromingsrisico, jaarlijks verwachte schade en contante waarde van de schade voor wateroverlast vanuit het poldersysteem, met verschillende schademodelen.

In dijkkring 8 zijn geen regionale keringen aanwezig.

In dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens behandeld:

- De contante waarde van schade en maatregelen
- Het risico, in jaarlijks verwachte schade, horende bij de primaire keringen en het poldersysteem
- Een gevoeligheidsanalyse
- De conclusie met betrekking tot de samenhang tussen de normen voor primaire keringen en poldersystemen en met betrekking tot de kosten-baten analyse van maatregelen (primaire keringen).

## 4.2 Beoordelingskader Veiligheid en Economie

### 4.2.1 Beoordelingskader

Beoordelingscriterium	een- heid	huidig beheer en onderhoud	Alternatief			
			Investeren primaire keringen compartimen- -teren	dijk verhoging	ophogen kernen 1 m	ophogen kernen hoog
CW overstromingsschade	mln. €					
- Primaire keringen		136	74	0	107	28
- Poldersysteem		102	102	102	2,0	2,0
- Totaal		238	176	102	109	33
Aantal getroffen inc. slachtoffers		242.000	97.000	0	150.000	7500
Aantal slachtoffers		820	330	0	510	25
CW totale gemonetariseerde overstromingsschade	mln. €					
- Primaire keringen		153	81	0	117	32
- Poldersysteem		102	102	101	2,0	2,0
- Totaal		255	183	102	123	34
CW kosten maatregelen	mln. €					
- Primaire keringen		0	50	260	500	2500
- Poldersysteem		0	0	0	0	0
- Totaal		0	50	260	500	2500
<b>Contante Waarde</b>	<b>mln. €</b>	<b>255</b>	<b>233</b>	<b>362</b>	<b>623</b>	<b>2534</b>

### 4.2.2 Toelichting bij berekeningen en kentallen in beoordelingskader

- Er is geen rekening gehouden met autonome ontwikkeling
- Risico primaire keringen: risico berekend met de VNK methode, zichtduur 50 jaar, discontovoet 2,5%
- Compartimenteren: compartimentering door middel van Knardijk, maximale schadereductie (overstroming vanuit IJsselmeer)
- Dijkverhoging: dijk verhoogd met decimeringhoogte, resulterend in een overstromingskans van 1/40.000
- Ophogen kernen met 1 m: ophogen van alle bestaande woonkernen met 1 m (fictief)
- Ophogen kernen hoog: ophogen van alle bestaande woonkernen met 5 m. Bij een overstroming vanuit Markermeer of IJsselmeer wordt de waterdiepte niet groter dan 3,16 m; gesteld is dat 5 m ophogen voldoende is om nooit te overstromen (sluit aan bij Wagemaker, 2008). De bijbehorende schade is bepaald door uit te gaan van de situatie zonder maatregel en daarin de directe schade in bebouwd gebied op nul te stellen.
- Aantal slachtoffers is in navolging van de betooglijn 'Als het toch misgaat: Overstromingsscenario's voor rampenplannen' (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006) gesteld op 0,34 procent van de inwoners.
- Aantal getroffen is het aantal inwoners dat directe schade ondervindt van de overstroming.

- De schade door overstroming vanuit het poldersysteem is afgeleid van de toetsing uit 2007 (Nelen en Schuurmans, 2007).
- De resterende schade bij overstroming vanuit het poldersysteem wanneer de woonkernen hoger liggen, is gebaseerd op de procentuele schadereductie die optreedt in het WB21 schademodel wanneer bebouwing geen schade ondervindt.
- Gemonetariseerde overstromingsschade: hierin zijn de economische schade opgenomen en de kosten per slachtoffer (2,2 mln. euro per slachtoffer (RWS RIZA, 2007)). Kosten per getroffen zijn onbekend en daarom buiten beschouwing gelaten<sup>5</sup>.
- Kosten van compartimentering zijn onzeker, omdat de conditie van de Knardijk niet bekend is. Deze kunnen liggen tussen 0 en 100 euro.
- Kosten voor ophogen van de kernen zijn ruwe schattingen.

### 4.2.3 Conclusies samenhang normen en kosten-baten maatregelen

De economische risico's in contante waarde voor primaire keringen en het poldersysteem ligt in dijkkring 7 in dezelfde orde van grootte. Het risico horende bij de primaire keringen is wel groter dan dat van het poldersysteem (respectievelijk 136 en 102 mln. €). Wanneer slachtoffers gemonetariseerd worden meegewogen in het risico, wordt het risico van de primaire keringen nog groter (contante waarde 153 mln. €).

De normen voor beide systemen zijn niet in evenwicht. Het feit dat er bij overstroming van de primaire keringen echter ook slachtoffers kunnen vallen, kan een strengere norm voor de primaire keringen rechtvaardigen. Of slachtoffers door een monetarisering voldoende worden meegenomen in eventuele afwegingen, kan onderwerp van discussie zijn.

In dit onderzoek zijn geen effecten en kosten van maatregelen om het overstromingsrisico vanuit poldersysteem te verminderen bepaald. Een vergelijking tussen effectiviteit van investeren in het primaire systeem of in het poldersysteem kan derhalve niet gemaakt worden. Wel kan worden geconcludeerd dat van de onderzochte maatregelen met betrekking tot de primaire keringen, het compartimenteren van de dijkkring kosten-baten efficiënt lijkt. De overige maatregelen zijn niet kosten-baten efficiënt.

## 4.3 Gevoeligheidsanalyse

### 4.3.1 Primaire keringen

De kans op een overstroming van de primaire keringen in Flevoland is met de klassieke methode en met de VNK methode. De klassieke methode is gebaseerd op falen van de kering vanaf een waterstand horende bij de norm (1/4000 per jaar). De VNK methode is gebaseerd op de werkelijke faalkans, waarbij ook falen als gevolg van andere factoren dan waterstand wordt beschouwd (kans van falen is 1/3000 per jaar). De verschillende kansen leiden tot een verschillend risico en daarmee tot een verschil in contante waarde. Tabel 4-1 toont dit verschil. Deze contante waarde is gebaseerd op economische waarde, slachtoffers zijn hierin niet gemonetariseerd.

---

<sup>5</sup> De kosten van de preventieve evacuatie in 1995 zijn beraamd op 1000 gulden per persoon (Bouwdienst, 2006). Deze mensen konden echter na een paar dagen weer naar huis, waar dit na een werkelijke overstroming maanden tot jaren kan duren.

Scenario	Methode	Contante waarde (CW) [mln. €]
1 Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	Klassieke methode	102
2 Oostelijk Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	Klassieke methode	54
3 Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	Klassieke methode	77
4 Zuidelijk Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	Klassieke methode	60
1 Heel Flevoland overstroomt vanuit IJsselmeer	VNK methode	136
2 Oostelijk Flevoland overstroomt (vanuit IJsselmeer)	VNK methode	74
3 Heel Flevoland overstroomt vanuit Markermeer	VNK methode	102
4 Zuidelijk Flevoland overstroomt (vanuit Markermeer)	VNK methode	79

Tabel 4-1 Contante waarde van de economische schade bij verschillende scenario's voor overstroming van de primaire kering, bij een tijdshorizon van 50 jaar en een discontovoet van 2,5%

### 4.3.2 Poldersysteem

De economische schade die ontstaat bij overstroming vanuit het poldersysteem is berekend met behulp van drie schademedellen. Het model van Nelen en Schuurmans is het model waarmee de toetsing is uitgevoerd. Onbekend is de waterdiepte bij de overstromingen, daarom zijn de WB21 en HIS-SSM schademedellen toegepast op een gekozen minimum en maximum waterdiepte (respectievelijk 10 en 50 cm). Het blijkt dat de schade berekend met WB21 en het Nelen en Schuurmans model elkaar niet veel ontlopen (verondersteld dat de waterdieptes dicht bij 50 cm dan bij 10 cm liggen). HIS-SSM berekent beduidend lagere schades, dit model is dan ook ontwikkeld voor grootschalige overstromingen en is daardoor minder nauwkeurig bij kleinere waterdieptes.

jaar	CW bij 10 cm waterdiepte		CW bij 50 cm waterdiepte		CW Nelen en Schuurmans [mln. €]
	WB21 [mln. €]	HIS-SSM [mln. €]	WB21 [mln. €]	HIS-SSM [mln. €]	
2007					102
2015	29	4	136	21	111
2050	80	15	359	71	133

Tabel 4-2 Contante waarde van de schade bij verschillende scenario's voor overstroming vanuit het poldersysteem, bij een tijdshorizon van 50 jaar en een discontovoet van 2,5%

## 4.4 Vergelijking risico's

Systeem	maximaal economisch risico (CW) [mln. €]	minimaal economisch risico (CW) [mln. €]
Primaire kering (gemonetariseerd)	153 (VNK)	121 (klassieke methode)
Poldersysteem	102	-

Tabel 4-3 Minimaal en maximaal economisch risico voor de primaire keringen en het poldersysteem, bij een tijdshorizon van 50 jaar en een discontovoet van 2,5%



De orde van grootte van de risico's van beide systemen is op het eerste gezicht gelijk. De schade die ontstaat bij overstromen van een primaire kering is weliswaar veel groter (orde 7000 tot 15000 mln. €) dan de schade die ontstaat bij overstroming vanuit het poldersysteem (orde 40 tot 1000 mln. €); de kans dat de primaire keringen overstromen is veel kleiner dan de kans op schade vanuit het poldersysteem. Wanneer gesteld wordt dat de VNK resultaten voor de primaire keringen het meest juist zijn, ligt het maximale risico horende bij de primaire keringen op 153 mln. € (contante waarde). Voor de schade vanuit het poldersysteem wordt de studie van Nelen en Schuurmans aangehouden, deze levert een risico van 102 mln. € (contante waarde).

De manier waarop het risico voor de primaire keringen is bepaald (VNK of klassieke methode) heeft invloed op het risico. De orde van grootte is echter gelijk en de verwachting is niet dat bijvoorbeeld de kosten-baten analyses van de voorgestelde maatregelen er anders uit zouden zien wanneer ervan uitgegaan wordt dat de dijkring aan de norm voldoet (klassieke methode) in plaats van de VNK-benadering.

## 5 Referenties

- Bart, P.J. Toetsing dijkkring 8, Samenvatting primaire waterkeringen van de categorie A. Oranjewoud, 2004.
- Bolt, F.J.E.van der en M. Kok. Hoogwaternormering regionale watersystemen –Schademodelering. HKV lijn in water en Alterra, 2000.
- Bouwdienst. Kosten preventieve evacuatie 1995, uitgezocht in project 'Ruimtelijk waterbeheer +', in opdracht van Bouwdienst Rijkswaterstaat, 2006
- Eijgenraam, C.J.J. Veiligheid tegen overstromen, kosten-batenanalyse voor Ruimte voor de Rivier, deel1. CPB, 2005.
- 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.
- Geerse, C.P.M. Hydraulische Randvoorwaarden 2006 Vecht- en IJsseldelta – Statistiek IJsselmeerpeil, afvoeren en storm verlopen voor Hydra-VIJ. RIZA-werkdocument 2006.036x. RIZA Lelystad, 2006.
- Hartong, H.J.G. en C.J.M. Vermeulen. Overschrijdingskansen van waterstanden in het Noordzeekanaal, Amsterdam-Rijnkanaal en de boezem en polders van HAGV –Hoofdrapport. HKV lijn in water, KNMI en SC-DLO, 1999.
- HKV. Berekeningen gevoeligheidsanalyse dijkkring 8 (Flevoland). Op cd-rom, oplevering voor 'Worst Credible Floods kust en IJsselmeergebied'. HKV lijn in water, 2007.
- Huizinga, H.J., M. Dijkman, W.E.W. van den Braak en R. Waterman. HIS- Schade en Slachtoffer Module Versie 2.2, Gebruikershandleiding. HKV lijn in water en GEODAN IT, 2005.
- Klijn, F., H. van der Klis, J. Stijnen, K. de Bruijn en Matthijs Kok. Overstromingsrisico dijkringen in Nederland, betooglijn en deskundigenoordeel. WL | Delft Hydraulics en HKV lijn in water, 2004.
- Kuijper, B. en M. Kok. Verkenning optimale investeringsstrategie op basis van overstromingsrisico's, Dijkkringgebieden 7 en 36. HKV lijn in water, 2006.
- Lammers, I.B.M. en R.P. Versteeg. Risico-analyse Rivierenland. HKV lijn in water, 2003.
- Lammers, I.B.M., B. Kolen en W.E.W. van den Braak. Risico-analyse Rivierenland -Aanvulling. HKV lijn in water, 2006
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, RIZA. Als het toch misgaat: Overstromingsscenario's voor rampenplannen. Betooglijn, HKV Lijn in water en AVIV, 2006.
- Nationaal Bestuursakkoord Water. Overeen gekomen door het Rijk, de provincies, het Samenwerkingsverband Interprovinciaal Overleg (IPO), de Vereniging van Nederlandse Gemeenten en de Unie van Waterschappen, 2003.
- Nelen en Schuurmans B.V. Maatregelen en instrumenten wateroverlast -Hoofdrapport. In opdracht van Waterschap Zuiderzeeland, 2007.
- Omgevingsplan Flevoland 2006, digitaal raadpleegbaar:  
[http://provincie.flevoland.nl/omgevingsplan/digitaal\\_raadpleegbaar\\_om/](http://provincie.flevoland.nl/omgevingsplan/digitaal_raadpleegbaar_om/)
- RIVM en MNP. Risico's in bedijkte termen, een evaluatie van het beleid inzake de veiligheid tegen overstromen. 2004.
- RWS RIZA. Integrale afweging van SNIP-projecten op basis van de Overzicht Effecten Infrastructuur (OEI) – systematiek: Effectentabellen en toepassingsbereik. RWS RIZA rapport 2007.010, 2007.
- Slomp, R. Decimeringshoogten Meren, Bovenrivieren, Benedenrivieren, vecht en IJsseldelta. concept Werkdocument, 2006.
- Sterk Consulting en HKV lijn in water. MKBA Beleidstrategieën –Maatschappelijke Kosten-Baten analyse van beleidstrategieën voor realisatie van de wateropgave. In opdracht van Waterschap Aa en Maas, 2005.

- Thonus, B.I., J.M. van Noortwijk, M. Kok. Verkenning kosten-batenanalyse, dijkringgebied 14: Zuid Holland. HKV lijn in water, 2005.
- Vermeulen, C.J.M., R.P. Versteeg, A.A.J. Botterhuis, B. Kolen. Evaluatie waterhuishouding Flevoland, hoofdrapport. HKV lijn in water en Alterra, 2000.
- VNK. Veiligheid Nederland in Kaart –Hoofdrapport onderzoek overstromingsrisico's. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005[1].
- VNK. Veiligheid Nederland in Kaart –Globale schadeberekening, achtergronddocument. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005[2].
- VNK. Veiligheid Nederland in Kaart –Risicocase dijkring 7 Noordoostpolder, berekening van het overstromingsrisico. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006.
- Wagemaker, J.B. 'Verkennde KBA voor het ophogen van nieuwbouwlocaties in Flevoland', memorandum 'Van neerslag tot schade', 2008.
- 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.

