

VNK2

Veiligheid Nederland in kaart

VNK2

Overstromingsrisico Dijkkring 31 Zuid-Beveland



December 2011

Overstromingsrisico Dijkkring 31 Zuid-Beveland

December 2011



Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Interprovinciaal Overleg **ip**

UNIE VAN WATERSCHAPPEN

Kijk voor meer informatie op
www.helpdeskwater.nl of bel 0800-6592837

Veiligheid Nederland in Kaart 2

Overstromingsrisico dijkkring 31 Zuid-Beveland (oost)

Documenttitel	Veiligheid Nederland in Kaart 2 Overstromingsrisico dijkkring 31 Zuid-Beveland (oost)
Document	HB 1555742
Status	Definitief
Datum	december 2011
Auteurs	P.J. Bart (Oranjewoud) J.C. Bossenbroek (Oranjewoud)
Opdrachtnemer	Rijkswaterstaat Waterdienst
Uitgevoerd door	Consortium DOT
Opdrachtgevers	Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Unie van Waterschappen en Interprovinciaal Overleg

Voorwoord

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van de uitgevoerde risicoanalyse voor dijkkring 31: Zuid-Beveland (oost). Het voorliggende rapport betreft de risico's die verband houden met de categorie a-kering van dijkkring 31. Het detailniveau van de uitgevoerde analyses is afgestemd op de primaire doelstelling van VNK2: het verschaffen van een beeld van het overstromingsrisico.

Hoewel dit rapport een beeld geeft van de veiligheid van dijkkring 31 dient het niet te worden verward met een toetsrapport in het kader van de Waterwet. De in VNK2 berekende overstromingskansen laten zich niet zondermeer vergelijken met de wettelijk vastgelegde overschrijdingskansen van de waterstanden die de primaire waterkeringen veilig moeten kunnen keren.

Door de provincie Zeeland zijn de overstromingsberekeningen uitgevoerd die ten grondslag liggen aan de berekende gevolgen van de overstromingsscenario's. De beheerders hebben een essentiële bijdrage geleverd door gegevens ter beschikking te stellen en de plausibiliteit van de opgestelde (alternatieve) schematisaties te bespreken. De uitgevoerde analyses zijn zowel intern getoetst als extern. Ten slotte zijn de resultaten besproken met het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) en heeft het ENW de kwaliteit van de analyses en rapportages steekproefsgewijs gecontroleerd.

Graag wil ik alle betrokkenen bedanken voor de constructieve bijdrage en de plezierige samenwerking.

Harry Stefess
Projectmanager VNK2, Rijkswaterstaat Waterdienst

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	1
Technische samenvatting	7
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding project Veiligheid van Nederland in Kaart	13
1.2 Projectopdracht Veiligheid van Nederland in Kaart	13
1.3 Overschrijdingskansen en overstromingskansen	14
1.4 Rekenmethode VNK2	14
1.5 Leeswijzer	17
2 Gebiedsbeschrijving en schematisatie	19
2.1 Beschrijving dijkkring 31: Zuid-Beveland (oost)	19
2.1.1 Gebiedsbeschrijving	19
2.1.2 Watersysteem	20
2.1.3 Beheerder	20
2.1.4 De primaire waterkering van dijkkring 31	20
2.2 Ontstaansgeschiedenis	21
2.2.1 Geologie	21
2.2.2 Inpolderingen	21
2.3 Geschiedenis: bedreigingen en versterkingen	22
2.3.1 Overstromingen in Zeeland	22
2.3.2 De watersnoodramp van 1953	23
2.3.3 Versterkingen	25
2.3.4 Het kanaal door Zuid-Beveland	26
2.4 Oosterscheldekering	26
2.5 Vakindeling categorie-a kering	27
2.5.1 Vakindeling dijken	27
2.5.2 Overzicht vakindeling	28
2.6 Kunstwerken	28
3 Overstromingskans	31
3.1 Aanpak en uitgangspunten	31
3.2 Aandachtspunten dijkkring 31	31
3.3 Beschouwde faalmechanismen	33
3.3.1 Faalmechanismen dijken	33
3.3.2 Faalmechanismen kunstwerken	33
3.4 Niet beschouwde faalmechanismen	35
3.5 Berekende overstromingskansen	36
3.5.1 Overstromingskans en faalkansen per faalmechanisme	36
3.5.2 Faalkansen dijken	37
3.5.3 Faalkansen kunstwerken	43
3.6 Nadere analyse dominante vakken en faalmechanismen	44

4	De gevolgen van overstromingen per doorbraaklocatie	45
4.1	Aanpak en uitgangspunten	45
4.1.1	Algemeen	45
4.1.2	Ringdelen	45
4.1.3	Hoog gelegen lijnelement	46
4.1.4	Evacuatie	47
4.2	Resultaten overstromingsberekeningen per doorbraaklocatie	47
4.2.1	Doorbraaklocaties langs de Westerschelde	47
4.2.2	Doorbraaklocaties langs de Oosterschelde	51
4.2.3	Maximaal Scenario	56
4.3	Overzicht resultaten overstromingsberekeningen	57
5	Scenariokansen	59
5.1	Definitie overstromingsscenario's	59
5.1.1	Aanpak en uitgangspunten	59
5.1.2	Verandering hydraulische belasting bij falen: geen ontlasten	59
5.1.3	Aantal scenario's	59
5.2	Berekende scenariokansen	60
5.3	De gevolgen van overstromingen voor een selectie van scenario's	61
5.3.1	De meest waarschijnlijke enkelvoudige doorbraak	61
5.3.2	De meest waarschijnlijke tweevoudige doorbraak	61
5.3.3	De meest waarschijnlijke drievoudige doorbraak	62
5.3.4	De meest waarschijnlijke viervoudige doorbraak	63
6	Overstromingsrisico	65
6.1	Aanpak berekening overstromingsrisico	65
6.2	Overstromingsrisico	65
6.2.1	Economisch risico	65
6.2.2	Slachtofferisico	67
7	Gevoeligheidsanalyse risicoreductie	71
7.1	Gevoeligheidsanalyse I: Kwelslootpeil	71
7.2	Gevoeligheidsanalyse II: Gerichte maatregelen en de overstromingskans	72
7.2.1	Totale dijkkring	72
7.2.2	Oosterschelde	73
7.2.3	Westerschelde	74
7.3	Gevoeligheidsanalyse III: Overstromingsrisico Oosterschelde	75
7.4	Gevoeligheidsanalyse IV: Overstromingsrisico Westerschelde	77
7.5	Gevoeligheidsanalyse V: Gerichte maatregelen en het overstromingsrisico	79
7.6	Gevoeligheidsanalyse VI: Gerichte maatregelen Westerschelde	80
8	Conclusies en aanbevelingen	83
8.1	Conclusies	83
8.1.1	De kans op overstroming in dijkkring 31	83
8.1.2	De gevolgen van overstromingen in dijkkring 31	84
8.1.3	Het overstromingsrisico in dijkkring 31	84
8.2	Aanbevelingen	85

Bijlage A	Literatuur	87
Bijlage B	Begrippenlijst	89
Bijlage C	Vakindeling en ringdelen	95
Bijlage D	Overzicht faalkansen	99
Bijlage E	Overstromingsscenario's	103
Bijlage F	Kansen en gevolgen per scenario	107
Bijlage G	Colofon	111

Managementsamenvatting

Wat is VNK2?

Veiligheid Nederland in Kaart 2 (VNK2) is het project dat overstromingsrisico's in Nederland in kaart brengt. In VNK2 is de methode om de kansen, gevolgen en risico's van overstromingen te berekenen verder ontwikkeld. De geavanceerde rekenmethode van VNK2 maakt het mogelijk overstromingskansen te bepalen. Door het combineren van doorbraakkansen, overstromingsverlopen en gegevens omtrent bewoning en bedrijvigheid kan een beeld worden gegeven van het overstromingsrisico. Zo geeft VNK2 het inzicht in de hoogwaterrisico's in Nederland. In de voorloper van het project (VNK1) zijn voor zestien dijkringen de overstromingsrisico's in beeld gebracht. Voor drie van deze gebieden zijn de gevolgen in detail berekend. Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, de Provincies en Waterschappen zijn gezamenlijk gestart met een vervolg om met een verbeterde methode de overstromingsrisico's voor geheel Nederland in detail in kaart te brengen: VNK2. Voor u ligt de rapportage van de analyse van dijkkring 31 Zuid-Beveland.

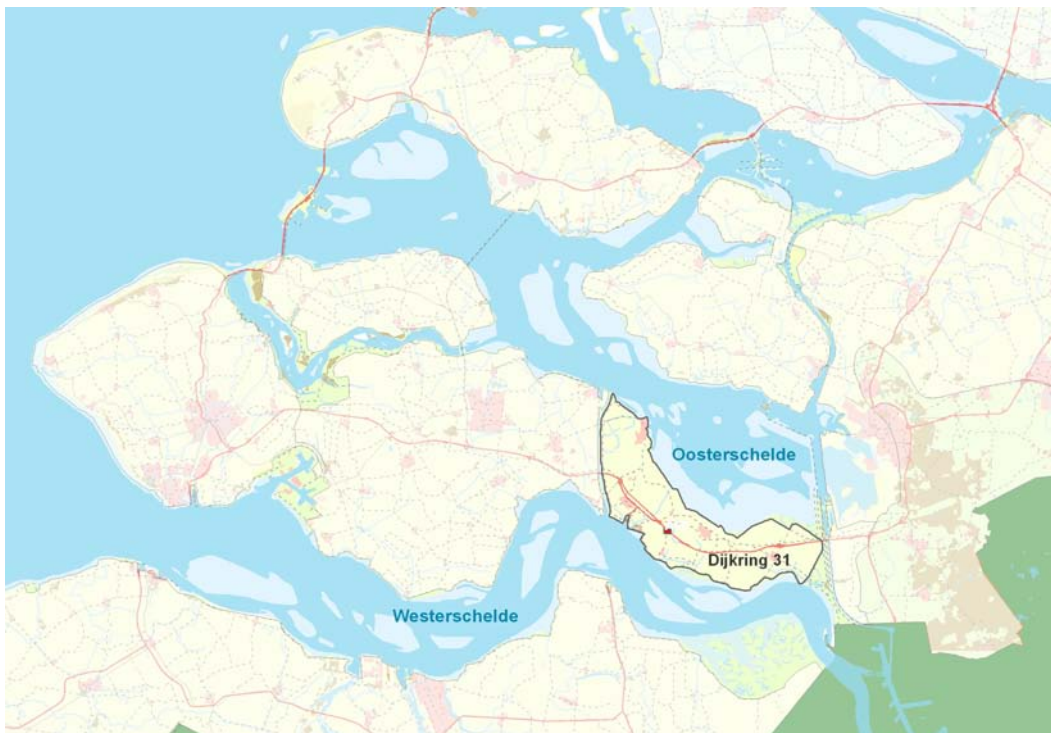
Waarom VNK2?

Inzicht in overstromingskansen en –gevolgen is essentieel om antwoord te kunnen geven op de vragen die spelen op het gebied van de bescherming tegen hoogwater. Met een goed beeld van het overstromingsrisico en de effectiviteit van maatregelen kunnen beter onderbouwde keuzes worden gemaakt ten aanzien van investeringen in waterveiligheid. VNK2 levert inzicht voor:

- De politiek-maatschappelijke afweging of de waterveiligheid van Nederland op orde is;
- Het identificeren van relatief zwakke waterkeringen;
- Het bepalen van de kosteneffectiviteit van risicoreducerende maatregelen;
- De prioritering van preventieve maatregelen;
- De prioritering van gevolgbeperkende maatregelen;
- De verbetering van toetsmethoden;
- Afwegingen ten aanzien van zelfredzaamheid en rampenbestrijding;
- Het opstellen van overstromingsrisicokaarten en plannen zoals vereist door de
- Richtlijn Overstromingsrisico's (ROR).

Dijkkring 31: Zuid-Beveland

Dijkkring 31 is gelegen op Zuid-Beveland in Zeeland en wordt begrensd door de Westerschelde aan de zuidzijde, de Oosterschelde aan de noordzijde, het Kanaal door Zuid-Beveland aan de westzijde en het Spuikanaal bij Bath aan de oostzijde. De dijken langs het Spuikanaal aan de oostzijde van de dijkkring betreffen categorie c-keringen. Het grootste deel van de dijkkring betreft agrarisch gebied. Er liggen een aantal bewoonde kernen in dijkkring 31: Yerseke, Kruiningen, Krabbendijke, Waarde, Bath en Rilland. Dijkkring 31 telt ongeveer 21.500 inwoners.



Figuur 1: Ligging dijkkring 31.

In dijkkring 31 zijn een aantal laaggelegen polders aanwezig (met name de Koude polder en de Yerseke Moer). Deze liggen aan de westzijde van de dijkkring. Het maaiveld ligt hier over een groot oppervlak beneden NAP -1 m. Langs de Oosterschelde is over grote delen voorland aanwezig in de vorm van schorren en slikken.

In de voorliggende risicobeschuwing zijn alleen de categorie a-keringen beschouwd. Deze liggen langs de Oosterschelde (inclusief het Kanaal door Zuid-Beveland) en de Westerschelde.

Resultaten

Hoewel VNK2 een beeld geeft van de overstromingsveiligheid dienen de resultaten van VNK2 niet te worden verward met die van een toetsing in het kader van de Waterwet. In de toetsing wordt beoordeeld of de primaire waterkeringen voldoen aan de wettelijke normen. Deze normen zijn niet gedefinieerd als overstromingskansen maar als overschrijdingskansen van waterstanden die de waterkeringen veilig moeten kunnen keren, rekening houdend met alle factoren die het waterkerend vermogen beïnvloeden. Omdat de wettelijke normen geen betrekking hebben op overstromingskansen kunnen zij niet zondermeer worden gelegd langs de uitkomsten van VNK2.

Overstromingskansen

De berekende overstromingskans voor de categorie a-keringen van dijkkring 31 is groter dan 1/100 per jaar. Dit betreft de kans dat zich ergens achter de categorie a-kering een overstroming voordoet. De gevolgen van een overstroming zijn sterk afhankelijk van de breslocatie (locatie waar de waterkering faalt).

De dijkvakken langs de Oosterschelde, en met name langs het Kanaal door Zuid-Beveland, leveren de grootste bijdrage aan de overstromingskansen. Zes dijkvakken ten oosten van Yerseke en langs het Kanaal door Zuid-Beveland hebben een relatief grote faalkans voor het faalmechanisme opbarsten en piping.

Naast de relatief grote faalkansen ligt achter deze dijken ook een diepe polder. Een doorbraak zal daar een relatief grote schade opleveren.

Indien de dijkvakken langs het kanaal door Zuid-Beveland verbeterd worden, neemt de overstromingskans van dijkkring 31 af tot 1/140 per jaar. Door het verbeteren van de tien slechtste dijkvakken langs de Oosterschelde daalt de overstromingskans tot kleiner dan 1/1.000 per jaar.



Figuur 2: Overzicht faalkansen dijkkring 31.

Vergelijking met de toetsing

De berekende faalkansen komen op hoofdlijnen overeen met de resultaten van de toetsing. Waar grote faalkansen berekend zijn, zijn in de toetsing veelal scores onvoldoende of voldoende bepaald. Lokaal zijn er verschillen. Dit wordt met name veroorzaakt doordat in de toetsing om de 100 m een dijkprofiel is getoetst. Binnen VNK zijn er dijkvakken met een grotere lengte gekozen. Hierdoor vallen er meerdere toetsprofielen binnen één VNK-dijkvak. Waar binnen de toetsing soms op korte afstanden zowel scores "goed" als "onvoldoende" worden gevonden, is in VNK hiervoor dan één faalkans berekend.

Gevolgen van een overstroming

Dijkkring 31 is sterk gecompartmenteerd. Hierdoor hangen de gevolgen van een doorbraak sterk af van de doorbraaklocatie (en het aantal doorbraken). De dijkvakken met de grootste faalkansen vallen samen met de doorbraaklocaties met de grootste gevolgen.

De minimale economische schade per overstroming bedraagt 90 miljoen euro. De maximale economische schade bedraagt 2,6 miljard euro. Dit betreft een overstroming waarbij de waterkering op alle doorbraaklocaties tegelijk doorbreekt. De verwachtingswaarde van de economische schade per jaar bedraagt 38 miljoen euro.

Het aantal slachtoffers bij het maximale scenario bedraagt circa 2.250. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar bedraagt 10.

Economisch risico	Verwachtingswaarde economische schade per jaar (€ per jaar)	38 miljoen
	Kleinste economische schade bij een enkelvoudige doorbraak(€ per overstroming)	90 miljoen
	Grootste economische schade bij een enkelvoudige doorbraak (€ per overstroming)	1.400 miljoen
	Economische schade indien alle <i>doorbraaklocaties in de dijkring</i> tegelijk doorbreken (maximale scenario, € per overstroming)	2.600 miljoen
	Economische schade indien <i>alle doorbraaklocaties langs de Westerschelde</i> tegelijk doorbreken (maximale scenario Westerschelde, € per overstroming)	2.100 miljoen
	Economische schade indien <i>alle doorbraaklocaties langs de Oosterschelde</i> tegelijk doorbreken (maximale scenario Oosterschelde, € per overstroming)	1.300 miljoen
Slachtofferrisico	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers per jaar	10
	Aantal slachtoffers bij de enkelvoudige doorbraak met de minste slachtoffers	3
	Aantal slachtoffers bij de enkelvoudige doorbraak met de meeste slachtoffers	380
	Aantal slachtoffers bij het maximale scenario	2.250
	Aantal slachtoffers bij het maximale scenario langs de Oosterschelde	520
	Aantal slachtoffers bij het maximale scenario langs de Westerschelde	2.220

Tabel 1: Resultaten risicoberekening.

Binnen VNK wordt bij het bepalen van de gevolgen van een overstroming ervan uit gegaan dat de regionale waterkeringen niet bezwijken. Gezien de ervaringen uit 1953 is het waarschijnlijk dat bij een overstroming een aantal regionale waterkeringen wel zullen bezwijken. Hierdoor zal de schade en het aantal slachtoffers in werkelijkheid groter zijn dan uit de uitgevoerde overstromingsberekeningen volgt. Dit heeft ook een effect op het risico. Aangezien het risico echter gedomineerd wordt door de grote faalkansen en niet door de schade wordt verwacht dat het algemene beeld van het risico niet significant zal veranderen.

Een preventieve evacuatie is maar beperkt mogelijk. De reden hiervoor is dat extreme stormen moeilijk dagen van te voren zijn te voorspellen en er een beperkt aantal locaties zijn waar men de dijkring kan verlaten

Aanbevelingen

De grote faalkansen langs het kanaal door Zuid-Beveland en de Oosterschelde tussen Yerseke en de monding van het kanaal worden voor een deel veroorzaakt door onzekerheden omtrent doorlatendheden en korrelverdelingen van de ondergrond en het kwelslootpeil onder hoogwatercondities. Geadviseerd wordt deze parameters nader te onderzoeken en de faalkansen voor deze dijkvakken opnieuw te bepalen. De beheerder is inmiddels een onderzoek naar deze parameters gestart.

Indien de kans op een overstroming verlaagd dient te worden, kan dit het meest effectief gebeuren door de zwakste vakken langs het kanaal door Zuid-Beveland en de Oosterschelde te verbeteren.

Door het verbeteren van de vijf slechtste vakken (met een totale lengte van circa 5,6 km) neemt de faalkans af tot kleiner dan 1/140, door het verbeteren van de tien slechtste vakken (met een totale lengte van circa 9,8 km) neemt de faalkans af tot kleiner dan 1/1.000. Dit leidt ook direct tot een significante risicoreductie.

Indien de verwachtingswaarde van de schade van een overstroming verlaagd dient te worden verdient het ook aanbeveling om naast de verbeteringen langs de Oosterschelde ook de twee slechtste vakken langs de Westerschelde (bij Kruiningen en Bath) te verbeteren. Deze beide vakken liggen in ringdelen die bij doorbraak tot een significante schade leiden.

De schadeberekeningen binnen VNK gaan er van uit dat de regionale keringen standzeker zijn. Hiermee wordt de schade bij een overstroming onderschat. Het verdient aanbeveling om middels gevoeligheidsanalyses na te gaan wat de impact op de schade is indien de regionale keringen niet als standzeker in de schadeberekeningen worden meegenomen.

Technische samenvatting

Dit rapport beschrijft de resultaten van de risicoanalyse die is verricht voor dijkkring 31 Zuid-Beveland (oost) in het kader van het project Veiligheid Nederland in Kaart 2(VNK2). In deze technische samenvatting worden de berekeningsresultaten besproken en is op hoofdlijnen beschreven op welke uitgangspunten en aannamen deze resultaten berusten. De berekening van overstromingsrisico's in VNK2 omvat de volgende stappen:

1. De schematisatie van de dijkkring

In de risicoanalyse is alleen de categorie a-kering van dijkkring 31 beschouwd. De categorie c-kering is niet meegenomen in de risicoberekeningen. Een overzicht van de vakindeling voor de categorie a-kering is gegeven in Tabel 2.

Dijken	Totale lengte	50 km
	Aantal dijkvakken	55
	Gemiddelde lengte dijkvak	0,9 km
Kunstwerken	Totaal aantal kunstwerken (sluizen, gemalen, Kunstwerken tunnels)	8
	Aantal nader beschouwde kunstwerken	4

Tabel 2: De vakindeling voor de categorie a-kering van dijkkring 31

De gehele dijkkring is gelegen in het beheersgebied van Waterschap Scheldestromen.

2. De berekening van faalkansen

Elk dijkvak en kunstwerk is beschouwd. Voor niet alle vakken en kunstwerken zijn echter faalkansen berekend en/of zijn de berekende faalkansen meegenomen bij de bepaling van de overstromingskans. Voor onder- en achterloopsheid en het niet-sluiten van kunstwerken zijn handberekeningen uitgevoerd die erop wezen dat de bijdrage van dit faalmechanisme aan de faalkansen van de kunstwerken verwaarloosbaar zijn. Een overzicht van de voor de berekening van de overstromingskans, de beschouwde faalmechanismen, vakken en kunstwerken is opgenomen in Tabel 3.

Type waterkering	Faalmechanisme	Aantal vakken/kunstwerken
Dijken	Overloop en golfoverslag	55
	Opbarsten en piping	32
	Macrostabieliteit binnenwaarts	5
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Alleen gevoeligheidsberekeningen
Kunstwerken	Overloop en golfoverslag	-
	Niet-sluiten	-
	Onder- en achterloopsheid	4
	Constructief bezwijken	4

Tabel 3: Beschouwde faalmechanismen en het aantal vakken/kunstwerken dat is meegenomen bij de berekening van de overstromingskans.

De overstromingskans ($>1/100$ per jaar) wordt vrijwel volledig bepaald door het faalmechanisme opbarsten en piping (Tabel 4). De faalkansbijdrage van de overige faalmechanismen is zeer gering ($<1\%$ van de totale faalkans).

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)
Dijk	Overloop en golfoverslag	1/15.000
	Macrostabiliteit binnenwaarts	1/1.300
	Opbarsten en piping	>1/100
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	<1/1.000.000
Kunstwerk	Overloop en golfoverslag	-
	Niet-sluiten	-
	Onder- en achterloopsheid	1/65.000
	Constructief falen	1/440.000
Overstromingskans		>1/100

Tabel 4: Berekende faalkansen per faalmechanisme.

De grootste bijdragen aan de overstromingskans worden geleverd door de dijkvakken langs het kanaal door Zuid-Beveland. Indien deze dijkvakken verbeterd worden, neemt de overstromingskans van dijkkring 31 af tot 1/140 per jaar. De te verbeteren lengte van de dijkvakken langs het kanaal bedraagt circa 5,6 km. Verbeteren is onder andere mogelijk door het aanleggen van pipingbermen.

Door de 10 slechtste dijkvakken te versterken wordt de overstromingskans verkleind tot 1/1.000 per jaar. Hiervoor dient in totaal 9,8 km te worden verbeterd op piping.

3. De berekening van scenariokansen

Bij het berekenen van de scenariokansen is uitgegaan van 22 ringdelen (22 mogelijke doorbraaklocaties), 9 ringdelen langs de Westerschelde en 13 ringdelen langs de Oosterschelde. Er is van uitgegaan dat na een doorbraak de hydraulische belastingen niet afnemen. In Figuur 3 is een overzicht opgenomen van de ligging van de verschillende ringdelen.



Figuur 3: Ringdelen dijkkring 31.

De som van de scenario-kansen van de 50 meest waarschijnlijke scenario's is vrijwel gelijk aan de overstromingskans. De risicoberekening op basis van deze 50 scenario's levert zodoende een nauwkeurig resultaat. Onder de 50 scenario's bevinden zich enkelvoudige tot viervoudige doorbraken. Gemiddeld is bij bijna 70% van de overstromingen sprake van een meervoudige doorbraak.

4. De berekening van de gevolgen

Per breslocatie zijn overstromingsberekeningen uitgevoerd voor verschillende belastingcondities: toetspeil minus 1 decimeringhoogte (tp-1d), tp, tp+1d en tp+2d. In de overstromingsberekeningen is uitgegaan van de standzekerheid van de regionale keringen. De gevolgen zijn berekend met HIS-SSM. Daarbij is ten aanzien van de bevolkings- en bebouwingsgegevens uitgegaan van de situatie in 2000, respectievelijk 2006.

Voor de meervoudige doorbraken zijn de overstromingskenmerken (waterdiepte, stroomsnelheid, stijgsnelheid) bepaald op basis van de overstromingsberekeningen voor de enkelvoudige doorbraken.

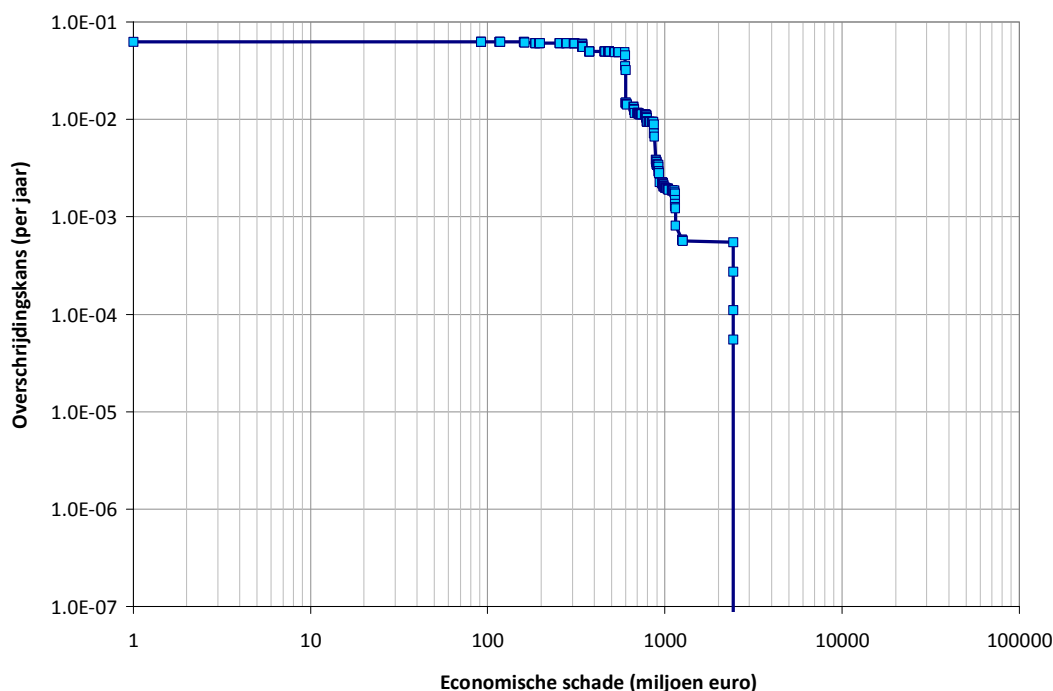
De grootste economische schade bij de 50 beschouwde scenario's bedraagt circa 2,4 miljard euro, het grootste aantal slachtoffers ongeveer 2.250 slachtoffers.

5. Het combineren van de scenario-kansen en de gevolgen

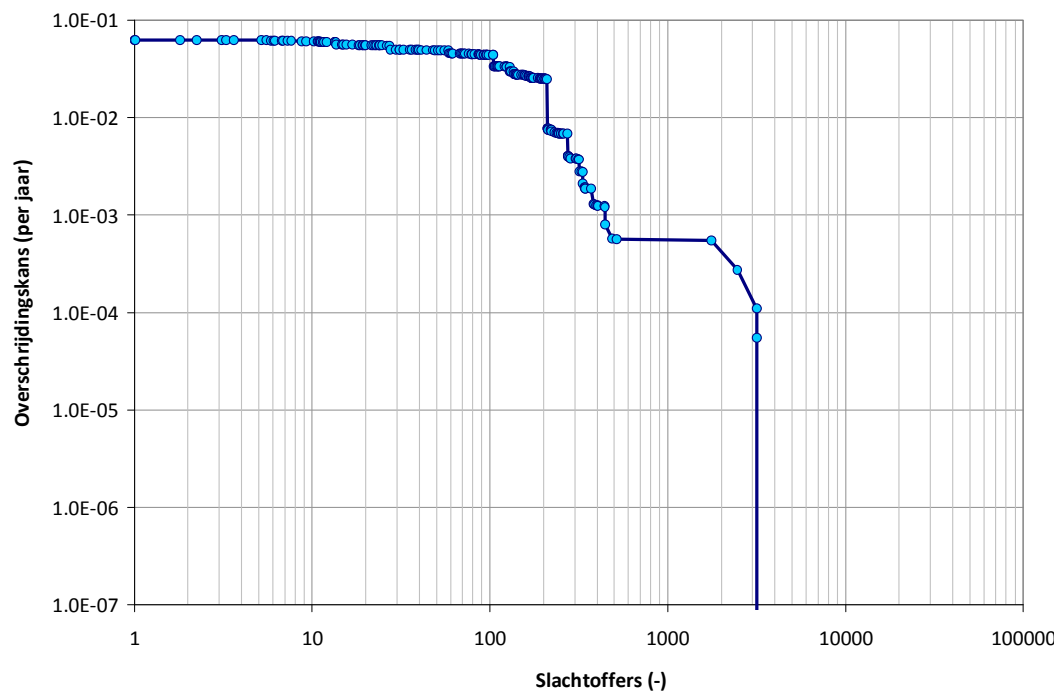
Voor de 50 scenario's waarvoor scenario-kansen zijn berekend zijn gevolgberekeningen geselecteerd. Gelet op de belastingcondities bij het optreden van de overstromingsscenario's is vrijwel steeds gekoppeld met gevolgberekeningen voor tp.

6. De berekening van het overstromingsrisico

De verwachtingswaarden van de economische schade en het aantal slachtoffers bedragen respectievelijk 38 miljoen euro en 10 slachtoffer per jaar. De FN- en FS-curven zijn getoond in Figuur 4 en 5. Deze curven beschrijven de kansen op overschrijding van bepaalde slachtofferaantallen of schades.

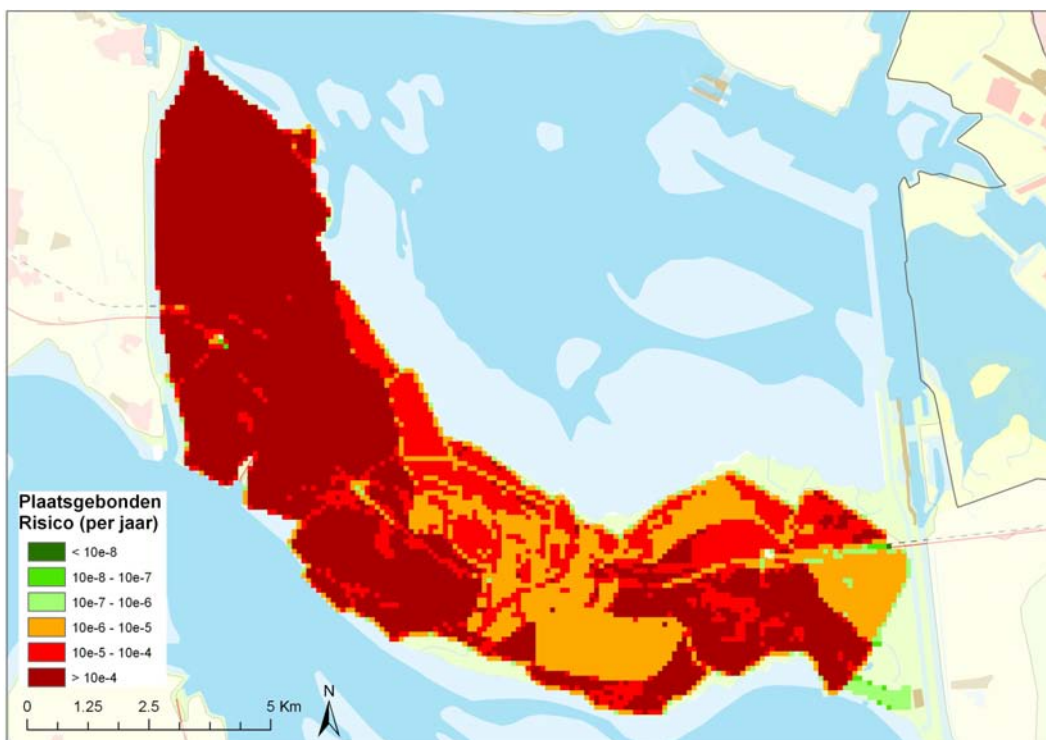


Figuur 4: Overschrijdingskansen van de economische schade.

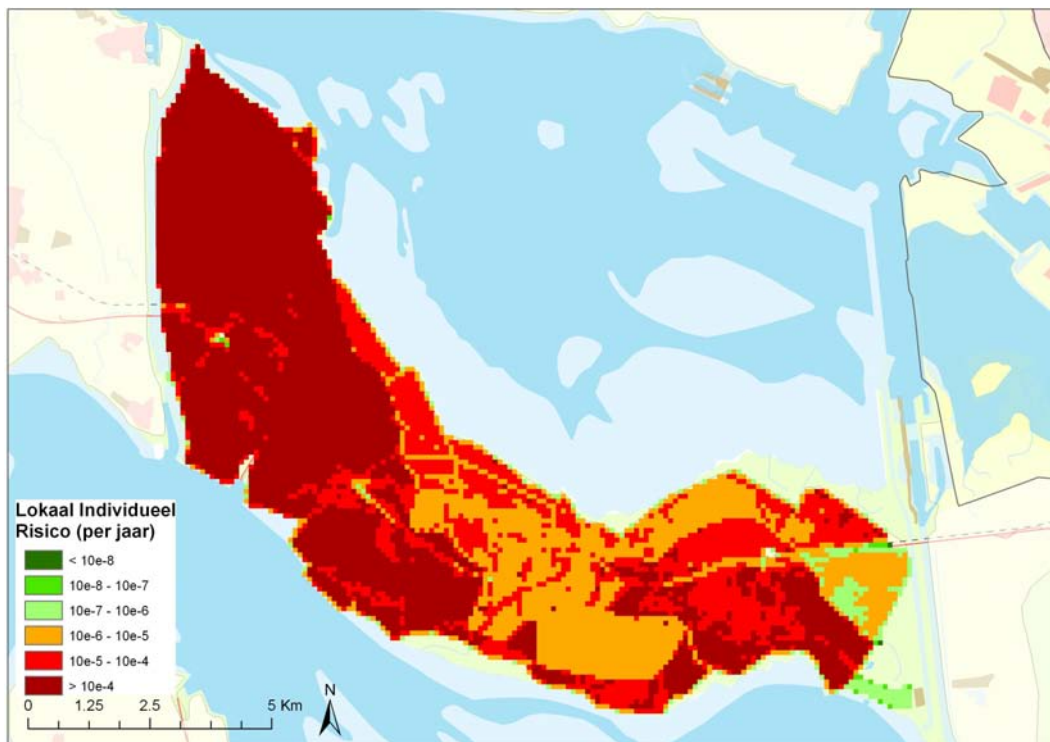


Figuur 5: FN-curve dijkkring 31.

Het lokaal individueel risico (LIR) en het plaatsgebonden risico (= LIR exclusief effect evacuatie) zijn vrijwel aan elkaar gelijk (Figuur 6 en Figuur 7). Dit is het gevolg van het feit dat de verwachtingswaarde van de evacuatiefractie voor het dijkkringgebied slechts 0,26 bedraagt. Het verschil tussen PR en LIR is zodoende een factor $1/(1-0,26) = 1,35$. Zowel het LIR als het PR is overal (aanzienlijk) groter dan $1/10.000$ per jaar.



Figuur 6: Plaatsgebonden risico dijkkring 31.



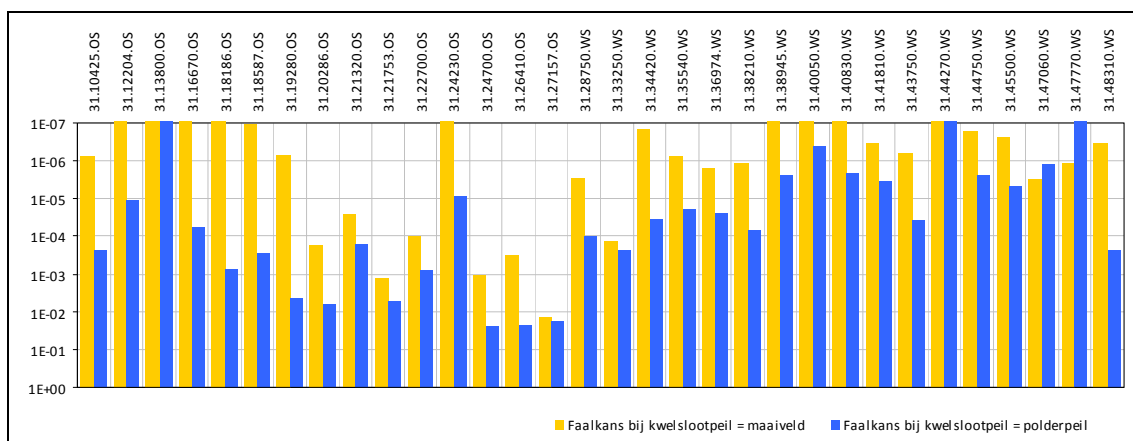
Figuur 7: Lokaal Individueel Risico Dijkkring 31.

7. Gevoeligheidsanalyses

Er zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd ten aanzien van het kwelslootpeil en ten aanzien van de impact van het verbeteren van de slechtste vakken.

Gevoeligheidsanalyse kwelslootpeil

Piping is het dominante faalmechanisme binnen dijkkring 31. Het is niet bekend hoe het kwelslootpeil reageert op extreem hoge waterstanden op de Ooster- of Westerschelde. De kwelsloten langs de dijken van dijkkring 31 zijn over het algemeen erg diep (1,5 - 2 m), terwijl het polderpeil ten opzicht van de slootbodem relatief laag ligt. In de basiskansbepaling is er van uitgegaan tijdens maatgevende omstandigheden het kwelslootpeil gelijk is aan polderpeil (conservatieve aanname). Mogelijk staat het peil in de kwelsloot hoger bij extreem hoge buitenwaterstanden. Ook kan door het nemen van beheersmaatregelen, bijvoorbeeld het eerder stoppen met het uitmalen van polderwater op het buitenwater, het kwelslootpeil worden verhoogd. In het meest gunstige geval staan de kwelsloten dan helemaal vol. Om de invloed hiervan op de faalkansen inzichtelijk te maken is daarom ook de faalkans berekend voor de situatie waarbij de kwelsloten helemaal vol staan (zie Figuur 8). Het kwelslootpeil is in deze situatie voor veel vakken 1 tot 2 m hoger dan polderpeil.



Figuur 8: Resultaten faalkansen bij verschillende kwelslootpeilen.

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de een hoger kwelslootpeil de faalkansen op piping significant reduceert. Geadviseerd wordt nader te bepalen wat het peil in de kwelsloot is onder hoogwatercondities.

Impact verbeteren slechtste dijkvakken

Er zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd naar het effect van het verbeteren van de slechtste dijkvakken op de overstromingskans en het risico. Deze analyses tonen aan dat:

1. het verbeteren van de tien slechtste dijkvakken, met een totale lengte van circa 9,8 km, de overstromingskans laat dalen tot kleiner dan 1/1.000 per jaar.
2. Het verbeteren van de slechtste dijkvakken langs de Oosterschelde doet de kans op schade en slachtoffers sterk dalen.

Opbarsten en piping is bij al deze dijkvakken het dominante faalmechanisme. De verbetering dient zich daarom op dit mechanisme te concentreren door het verlengen van de kwelweglengte. Aangezien er diepe kwel sloten aanwezig zijn, zullen bij het optreden van het mechanisme opbarsten en piping, zandmeevoerende wellen ontstaan in de sloten. De kwelweglengte dient bij een verbetering dan ook verlengd te worden door het aanbrengen van een pipingberm in combinatie met het verleggen van de kwelsloot of indien mogelijk door alleen het verleggen van de kwel sloten.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding project Veiligheid van Nederland in Kaart

Na de watersnoodramp van 1953 werden door de Deltacommissie de fundamenteën van het huidige hoogwaterbeschermingsbeleid gelegd. Daarbij werd een nieuwe veiligheidsfilosofie geïntroduceerd: de kosten van dijkverzwaring werden voor de eerste maal expliciet afgewogen tegen de verlaging van het overstromingsrisico. Ook de tweede Deltacommissie (Commissie Veerman) heeft geadviseerd om het beschermingsniveau te bepalen op basis van een afweging van de omvang van overstromingsrisico's. Hoewel de beschouwing van de eerste Deltacommissie uitging van overstromingskansen en overstromingsrisico's konden deze destijds nog niet worden berekend. Inmiddels is in deze situatie verandering gekomen.

Door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW, tegenwoordig ENW) is in 1992 een ontwikkelingstraject ingezet om het kwantificeren van overstromingskansen en overstromingsrisico's mogelijk te maken, de zogenaamde Marsroute. Op basis van diverse studies, zoals de Casestudies 1998, ONIN en SPRINT zijn de rekentechnieken verder ontwikkeld. Na de PICASO-studie is VNK1 uitgevoerd en zijn wederom verbeteringen in het instrumentarium doorgevoerd. In 2006 is vervolgens het project VNK2 van start gegaan. In VNK2 wordt het overstromingsrisico in Nederland in beeld gebracht. De inzichten die daarbij worden opgedaan zijn van grote waarde voor de bescherming van Nederland tegen overstromingen.

1.2 Projectopdracht Veiligheid van Nederland in Kaart

Het project VNK2 wordt uitgevoerd door de Waterdienst in opdracht van het Directoraat Generaal Water van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, de Unie van Waterschappen (UvW), het Interprovinciaal overleg (IPO) en Rijkswaterstaat (RWS). Voor de uitvoering van de feitelijke berekeningen is het Projectbureau VNK2 opgericht. Het Projectbureau werkt samen met de waterschappen en provincies, en wordt daarbij ondersteund door ingenieursbureaus. Door kennisinstituten wordt bijgedragen aan de verdere methodiekontwikkeling en de operationalisering van het analyse-instrumentarium. Het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) controleert steekproefsgewijs de kwaliteit van de analyses en rapportages.

In het project VNK2 worden de kansen en gevolgen van overstromingen per dijkkring berekend. Een dijkkring bestaat uit een aaneengesloten keten van waterkeringen (en mogelijk hooggelegen gronden) waarmee het omsloten gebied (het dijkkringgebied) tegen overstromingen wordt beschermd. In totaal zijn er in Nederland 57 van dit type dijkkringen. Dijkkringen 23 (Biesbosch; wordt grotendeels ontpolderd) en 33 (Kreekrakpolder; uitsluitend categorie c-keringen) worden in VNK2 niet beschouwd. Daarnaast zijn er sinds de uitvoering van de Maaswerken 46 Maaskaden. Het project VNK2 voert de berekeningen van de overstromingskansen en –gevolgen uit voor 55 dijkkringgebieden en 3 Maaskaden.

VNK2 verschaft inzicht in de betrouwbaarheid van de waterkeringen, de omvang van het overstromingsrisico en de mogelijkheden om het risico te verkleinen. VNK2 levert zo basisinformatie voor politiek-maatschappelijke afwegingen ten aanzien van investeringen in de waterveiligheid van Nederland.

1.3 Overschrijdingskansen en overstromingskansen

De huidige Nederlandse veiligheidsnormen zijn gedefinieerd als overschrijdingskansen. De waterstanden die horen bij deze overschrijdingskansen worden "toetspeilen" genoemd. Deze waterstanden moeten de waterkeringen veilig kunnen keren, rekening houdend met alle factoren die het waterkerend vermogen beïnvloeden. De wettelijke overschrijdingskansen moeten niet worden verward met overstromingskansen. Een overstromingskans is de kans dat zich in een dijkkring daadwerkelijk een overstroming voordoet. Er zijn verschillende redenen waarom de overschrijdingskansen uit de Waterwet niet gelijk zijn aan de overstromingskansen van dijkkringgebieden:

Een overstromingskans is de kans dat zich in een dijkkring daadwerkelijk een overstroming voordoet. Een overstromingskans geeft dus een beeld van de conditie van een dijkkring. Een overschrijdingskans uit de Waterwet is een normwaarde¹. De conditie van een waterkering kan afwijken van de norm, zowel in positieve als negatieve zin.

Een overschrijdingskans heeft alleen betrekking op de belastingen. Om een overstromingskans te bepalen moeten ook de onzekerheden ten aanzien van de sterkte-eigenschappen van waterkeringen expliciet worden meegenomen. De overschrijdingskans is gedefinieerd per vak. De overstromingskans heeft betrekking op de gehele dijkkring. Bij het beoordelen of een waterkering het toetspeil veilig kan keren wordt per vak gekeken. Bij het bepalen van een overstromingskans moeten de faalkansen van alle vakken worden gecombineerd. Daarbij speelt ook de totale lengte van de kering een rol: hoe langer een kering, hoe groter de kans dat zich ergens een zwakke plek bevindt. Dit fenomeen wordt ook wel het lengte-effect genoemd.

1.4 Rekenmethode VNK2

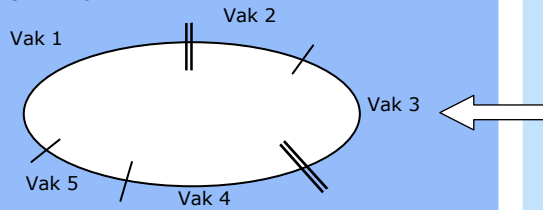
In het project VNK worden overstromingsrisico's berekend. Deze risico's worden bepaald door de kansen op de vele mogelijke doorbraakscenario's te combineren met de bijbehorende gevolgen van overstromingen. Voor een nadere toelichting op de verschillende onderdelen van de risicoberekeningen wordt verwezen naar de handleiding [4] en het achtergrondrapport [5]. In Figuur 9 zijn de stappen die achtereenvolgens worden gezet om het overstromingsrisico te berekenen schematisch weergegeven. In de onderstaande tekst worden deze verder verduidelijkt.

¹ Door de aanwezigheid van reststerkte hoeft een dijk bij een overschrijding van een waterstand die gelijk is aan het toetspeil nog niet direct te bezwijken. Het is echter ook mogelijk dat een dijk bij een waterstand beneden het toetspeil bezwijkt door bijvoorbeeld het faalmechanisme opbarsten en piping.

Kansenspoor

Stap 1

Verdeel de dijkkring (cf. Waterwet) in vakken waarin de sterkte-eigenschappen en belastingen homogeen zijn.



Stap 2

Bereken per vak een faalkans voor de verschillende faalmechanismen

Vak	Faalkans per faalmechanisme		Faalkans per vak
	Overloop	Piping	
1	$Kans_{Over,1}$	$Kans_{Pip,1}$	$Kans_1$
2	$Kans_{Over,2}$	$Kans_{Pip,2}$	$Kans_2$
3	$Kans_{Over,3}$	$Kans_{Pip,3}$	$Kans_3$
4	$Kans_{Over,4}$	$Kans_{Pip,4}$	$Kans_4$
5	$Kans_{Over,5}$	$Kans_{Pip,5}$	$Kans_5$
Combin	$Kans_{Over}$	$Kans_{Pip}$	Overstr, kans

Uit de combinatie van de kansen per faalmechanisme per vak volgt de kans op een overstroming ergens in de dijkkring. Bij het combineren van de faalkansen wordt rekening gehouden met afhankelijkheden tussen faalmechanismen en vakken.

Stap 3

Bereken scenariokansen door op basis van de kansen per vak te berekenen wat de kans is dat er in bijv. ringdelen 1 en 2 tegelijk een bres optreedt. De scenariokansen zijn nodig om de koppeling tussen kansen en gevolgen te kunnen maken.

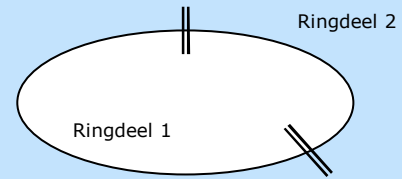
Scenario	Scenariokans
1	$Kans_1$
2	$Kans_2$
3	$Kans_3$
Som	Kans

Omdat de scenarioset alle mogelijke overstromingsverlopen omvat, is de som van de scenariokansen gelijk aan de eerder berekende kans op een overstroming ergens in de dijkkring.

Gevolgenspoor

Stap 1

Verdeel de dijkkring in ringdelen waarvoor de gevolgen ongeacht de breslocatie (vrijwel) gelijk zijn. De grens van een ringdeel valt samen met een vakgrens.

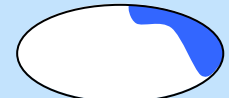


Stap 2

Bepaal per ringdeel het overstromingspatroon, de waterdiepte en de stroom- en stijgsnelheid in geval van een doorbraak.



Scenario 1 (zie stap 3)



Scenario 2 (zie stap 3)

Stap 3

Definieer scenario's: een scenario wordt gevormd door een unieke combinatie van falende en niet falende ringdelen. De scenarioset bevat alle mogelijke overstromingsverlopen.

Scenario	Ringdeel 1	Ringdeel 2
1	Faalt	Faalt niet
2	Faalt niet	Faalt
3	Faalt	Faalt

Stap 4

Bepaal het overstromingspatroon, de waterdiepte en de stroom- en stijgsnelheid voor meervoudige doorbraken (hier: scenario 3), op basis van de overstromingsberekeningen per ringdeel (zie stap 2).



Scenario 3

Stap 5

Bereken de schade en het slachtofferaangetal per scenario. Per scenario zullen de gevolgen anders zijn.

Scenario	Schade	Slachtoffers
1	E1	N1
2	E2	N2
3	E3	N3

Risicoberekening

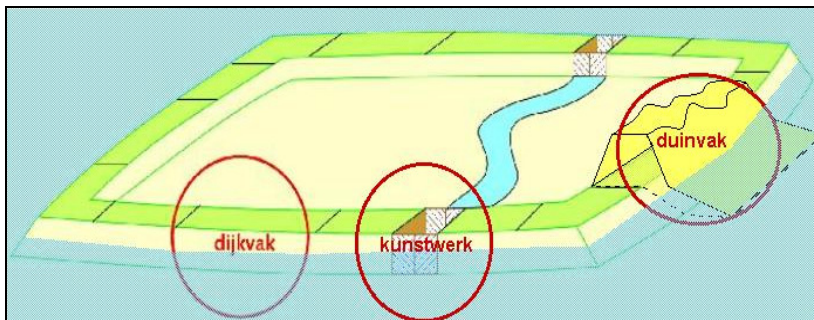
Bereken op basis van de scenariokansen- en gevolgen per scenario de verwachtingswaarden van de schade en het aantal slachtoffers.

Scenario	Scenariokans x Schade	Scenariokans x Slachtoffers
1	$Kans_1 \times E1$	$Kans_1 \times N1$
2	$Kans_2 \times E2$	$Kans_2 \times N2$
3	$Kans_3 \times E3$	$Kans_3 \times N3$
Som	Verwachtingswaarde schade	Verwachtingswaarde slachtofferaangetal

Een verwachtingswaarde is een gewogen gemiddelde van alle mogelijke uitkomsten, met als gewichten de kansen op die waarden.

Figuur 9: De rekenmethode van VNK2.

Een dijkkring kan worden opgevat als een keten: de schakels worden gevormd door alle dijkvakken, duinvakken en kunstwerken die onderdeel uitmaken van de waterkering (Figuur 10). Per vak en kunstwerk wordt gekeken naar de verschillende wijzen waarop deze kan falen, d.w.z. zijn waterkerende functie kan verliezen. Deze verschillende wijzen van falen worden "faalmechanismen" genoemd. De overstromingskans wordt berekend door het combineren van alle faalkansen per vak en faalmechanisme.



Figuur 10: De dijkkring als een keten met verschillende schakels.

Voor een beschrijving van de verschillende faalmechanismen die in de risicoanalyse zijn meegenomen wordt verwezen naar paragraaf 3.3. De faalmechanismen zettingsvloeiing, afschuiven voorland, afschuiven buitentalud, microstabiliteit en verweking worden binnen VNK2 niet meegenomen. De redenen hiervoor zijn divers en houden verband met de volgende zaken:

Voor sommige mechanismen is er nog een kennistekort of zijn de gegevens onvoldoende beschikbaar.

Niet alle mechanismen leiden direct tot bezwijken.

Mechanismen hebben een sterk tijdsafhankelijk karakter waardoor de modellering met het VNK-instrumentarium niet mogelijk is of tot onvoldoende betrouwbare antwoorden zal leiden.

Bij de berekening van faalkansen en overstromingskansen spelen onzekerheden een centrale rol. Als de belasting op een waterkering groter is dan de sterkte, zal de kering bezwijken. Omdat er onzekerheden bestaan ten aanzien van zowel de belastingen als de sterkte-eigenschappen van waterkeringen, is het onzeker of een waterkering in een gegeven periode zal bezwijken. Anders gezegd: er bestaat een kans dat de waterkering bezwijkt. Onzekerheden ten aanzien van belastingen en sterkte-eigenschappen vormen dus de basis van de overstromingskans: zonder onzekerheden is de kans dat een kering bezwijkt nul of één.

Op basis van de berekende faalkansen per vak/kunstwerk en faalmechanisme kan de kans op een overstroming worden berekend. Dit is de kans dat zich ergens een doorbraak zal voordoen. Niet elke doorbraak heeft echter dezelfde gevolgen. Om het overstromingsrisico te bepalen is het zodoende nodig om voor de vele mogelijke (combinaties van) doorbraken de kansen en gevolgen te bepalen. Het verloop van een overstroming dat hoort bij een bepaalde doorbraak of combinatie van doorbraken wordt een overstromingsscenario genoemd. De kansen op de verschillende overstromingsscenario's worden bepaald op basis van de berekende faalkansen per vak en kunstwerk.

Door de provincie is onder begeleiding van VNK2 voor een aantal breslocaties overstromingsberekeningen gemaakt, voor verschillende belastingsituaties [3]. Per overstromingsberekening zijn de gevolgen bepaald in termen van economische schade en slachtoffers. Daarbij zijn ook de (on)mogelijkheden voor evacuatie meegenomen.

Door de scenariokansen aan de bijbehorende gevolgen te koppelen kan het overstromingsrisico worden bepaald. Het overstromingsrisico wordt weergegeven door de jaarlijkse verwachtingswaarden van de schade en het aantal slachtoffers, het groepsrisico (FN-curve), de kansverdeling van de schade (FS-curve), het Plaatsgebonden Risico (PR) en het lokaal individueel risico (LIR). In hoofdstuk 6 wordt nader op deze weergaven van het risico ingegaan.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een beschrijving van het dijkkringgebied opgenomen. Dit hoofdstuk gaat onder andere in op de inrichting en de hoogteligging, het watersysteem en de ligging van de primaire waterkering. Ten slotte is in dit hoofdstuk de onderverdeling van de dijken in dijkvakken beschreven en is een toelichting gegeven op de selectie van de kunstwerken waarvoor in VNK2 betrouwbaarheidsanalyses zijn uitgevoerd.

In hoofdstuk 3 zijn de berekende faalkansen per vak/kunstwerk en per faalmechanisme getoond en besproken, na een korte toelichting op de beschouwde en niet-beschouwde faalmechanismen. De vakken met de grootste faalkansen zijn uitgelicht.

In hoofdstuk 4 zijn de resultaten van de uitgevoerde overstromingsberekeningen besproken. Het betreft hier steeds enkelvoudige doorbraken. Per doorbraaklocatie zijn overstromingsberekeningen uitgevoerd voor verschillende belastingcondities. Voorafgaand aan de presentatie van de resultaten van de overstromingsberekeningen is kort ingegaan op de gehanteerde aannamen en uitgangspunten. Naast enkelvoudige doorbraken kunnen zich ook meervoudige doorbraken voordoen.

Hoofdstuk 5 beschrijft de resultaten van de scenariokansberekeningen. Ook is een toelichting gegeven op de selectie van de scenario's (enkelvoudige en meervoudige doorbraken) die ten grondslag liggen aan de risicoberekeningen.

Hoofdstuk 6 beschrijft de resultaten van de uitgevoerde risicoberekeningen. Het overstromingsrisico is op verschillende wijzen weergegeven. Het economisch risico en het slachtofferrisico zijn afzonderlijk behandeld.

Hoofdstuk 7 beschrijft de resultaten van gevoeligheidsanalyses die zijn uitgevoerd. Deze geven inzicht in de invloed van belangrijke uitgangspunten op de omvang van het berekende overstromingsrisico. Ook geven zij aan wat de invloed is van verschillende (typen) interventies.

In hoofdstuk 8 worden de conclusies gegeven van de risicoanalyse voor de categorie a-kering van dijkkring 31. Ten slotte zijn aanbevelingen gedaan voor het waarborgen en verder vergroten van de overstromingsveiligheid.

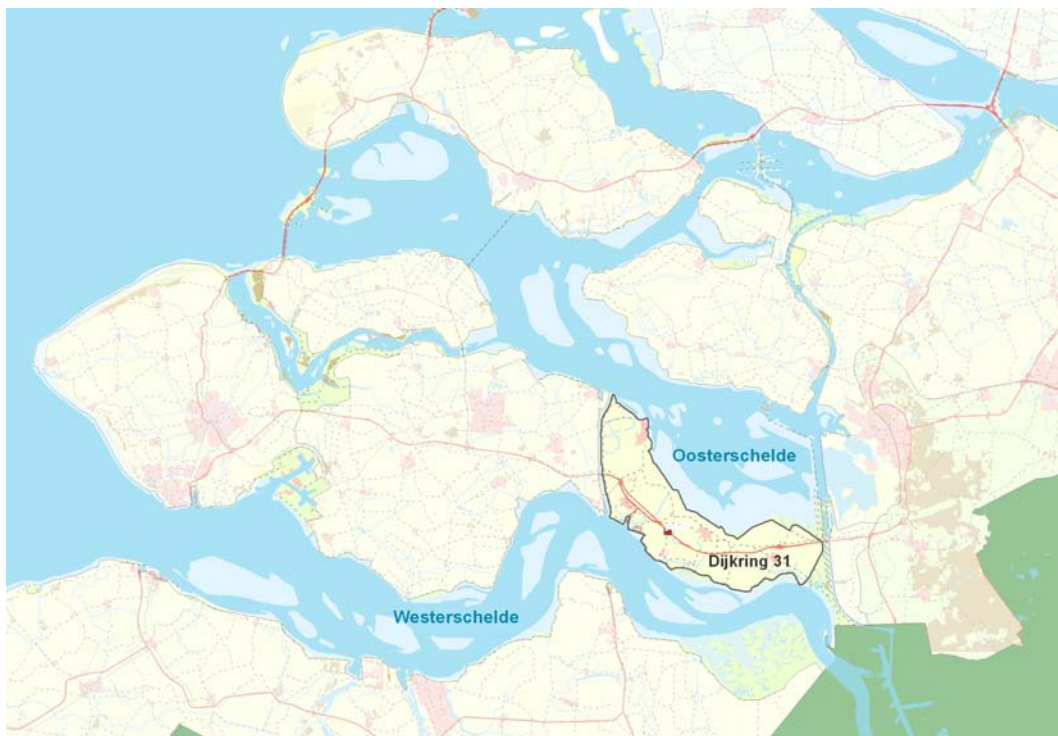
2 Gebiedsbeschrijving en schematisatie

In dit hoofdstuk wordt de ligging en kenmerken van dijkkringgebied 31: Zuid-Beveland (oost) besproken. Daarnaast wordt de onderverdeling van de waterkering in vakken ten behoeve van de faalkansberekeningen toegelicht. In het achtergrondrapport wordt nader ingegaan op de vakindeling.

2.1 Beschrijving dijkkring 31: Zuid-Beveland (oost)

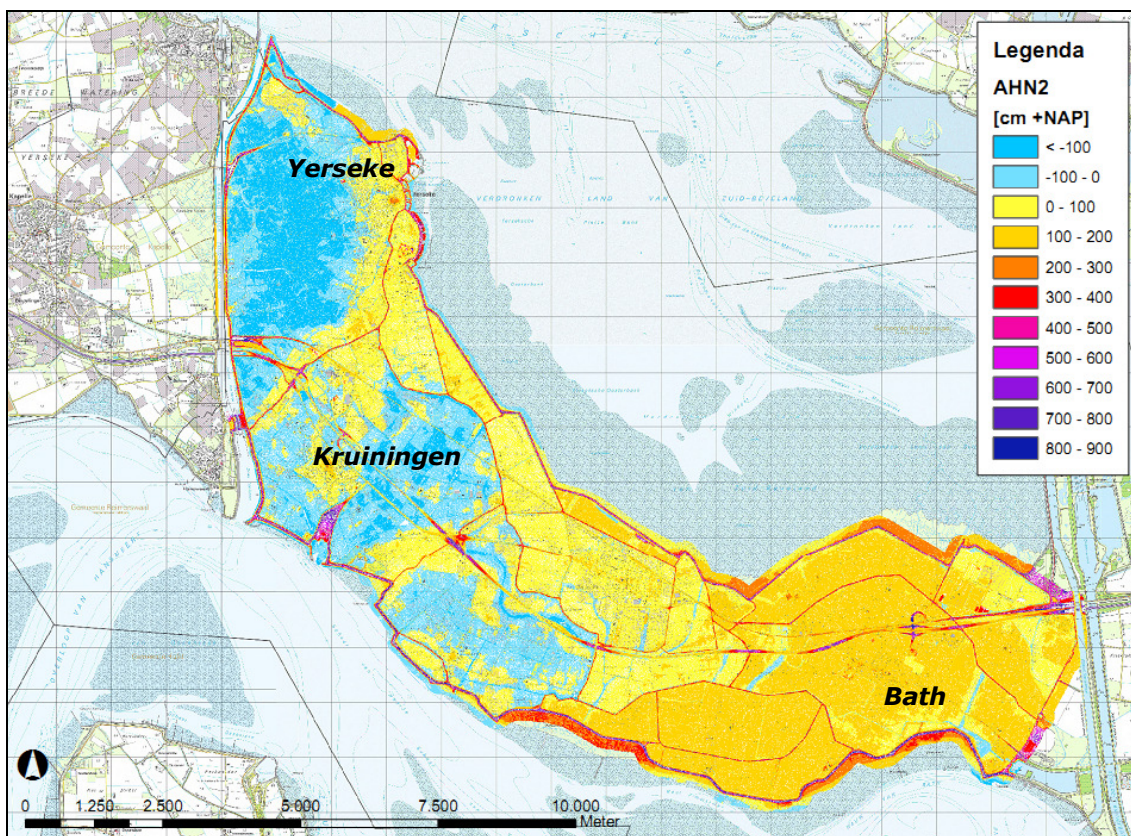
2.1.1 Gebiedsbeschrijving

Dijkkring 31 is gelegen op Zuid-Beveland in Zeeland en wordt begrensd door de Westerschelde aan de zuidzijde, de Oosterschelde aan de noordzijde, het Kanaal door Zuid-Beveland aan de westzijde en het Spuikanaal bij Bath aan de oostzijde. De dijken langs het Spuikanaal aan de oostzijde van de dijkkring betreffen categorie c-keringen.



Figuur 11: Ligging dijkkring 31.

In dijkkring 31 zijn een aantal laaggelegen polders aanwezig (met name de Koude polder en de Yerseke Moer). Deze liggen aan de westzijde van de dijkkring. Het maaiveld ligt hier over een groot oppervlak beneden NAP -1 m. Langs de Oosterschelde is over grote delen voorland aanwezig in de vorm van schorren en slikken. Figuur 12 toont de hoogteligging van het dijkkringgebied. In de figuur zijn de diepe polders en de hoger gelegen gebieden goed te herkennen.



Figuur 12: Hoogteligging dijkringgebied.

2.1.2 Watersysteem

Dijkkring 31 is een overwegend laaggelegen gebied met veel verschillende polders met een eigen waterpeil. Deze polders moeten, ten tijde van neerslagsituaties, hun overtollige water kwijtraken. De polders lozen hun overtollige water op een hoofdwatgang die het water transporteert naar de kust en via een gemaal lozen op het buitenwater.

2.1.3 Beheerder

De primaire waterkering van dijkkringgebied 31 is in beheer van het Waterschap Scheldestromen.

Bij wet is geregeld dat de provincies (Gedeputeerde Staten) de toezichthouders zijn op alle primaire waterkeringen. De beheerder moet over de zesjaarlijkse toetsing over de algemene waterstaatkundige toestand van de primaire waterkeringen verslag uitbrengen aan Gedeputeerde Staten. Ook moet de beheerder voor bijvoorbeeld een dijkversterking goedkeuring vragen aan Gedeputeerde Staten. De Gedeputeerde Staten rapporteert aan de Minister.

2.1.4 De primaire waterkering van dijkkring 31

De primaire waterkering van dijkkring 31 bestaat uit waterkeringen die behoren tot verschillende categorieën (zie Figuur 13). De waterkeringen langs de oostzijde van dijkkring 31 zijn categorie c-keringen. Deze keringen beschermen indirect tegen buitenwater. De overige waterkeringen van de dijkkring zijn zogenaamde categorie a-keringen. Dit zijn primaire waterkeringen die direct bescherming bieden tegen buitenwater. In het voorliggende rapport worden alleen de waterkeringen beschouwd die behoren tot categorie a (zie ook paragraaf 2.6).



Figuur 13: De categorie a- en c-kering van dijkkring 31.

De dijken langs het kanaal door Zuid-Beveland aan de Oosterscheldezijde zijn ontworpen nadat de Oosterscheldekering is aangelegd. De afmeting van deze dijken zijn daardoor beperkter dan van de overige dijken langs de Oosterschelde die bij de partiële dijkverzwaring ontworpen zijn op een waterstand die eens in de 500 jaar voorkomt zonder rekening te houden met de aanwezigheid van de Oosterscheldekering.

2.2 Ontstaansgeschiedenis

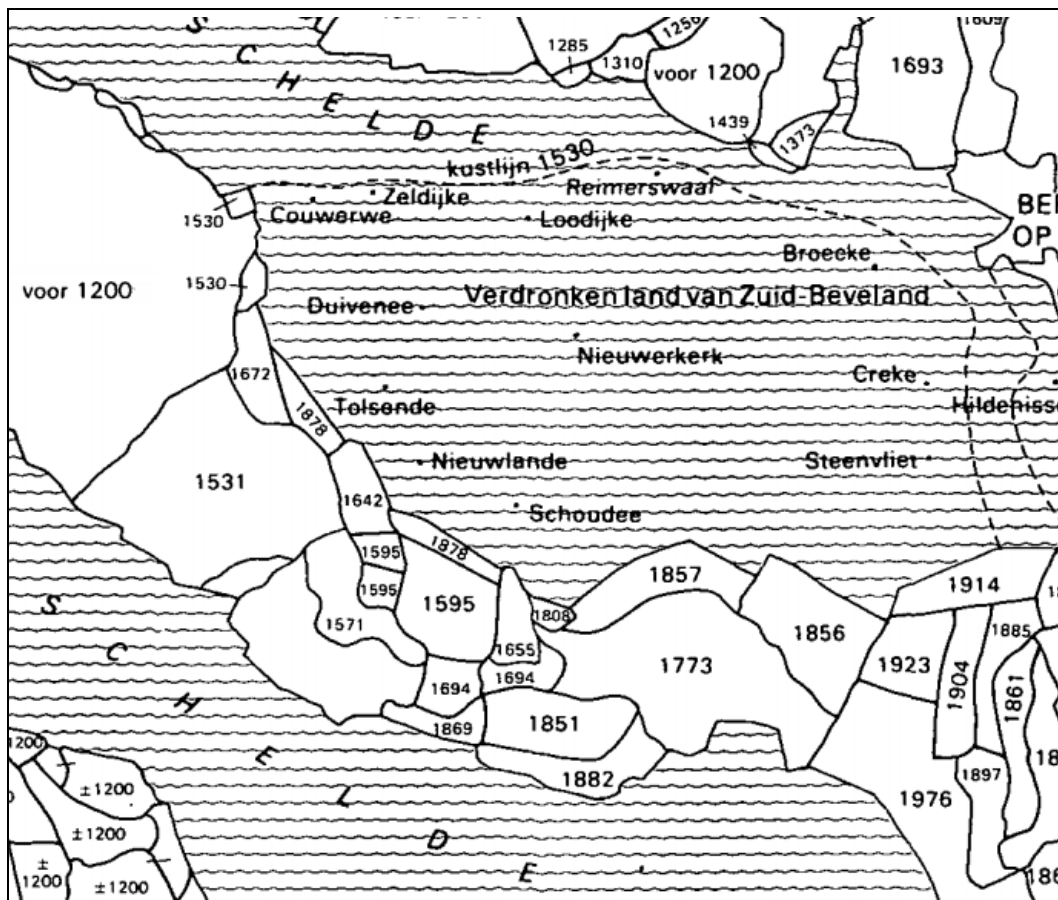
2.2.1 Geologie

De bodem van Zuid-beveland bestaat uit zeelei. De vorming van zeeleibodems is begonnen in het Vroeg-Holoceen. Na het afsmelten van de landijskappen steeg de zeespiegel tot een hoger peil dan tegenwoordig. Grote delen van Nederland raakten overspoeld. Met zand wierp de zee strandwallen op. Daarachter bevond zich een uitgestrekt waddegebied waar het water tot rust kwam en slibdeeltjes konden bezinken. Zo ontstonden dikke pakketten zeelei. De slikplaten slibden steeds hoger op, tot er schorren ontstonden. Al snel raakten ze begroeid met algen en zoutminnende planten, zoals slijkgras. Doordat ze slib invingen groeiden de slikken hoger, tot ze niet meer bij hoogwater overstromden. De zeebodem werd 'land' en er gingen nieuwe planten groeien [3]. Door diverse overstromingen in het verleden zijn meerdere kreken ontstaan die later weer opgevuld zijn met zand.

2.2.2 Inpolderingen

Omstreeks 1000 à 1100 is begonnen het land van Zuid-Beveland te beschermen tegen zee. Na 1200 is begonnen met het bedijken van hoog opgeslibde gronden langs de zeegaten. In de middeleeuwen was oostelijk Zuid-Beveland veel groter dan nu. Naast de stad Reimerswaal lagen hier veel dorpen die door verschillende overstromingen zijn verdwenen. Bekend zijn onder andere de overstromingen uit 1530 en 1532 waarbij grote delen van Zeeland zijn overstromd.

Oostelijk Zuid-Beveland is bij deze overstromingen geheel overstroomd. Bij diverse stormvloedden tot circa 1570 gingen eerder bedijkte delen vrijwel geheel verloren. Vanaf de 16^e eeuw is vanuit oostelijke richting oostelijk Zuid-Beveland bedijkt [1].



Figuur 14: Bedijkingen met jaartal van inpoldering [1].

2.3 Geschiedenis: bedreigingen en versterkingen

2.3.1 Overstromingen in Zeeland

In de afgelopen eeuwen is Zeeland vele malen getroffen door een overstroming. Een aantal van deze overstromingen is weergegeven in Tabel 5.

Jaar	naam	gevolgen
1362	St. Marcellusvloed	Langs de gehele kust braken dijken door en grote delen van Nederland liepen onder
1404	Eerste Sint Elisabethsvloed	Grote delen van Vlaanderen en Zeeland kwamen onder water te staan.
1421	Tweede Sint Elisabethsvloed	Zeeland en Zuid-Holland worden getroffen door stormvloed in combinatie met een hoge rivierwaterstand
1424	Derde Sint Elisabethsvloed	De herstelwerkzaamheden die waren ingezet na de voorgaande Sint Elisabethsvloed liepen grote schade op. Door het overstromen van de Hollandse Waard ontstond de Biesbosch.
1530	Sint-Felixvloed ('Quade Saterdach')	Grote delen van Vlaanderen en Zeeland werden weggespoeld. Het gebied ten oosten van Yerseke, Oost-Watering, overstroomde geheel.

Jaar	naam	gevolgen
		In dit gebied lagen 18 dorpen en de stad Reimerswaal. Alleen een klein stukje van de stad dat hoger lag bleef behouden. Het gebied is niet meer teruggewonnen van de zee en heet nu het Verdrongen land van Zuid-Beveland. De eilanden Noord-Beveland en Sint Philipsland verdwijnen.
1532	Allerheiligenvloed	Delen van Zeeland verdrinken en bleven onder water tot aan de grote inpolderingen. Onder andere de dorpen Broecke, Nieuwlande en Duvenee gelegen op het Verdrongen Land van Zuid-Beveland verdwenen.
1570	Allerheiligenvloed	Deze stormvloed veroorzaakte veel schade op de Zeeuwse eilanden.
1682	-	Springvloed bij noordwesterstorm. In Zeeland overstroonden 161 polders.
1808	-	Stormvloed in Zeeland en Vlaanderen. Gevolg was een algemene dijkverhoging.
1906	-	Bij deze overstroming werden vooral Zeeland en Vlaanderen getroffen. Doordat de overstroming overdag plaatsvond, vielen er geen slachtoffers.
1953	Watersnoodramp	Bij deze overstroming werden grote delen van Zeeland en Zuid-Holland getroffen. Er vielen bijna 1800 slachtoffers.

Tabel 5: Overstromingen in Zeeland afgelopen eeuwen.

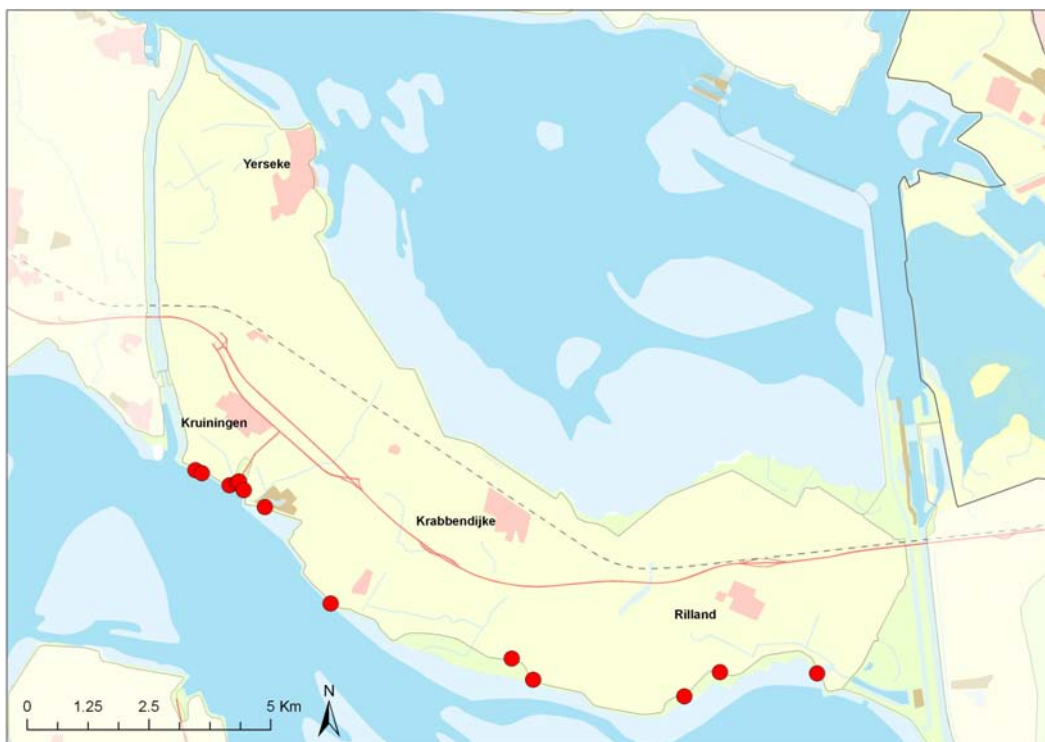
Na elke overstroming werden herstelwerkzaamheden in gang gezet om het land weer bewoonbaar te maken en te beschermen tegen nieuwe overstromingen. Na de watersnoodramp van 1953 werd de Deltacommissie geïnstalleerd om een plan te maken om het land tegen overstromingen te beschermen. De commissie introduceerde een nieuwe veiligheidsfilosofie waarbij de kosten van een verlaging van de overstromingskans werden afgezet tegen de verlaging van het overstromingsrisico. Overstromingskansen konden destijds echter nog niet worden berekend. De economisch optimale overstromingskansen werden daarom vertaald naar overschrijdingskansen van waterstanden die de waterkeringen moesten kunnen keren. Zoals inmiddels bekend is, bestaat er tussen overstromingskansen en overschrijdingskansen echter geen eenduidige relatie (zie ook paragraaf 1.3).

2.3.2 De watersnoodramp van 1953

Tijdens de watersnoodramp van 1953 zijn grote delen van Zeeland en Zuid-Holland overstromd (zie Figuur 15). Ook grote delen van dijkkring 31 zijn hierbij onder water komen te staan.



Figuur 15: Overstroomde gebieden 1953 [10].



Figuur 16: Doorbraaklocaties 1953 in dijkkring 31.

De overstromingen van dijkkring 31 waren het gevolg van een aantal dijkdoorbraken langs de Westerschelde. Ook een aantal regionale waterkeringen zijn toen doorgebroken. De locaties waar in 1953 dijkdoorbraken zijn geweest zijn weergegeven in Figuur 16. In Tabel 6 is een overzicht opgenomen van de dijkdoorbraken. Hierin is te zien dat er in 1953 geen doorbraken vanuit de Oosterschelde zijn geweest, maar dat de bressen alleen aan de zijde van de Westerschelde zijn ontstaan. Ook is te zien dat enkele regionale waterkeringen zijn bezweken.

Nr.	Polder	type	bijzonderheden
1	Polder Kruijningen	primair	Ter plaatse van dp32 is 80 meter verdwenen.
2	Polder Kruijningen	primair	Ter plaatse van dp33 is 40 meter verdwenen.
3	Kruijningen Veerhaven	primair	Westelijke havendijk 50 meter weggeslagen.
4	Kruijningen Veerhaven	primair	In de Veerhaven is een stroomgat ontstaan met een lengte van 150 meter
5	Kruijningen Veerhaven	primair	Coupure Veerhaven was nog niet gesloten. Water stroomde door deze opening de polder in.
6	Kruijningen Veerhaven	primair	Oostelijke havendijk gedeeltelijk weggeslagen.
7	Veerhaven/Kadijk	primair	Ter plaatse van dp17 is 200 meter weggeslagen.
8	Westveerpolder	primair	Ter plaatse van dp33/35 is 60 meter weggeslagen.
9	Oost Inkelsepolder/ Waardepolder	regionaal	6 gaten in de Kadijk.
10	Oost Inkelsepolder/ Waardepolder	regionaal	5 gaten in de Kadijk en 2 gaten in de Lavendeldijk.
11	Nieuwlandepolder	regionaal	Als gevolg van overslaand water uit de Kruijningenpolder inundatie tot NAP+0.70m.
12	Emmanuelpolder	primair	Ter plaatse van dp3 is 90 meter weggeslagen. Water in de polder steeg die nacht tot NAP+4.40m.
13	Zimmermanpolder	primair	Tussen dijkpaal 39 en 44 is bovenkant van de dijk over ruim 300 meter tot 3.15m+NAP weggeslagen.
14	Zimmermanpolder	primair	Ter plaatse van dp8 is 60 meter weggeslagen.
15	Reigersbergsepolder	primair	Ter plaatse van dp45 t/m 47 is 180 meter weggeslagen. Polder geïnundeerd tot 163.00m+NAP.
16	Reigersbergsepolder	regionaal	Rijksweg deelt de polder in 2 stukken.
17	Reigersbergsepolder	primair	Ter plaatse van dp18 en 19 is 120 meter weggeslagen.

Tabel 6: Doorbraaklocaties 1953 dijkkring 31.

2.3.3 Versterkingen

Alle waterkeringen langs de Wester- en Oosterschelde zijn in de periode tussen 1958 en 1985 op deltahoogte gebracht. Op drie locaties is recent (2009) een dijkverbetering uitgevoerd (zie Figuur 17). Hierbij is de dijk verhoogd, zijn taluds verflauwd, is steenzetting aangebracht op het buitentalud en is een kleibekleding aangebracht op het binnentalud.



Figuur 17: Recent uitgevoerde dijkverbeteringen.

2.3.4 Het kanaal door Zuid-Beveland

De westzijde van dijkkring 31 wordt begrensd door het kanaal door Zuid-Beveland. De noordzijde van het kanaal staat in directe verbinding met de Oosterschelde. De zuidzijde van het kanaal staat in directe verbinding met de Westerschelde. Ter hoogte van Hansweert bevindt zich een sluizencomplex die beide watersystemen van elkaar scheidt.

Aan het einde van de 20^e eeuw is het kanaal drastisch verbreed, zijn de sluizen bij Wemeldinge voor het scheepvaartverkeer komen te vervallen en is in Hansweert een nieuw sluizencomplex gebouwd met twee sluiskolken. Tot die tijd was het kanaal gescheiden van de watersystemen van de Ooster- en Westerschelde. De dijken langs het kanaal zijn van oorsprong daarom geen zeedijken, zoals de overige dijken van dijkkring 31. De dijken langs het kanaal aan de Oosterscheldezijde zijn ontworpen nadat de Oosterscheldekering is aangelegd zodat de afmetingen van deze dijken beperkter zijn dan de afmetingen van de overige dijken langs de Oosterschelde. Deze zijn bij de partiële dijkverzwaring ontworpen op een 1 op 500 waterstand zonder rekening te houden met de invloed van de Oosterscheldekering.

2.4 Oosterscheldekering

De stormvloedkering in de Oosterschelde wordt gesloten op basis van de voorspelde waterstand aan de Noordzeezijde van de stormvloedkering. Er zijn twee type sluitingen:

1. strategiesluiting;
2. noodsluiting.

Bij de strategiesluiting wordt de kering gesloten indien de voorspelling aangeeft dat een buitenwaterstand van 3,0 m+NAP bereikt zal worden. De kering wordt dusdanig gesloten dat bij Stavenisse een peil van 1,0 m+NAP bereikt wordt.

Indien de waterstand van 3,0 m+NAP niet is voorspeld maar desondanks toch wordt bereikt treedt de noodsluiting in werking waarbij de kering automatisch wordt gesloten. In geval van een noodsluiting worden de waterstanden op de Oosterschelde hoger dan in geval van een strategiesluiting. Doordat de kering later gesloten wordt stroomt er meer water de Oosterschelde in.

De stormvloedkering is gesloten gedurende de perioden van hoogwater(vloed) tijdens een stormvloed. In de perioden van laagwater (eb) wordt de stormvloedkering geopend. Wanneer de kering gedurende meerder getijcycli gesloten is, wordt de zogenaamde 1-2-1 wisselstrategie gehanteerd. Dit houdt in dat gedurende de eerste hoogwatertop een streefpeil van 1,0 m +NAP geldt; gedurende de tweede hoogwatertop is het streefpeil 2,0 m +NAP en gedurende de derde hoogwatertop is het streefpeil wederom 1,0 m +NAP. Bij een eventuele vierde hoogwatertop wordt deze reeks voortgezet met een streefpeil van 2,0 m +NAP, etc. Deze wisselstrategie waarborgt een optimale spreiding van de golfenergie in het bekken tijdens opeenvolgende sluitingen en draagt zo bij aan een minimalisatie van schade aan zandplaten, alsmede slikken en schorren, en mosselpercelen [2]. Daarnaast draagt de wisselstrategie bij tot vermindering van kans op schade aan de bekleding omdat de belastingduur bij een bepaalde waterstand beperkt blijft.

Wanneer de stormvloedkering gesloten is, wordt het peil op de Oosterschelde nauwelijks nog beïnvloed door het getij. Als gevolg van de gedeeltelijke doorlatendheid van de stormvloedkering stijgt het waterpeil op de Oosterschelde gedurende deze periode nog wel circa 10 centimeter per uur.

2.5 Vakindeling categorie-a kering

Ten behoeve van de faalkansberekeningen is de categorie a-kering van dijkkring 31 onderverdeeld in vakken. Per vak zijn voor de verschillende faalmechanismen faalkansen berekend. De vakindelingen voor de dijken en de duinen zijn afzonderlijk opgesteld, omdat voor beide andere criteria gelden waarop vakken gedefinieerd worden.

2.5.1 Vakindeling dijken

Conform de standaardaanpak van VNK2 zijn er vakgrenzen aangenomen in de volgende gevallen:

- Verandering van de categorie waartoe de waterkering behoort;
- Verandering van het type waterkering;
- Grens van het beheersgebied van het Hoogheemraadschap;
- Grens van een ringdeel;
- Dijknormaal;
- Geometrie;
- Bodemeigenschappen;
- Dusdanige verandering in belasting en/of sterkte-eigenschappen dat niet langer sprake is van een homogene belasting en/of van homogene sterkte-eigenschappen.

Op basis van bovenstaande criteria zijn in totaal 55 dijkvakken gedefinieerd. Niet alle mechanismen zijn voor elk dijkvak doorgerekend. De dijken langs het Schelde-Rijnkanaal vallen geheel buiten de berekeningen omdat dit een categorie c-kering betreft. Voor vakken waarvan op basis van de toetsresultaten een zeer kleine faalkans te verwachten is voor het mechanisme opbarsten en piping zijn voor dit mechanisme geen faalkansberekeningen gemaakt. De beheerder herkent zich in dit beeld.

2.5.2 Overzicht vakindeling

Een overzicht van de onderverdeling van dijkkring 31 in dijkvakken is gegeven in Figuur 18. Een compleet overzicht van de vakgrenzen, locatieaanduidingen en bijbehorende ringdelen is opgenomen in bijlage C.



Figuur 18: Dijkvakken dijkkring 31.

2.6 Kunstwerken

In dijkkring 31 bevinden zich 8 kunstwerken. In Tabel 7 staan deze kunstwerken vermeld. Om de relatie tussen de kunstwerken en de dijken aan te geven, is per kunstwerk aangegeven bij welk dijkvak en in welk ringdeel het is gelegen. De schutsluis Hansweert, de suatiesluis Bathpolder en de duikersluis Paviljoen liggen niet in de dijkkring maar op de verbindende waterkering.

Kunstwerk naam en type	Type	VNK nummer	Hm	Dijkvak	Ringdeel
Gemaal de Moer	Gemaal	VNK.31.02.001	256	31.24700.OS	13
Gemaal Glerum	Gemaal	VNK.31.02.002	331	31.32800.WS	15
Gemaal J.A. v/d Graaff	Gemaal	VNK.31.02.003	19	31.01808.OS	2
Gemaal Waarde	Gemaal	VNK.31.02.004	372	31.36974.WS	18
Schutsluis Hansweert	Schutsluis	dijkkringverbindende kering (cat. B). Ligt buiten de dijkkring			
Suatiesluis Bathpolder	Spuisluis	spuisluis ligt in categorie c-kering en is derhalve niet beschouwd			
Duikersluis Paviljoen	Spuisluis	duikersluis ligt in categorie c-kering en is derhalve niet beschouwd			
Inlaat zoetwatergemaal	Gemaal	inlaat ligt in categorie c-kering en is derhalve niet beschouwd			

Tabel 7: Kunstwerken in dijkkring.

In de screeningfase zijn alle kunstwerken in de dijkkring beschouwd. Op basis van de specifieke kenmerken per kunstwerk en een bovengrensbenadering van de faalkans per faalmechanisme is in overleg met de beheerder en het projectbureau VNK2 uiteindelijk gekozen om de volgende kunstwerken nader te analyseren ten aanzien van de aangegeven faalmechanismen (zie Figuur 19 en tabel 8). Een nader beschrijving van de screening van de kunstwerken staat in [11].



Figuur 19: Kunstwerken dijkkring 31.

Kunstwerk	VNK-nummer	Dijkvak	OO	BS	OA	SS
Gemaal de Moer	VNK.31.02.001	31.24700.OS			X	X
Gemaal Glerum	VNK.31.02.002	31.32800.WS			X	X
Gemaal J.A. v/d Graaff	VNK.31.02.003	31.01808.OS			X	X
Gemaal Waarde	VNK.31.02.004	31.36974.WS			X	X

Tabel 8: Geselecteerde faalmechanismen voor nadere uitwerking.

3 Overstromingskans

Dit hoofdstuk beschrijft de wijze waarop de overstromingskans is berekend en toont de resultaten van de uitgevoerde berekeningen.

3.1 Aanpak en uitgangspunten

De berekeningen van de overstromingskans van de dijkkring en de faalkansen van de dijkvakken en kunstwerken zijn uitgevoerd met behulp van het programma PC-Ring [6][7][8]. De faalkansen voor het faalmechanisme "macrostabiliteit binnenwaarts" zijn met behulp van aparte procedures buiten PC-Ring berekend. De voor dit faalmechanisme berekende faalkansen dienden wel weer als invoer voor PC-Ring bij het berekenen van de overstromingskans.

De betreffende belastingmodellen zijn afgestemd op de thermometerwaarden van 2006 (TMR2006). In deze waarden zijn de gegevens en inzichten tot en met 2006 verwerkt. Voor de Ooster- en Westerschelde zijn de waterstanden en golfrandvoorwaarden voor elk uitvoerpunt aan de oever bepaald met het hydraulische model SWAN.

Ten behoeve van de berekening van de faalkans is eerst per vak bepaald welke faalmechanismen op welke locaties relevant zijn. Daarbij is gebruik gemaakt van de resultaten en onderliggende gegevens uit de derde toetsronde en het oordeel van de beheerder. Per faalmechanisme is per vak een schematisatie van de waterkering opgesteld (bepaling hoogte, intree- en uittreepunt, gemiddelden, spreidingen et cetera). Op vakniveau zijn, indien relevant, verschillende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om een beeld te krijgen van de invloeden van alternatieve schematisaties. Voor een uitgebreide toelichting op de vakindeling, selectie van faalmechanismen en de opgestelde schematisaties per faalmechanisme en vak wordt verwezen naar het achtergrondrapport [5].

3.2 Aandachtspunten dijkkring 31

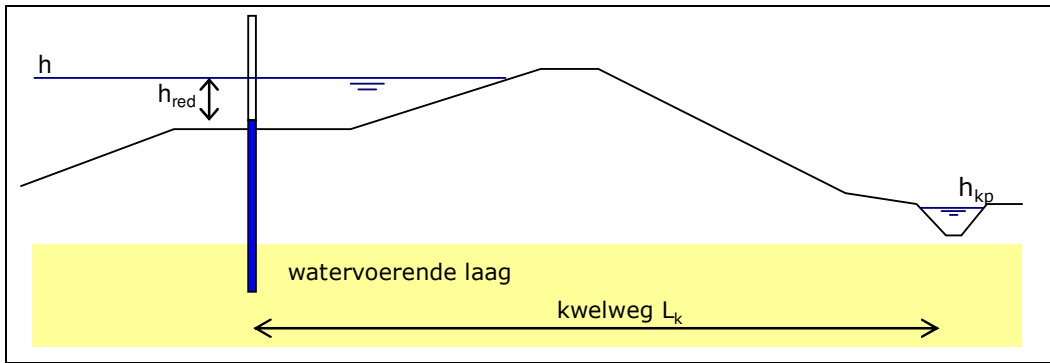
Strategiesluiting versus noodsluiting

Voor de Oosterscheldekering zijn, zoals in paragraaf 2.4 beschreven, twee sluitregimes van toepassing: de strategiesluiting en de noodsluiter. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de sluiting van de Oosterscheldekering in 99% van de gevallen volgens de strategiesluiting verloopt en in 1% van de gevallen volgens de noodsluiting, zoals dat ook in de HR2006 het geval is. Aangezien de noodsluiting bij een hogere waterstand plaatsvindt dan de strategiesluiting leidt dit in de waterstandstatistiek tot een discontinuïteit. Deze discontinuïteit leidt in de berekeningen tot (zeer) lange rekentijden voor de dijkvakken langs de Oosterschelde. Dit geldt met name voor het mechanisme opbarsten en piping.

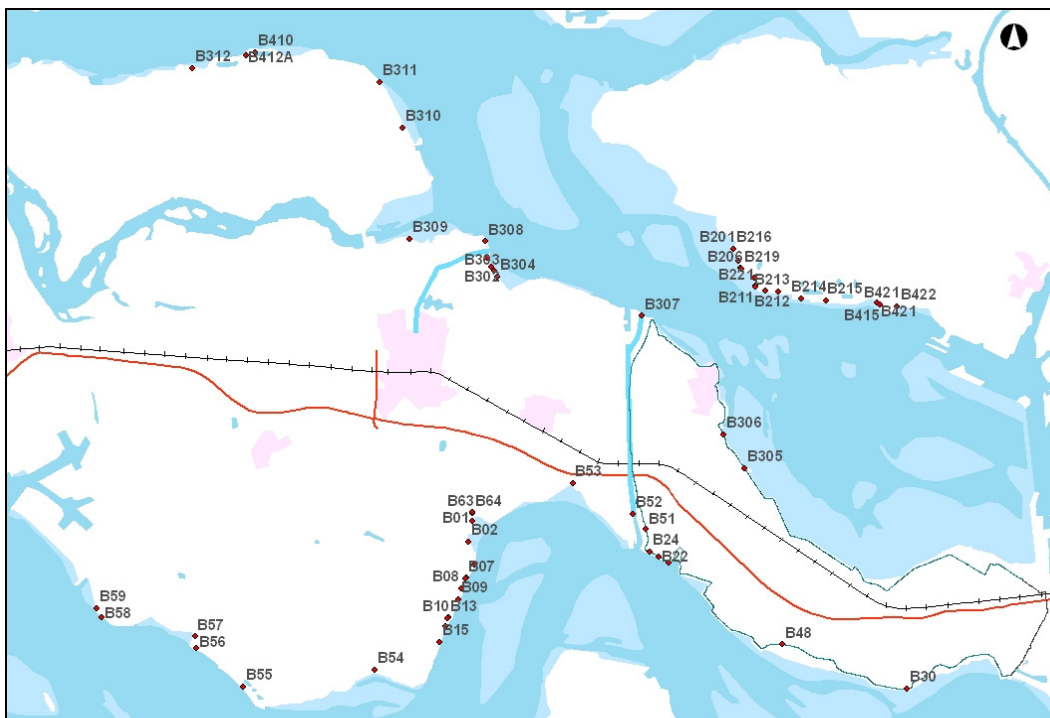
Peilbuisonderzoek beheerder

In de periode 2006-2010 heeft de beheerder op 52 locaties binnen zijn beheergebied peilbuisonderzoek uitgevoerd naar de respons van de stijghoogtes onder de waterkeringen op het verloop van de buitenwaterstand. Hiermee is het mogelijk gebleken om een gebiedsafhankelijke en aanzienlijk minder conservatieve inschatting te maken voor het waterspanningsverloop in en onder de dijk Figuur 20.

Deze peilbuizen zijn geplaatst halverwege de buitenberm. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 20.



Figuur 20: Schematisatie intredeweerstand.



Figuur 21: Locaties peilbuizen buitenberm.

In de metingen is een duidelijk verschil te zien tussen de buitenwaterstand en de gemeten stijghoogte. De peilbuismetingen zijn door de beheerder statistisch bewerkt en toegepast in de toetsing. Binnen VNK2 zijn de resultaten van de peilbuismetingen meegenomen in de berekening van de faalkans op piping. In de onderstaande tabel zijn de binnen VNK gebruikte reducties op de stijghoogte (h_{red}) weergegeven. Voor een nadere onderbouwing van de gebruikte reducties wordt verwezen naar het achtergrondrapport van dijkkring 31 [5]. Deze zijn ontleend aan de peilbuisgegevens die gebruikt zijn voor de toetsing (3^e ronde) [12]. Door de grotere opzet op de Westerschelde is de waterstandreductie in de Westerschelde veel groter dan in de Oosterschelde.

	h_{red} gemiddeld [m]	standaarddeviatie [m]
Oosterschelde met voorland	2,0	0,25
Oosterschelde zonder voorland	1,5	0,25
Westerschelde met voorland	4,0	0,25
Westerschelde zonder voorland	3,0	0,25

Tabel 9: Binnen VNK2 gehanteerde reductie op het verval.

3.3 Beschouwde faalmechanismen

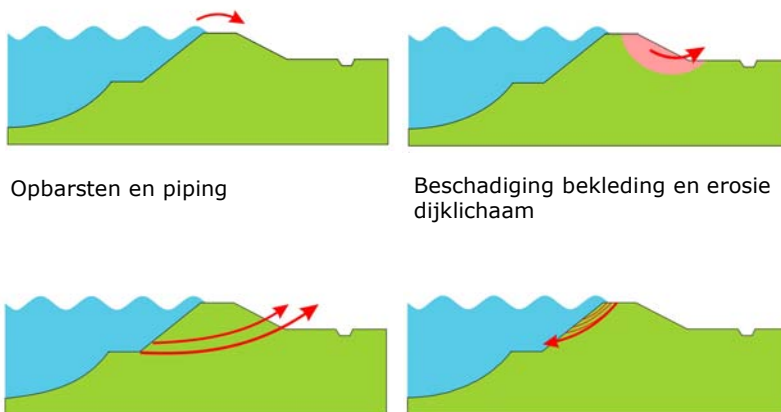
3.3.1 Faalmechanismen dijken

Bij de bepaling van de faalkans van de dijken worden in VNK2 de volgende faalmechanismen beschouwd:

- Overloop en golfoverslag;
- Macrostabieliteit binnenwaarts;
- Opbarsten en piping;
- Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam.

Overloop en golfoverslag

Macrostabieliteit binnenwaarts



Figuur 22: Beschouwde faalmechanismen dijken.

Overloop en golfoverslag

Bij dit faalmechanisme bezwijkt de dijk doordat grote hoeveelheden water over de dijk heen lopen of slaan. Bij afluiddige wind of bij anderszins zeer kleine golfhoogten wordt het bezwijken beschreven door het faalmechanisme overloop. In andere gevallen door het faalmechanisme golfoverslag.

Macrostabieliteit binnenwaarts

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

Opbarsten en piping

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

Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam

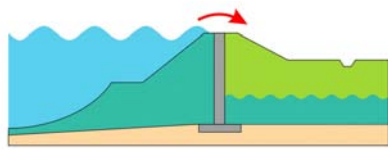
Bij dit faalmechanisme bezwijkt de dijk doordat eerst de bekleding wordt beschadigd door de golfaanval waarna de grootte van de doorsnede van de dijk kern door erosie wordt verminderd en de dijk inzakt.

3.3.2 Faalmechanismen kunstwerken

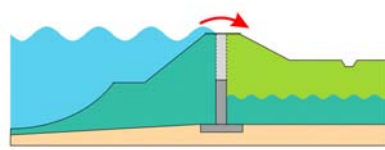
Voor de bepaling van de faalkans van een kunstwerk wordt rekening gehouden met de volgende faalmechanismen (zie ook Figuur 23):

- Overloop en golfoverslag;
- Niet-sluiten;
- Achterloopsheid en onderloopsheid;
- Constructief falen.

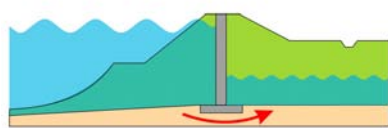
Overloop en golfoverslag



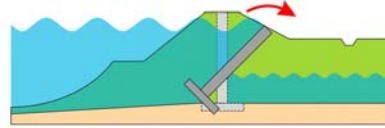
Niet-sluiten



Achterloopsheid en onderloopsheid



Constructief falen



Figuur 23: Beschouwde faalmechanismen kunstwerken.

Overloop en golfoverslag

Bij het faalmechanisme overloop en golfoverslag bezwijkt het kunstwerk ten gevolge van erosie achter het kunstwerk door overloop en overslag. De beoordeling van het kunstwerk is gebaseerd op een vergelijking van de kerende hoogte in gesloten toestand met de overschrijdingsfrequentielijn van de buitenwaterstand.

Niet-sluiten

Bij het mechanisme niet-sluiten van kunstwerken wordt de waterkering als bezweken beschouwd als de beweegbare kering niet gesloten is én het debiet groter is dan het kritieke debiet. De hoofdoorzaken van falen betreffen de volgende fasen:

- Fase 1: Falen sluiting. Falen van de sluiting vindt plaats door falen van het sluitproces en door falen van het herstel achteraf.
- Fase 2: Falen door instroming. Falen vindt plaats als het instromende debiet groter is dan het kritieke debiet dat vanuit de sterkte van de achter het kunstwerk aanwezige bodembescherming toelaatbaar is. Indien de erosie die dan optreedt, leidt tot ondergraving van het object, zal bezwijken optreden.

Achterloopsheid en onderloopsheid

Op het contactvlak tussen grond en kunstwerk kan onder en/of langs het kunstwerk een grondwaterstroming ontstaan die tot kwel kan leiden. Bij toenemende kwel kunnen zandmeevoerende wellen ontstaan, waardoor ondermijning van het kunstwerk kan optreden. Aangenomen wordt dat bij het optreden en constateren van piping bij kunstwerken er geen tegenmaatregelen getroffen kunnen worden. In de beschrijving van de grenstoestandfuncties wordt onderscheid gemaakt in twee methoden: Blich voor alleen horizontale kwelwegen langs het kunstwerk en Lane voor gecombineerde horizontale en verticale kwelwegen onder en langs het kunstwerk.

Constructief falen

Bij het faalmechanisme constructief falen is de beoordeling van het kunstwerk gebaseerd op een beschouwing van de constructieve sterkte en stabiliteit in relatie tot de belastingen bij het keren van hoogwater. Bij deze beoordeling zijn de volgende mechanismen van toepassing:

- Falen door bezwijken van de keermiddelen ten gevolge van vervalbelasting
- Falen door functieverlies ten gevolge van een aanvaring (schutsluizen)
- Falen door metastabiliteitsverlies van het kunstwerk of delen daarvan waardoor het kunstwerk zijn contact met de waterkering zodanig verliest dat erosie om het kunstwerk optreedt.

Beoordelingsmethode

Voor een aantal typen kunstwerken is binnen het project VNK2 een methode ontwikkeld om faalkansen te berekenen voor de verschillende faalmechanismen. Het gaat om de volgende typen kunstwerken: schutsluizen, keersluizen, in- en uitwateringssluizen, coupures, tunnels en gemalen. Uitwaterende leidingen worden beschouwd als uitwateringssluizen.

Het falen van een kunstwerk door het optreden van overloop en golfoverslag, niet-sluiten van afsluitmiddelen of het bezwijken van afsluitmiddelen leidt op zichzelf niet tot het ontstaan van een bres in de waterkering. Daarvoor is het ook nog nodig dat er erosie van de achterliggende bodembescherming optreedt, waardoor het kunstwerk geheel bezwijkt en er daadwerkelijk een bres kan optreden. Het optreden van erosie is afhankelijk van de sterkteparameters van de aanwezige bodembescherming. Binnen VNK2 wordt voor de hierboven genoemde faalmechanismen zowel de kans van optreden van een faalmechanisme als de kans van het optreden van erosie bepaald en gecombineerd, zodat uiteindelijk een bezwijkkans (kans op bresvorming) wordt uitgerekend.

Bij de mechanismen achterloopsheid/onderloopsheid en algehele instabiliteit wordt verondersteld dat de standzekerheid direct verloren gaat op het moment dat het faalmechanisme optreedt, zodat bresvorming plaatsvindt. De bijbehorende faalkans wordt daarom beschouwd als kans op het ontstaan van een bres. Hiermee is de beoordeling van de kunstwerken in analogie met de beoordeling van de dijken en duinen. Voor elk kunstwerk wordt per faalmechanisme het aanwezige verval over het kunstwerk en het instromende debiet bepaald op het moment van falen van (onderdelen van het) kunstwerk.

3.4 Niet beschouwde faalmechanismen

Niet alle faalmechanismen kunnen met het VNK2-instrumenarium worden doorgerekend. Daarom worden ondermeer de faalmechanismen zettingsvloeiing, afschuiven voorland, afschuiven buitentalud, micro-instabiliteit binnen VNK2 niet in de faalkansberekeningen meegenomen. Uit de toetsing (3^e ronde) blijkt dat deze faalmechanismen binnen dijkkring 31 geen gevaar vormen voor de veiligheid. Daarnaast treden de faalmechanismen zettingsvloeiing, afschuiven voorland en buitentalud veelal op ná een hoogwater en leveren daarmee niet direct een bijdrage aan een overstroming.

Op de dijken van dijkkring 31 is over het grootste gedeelte op het buitentalud een steenbekleding aanwezig. Begin jaren negentig bleek dat de steenbekleding van veel dijken in Zeeland niet aan de veiligheidseisen voldeed. In 2015 moet in totaal 325 kilometer dijk zijn versterkt. Alle Zeeuwse dijken voldoen dan voor een periode van minimaal 50 jaar aan de veiligheidsnorm. De steenbekleding van de dijken van dijkkring 31 is voor een deel vervangen in het kader van het project Zeeweringen. Een ander deel moet nog worden verbeterd. Na uitvoering van het project in 2015 voldoet alle steenbekleding aan de norm. Op het boventalud is vrijwel overal een grasbekleding aanwezig. Daar waar de grasbekleding in de toetsing het oordeel "onvoldoende" heeft gekregen wordt de grasbekleding ook in het kader van het project Zeeweringen verbeterd. Er is van uitgegaan dat de versterkte situatie geen bijdrage levert aan de overstromingskans.

3.5 Berekende overstromingskansen

3.5.1 Overstromingskansen en faalkansen per faalmechanisme

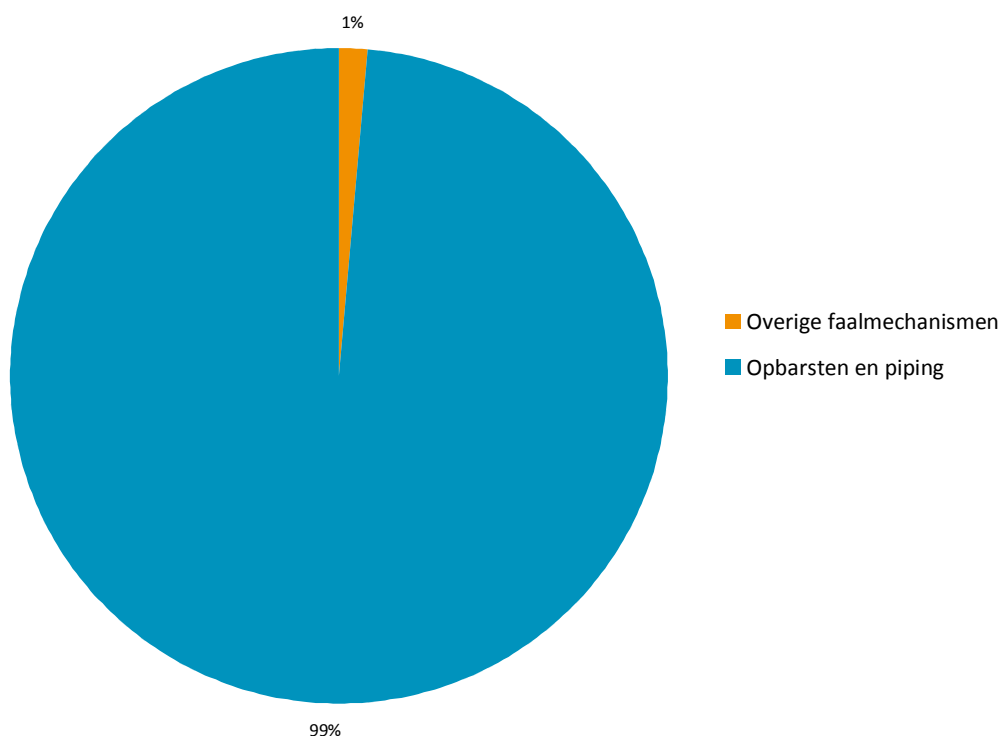
De berekende overstromingskansen voor de categorie a-kering van dijkkring 31 is $>1/100$ per jaar. In Tabel 10 zijn de faalkansen voor de verschillende faalmechanismen weergegeven.

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)
Dijk	Overloop en golfoverslag	1/15.000
	Macrostabieliteit binnenwaarts	1/1.300
	Opbarsten en piping	$>1/100$
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	$<1/1.000.000$
Kunstwerk	Overloop en golfoverslag	-
	Niet sluiten	-
	Onder- en achterloopsheid	1/65.000
	Constructief falen	1/440.000
Overstromingskans		$>1/100$

Tabel 10: Berekende faalkansen (kans per jaar) per faalmechanisme en op ringniveau de overstromingskansen.

De overstromingskans wordt gedomineerd door het faalmechanisme opbarsten en piping. De faalkansbijdragen van het faalmechanisme overloop en golfoverslag, beschadiging bekleding en erosie dijklichaam en de beschouwde faalmechanismen voor de kunstwerken zijn verwaarloosbaar klein. Het faalmechanisme macrostabieliteit binnenwaarts heeft nog een kleine bijdrage aan de faalkans van de dijkkring.

In Figuur 24 is een overzicht opgenomen van de procentuele bijdragen van verschillende faalmechanismen aan de som van de faalkansen per faalmechanisme.



Figuur 24: Procentuele bijdragen van de verschillende faalmechanismen.

3.5.2 Faalkansen dijken

De berekende faalkansen zijn per faalmechanisme en per vak weergegeven in Tabel 11 en Tabel 12. Daarnaast is ook de totale vakkans in deze tabellen opgenomen en is deze grafisch weergegeven in Figuur 25.

ID	vaknaam	Hoogte [per jaar]	Stabiliteit [per jaar]	Piping [per jaar]	Gecombineerd [per jaar]
1	31.00000.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
2	31.00800.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
3	31.01808.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
4	31.03300.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
5	31.04700.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
6	31.06017.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
7	31.06906.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
8	31.07420.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
9	31.07743.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
10	31.08970.OS	<1/1.000.000	<1/1.000.000	-	<1/1.000.000
11	31.09610.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
12	31.10425.OS	<1/1.000.000	-	1/4.200	1/4.200
13	31.12204.OS	<1/1.000.000	-	1/89.000	1/88.000
14	31.13800.OS	<1/1.000.000	-	<1/1.000.000	<1/1.000.000
15	31.14552.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
16	31.15620.OS	<1/1.000.000	<1/1.000.000	-	<1/1.000.000
17	31.16500.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
18	31.16670.OS	<1/1.000.000	-	1/18.000	1/18.00
19	31.17229.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
20	31.18186.OS	<1/1.000.000	-	1/1.400	1/1.300
21	31.18587.OS	<1/1.000.000	-	1/3.600	1/3.600
22	31.19280.OS	<1/1.000.000	1/1.400	1/240	1/200
23	31.20286.OS	<1/1.000.000	-	1/170	1/160
24	31.21320.OS	<1/1.000.000	-	1/6.600	1/6.500
25	31.21753.OS	<1/1.000.000	-	1/200	1/190
26	31.22700.OS	<1/1.000.000	-	1/1.300	1/1.300
27	31.23700.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
28	31.24230.OS	<1/1.000.000	-	1/110.000	1/110.000
29	31.24700.OS	<1/1.000.000	-	>1/100	>1/100
30	31.26410.OS	<1/1.000.000	-	>1/100	>1/100
31	31.27157.OS	<1/1.000.000	-	>1/100	>1/100
32	31.28310.OS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000

Tabel 11: Resultaten per faalmechanisme Oosterschelde.

ID	vaknaam	Hoogte [per jaar]	Stabiliteit [per jaar]	Piping [per jaar]	Gecombineerd
33	31.28750.WS	<1/1.000.000	-	1/10.000	1/10.000
34	31.29980.WS	1/60.000	-	-	1/60.000
35	31.30400.WS	1/630.000	-	-	1/630.000
36	31.31450.WS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
37	31.32800.WS	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
38	31.33250.WS	1/78.000	-	1/4.100	1/3.900
39	31.34420.WS	1/50.000	1/58.000	1/29.000	1/15.000
40	31.35540.WS	1/79.000	1/39.000	1/52.000	1/18.000
41	31.36974.WS	1/85.000	-	1/40.000	1/29.000
42	31.38210.WS	1/86.000	-	1/15.000	1/13.000
43	31.38945.WS	1/62.000	-	1/410.000	1/54.000
44	31.39550.WS	1/41.000	-	-	1/41.000
45	31.40050.WS	1/38.000	-	<1/1.000.000	1/38.000
46	31.40830.WS	1/220.000	-	1/460.000	1/155.000
47	31.41810.WS	1/370.000	-	1/280.000	1/170.000
48	31.43050.WS	1/180.000	-	-	1/180.000
49	31.43750.WS	<1/1.000.000	-	1/27.000	1/27.000
50	31.44270.WS	1/45.000	-	<1/1.000.000	1/45.000
51	31.44750.WS	1/86.000	-	1/420.000	1/73.000
52	31.45500.WS	1/620.000	-	1/220.000	1/170.000
53	31.47060.WS	1/350.000	-	1/850.000	1/250.000
54	31.47770.WS	1/500.000	-	<1/1.000.000	1/460.000
55	31.48310.WS	1/610.000	-	1/4.500	1/4.500

Tabel 12: Resultaten per faalmechanisme Westerschelde.



Figuur 25: Overzicht faalkansen per dijkvak.

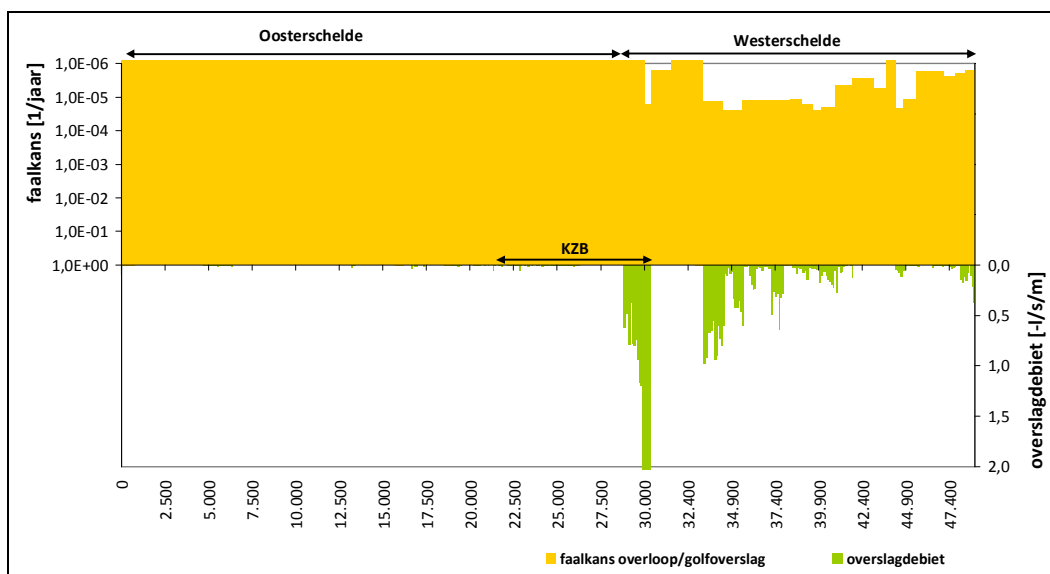
Overloop en golfoverslag

De berekende faalkansen voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag liggen voor alle dijkvakken in de orde $1/10.000 - <1/1.000.000$ per jaar. Dit betekent dat de grootste faalkans voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag kleiner is dan $1/10.000$ per jaar. Voor de vakken langs de Westerschelde zijn in vergelijking met de vakken langs de Oosterschelde relatief grote faalkansen berekend. De faalkansen van de vakken langs de Oosterschelde voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag zijn zonder uitzondering kleiner dan $1/1.000.000$ per jaar. Langs de Westerschelde zijn de kansen van de vakken altijd kleiner dan $1/10.000$ per jaar.

De berekende faalkansen zijn vergeleken met de resultaten van de 3^e toetsronde. Alle profielen binnen dijkkring 31 hebben op het toetsspoor hoogte (HT) het oordeel "goed" gekregen. De berekende kleine faalkansen komen dus goed overeen met het toetsresultaat.

Naast het toetsresultaat is ook een vergelijking gemaakt van de in de toetsing berekende overslagdebieten met de binnen VNK2 berekende faalkansen voor overloop/golfoverslag. Deze vergelijking is weergegeven in Figuur 26. Hierin is te zien dat waar de overslagdebieten klein zijn ook de berekende faalkansen klein zijn en vice versa. Opvallend is dat langs de Oosterschelde de berekende overslagdebieten en faalkansen voor het hele traject zeer klein zijn. Dit is een gevolg van het feit dat de dijken langs de Oosterschelde oude zeedijken zijn. Na de afsluiting van de Oosterschelde met de Oosterscheldekering zijn de hydraulische condities onder maatgevende omstandigheden drastisch veranderd. Dit heeft geresulteerd in lagere maatgevende waterstanden en golfrandvoorwaarden, waardoor de berekende overslagdebieten (toetsing) en de berekende faalkansen (VNK2) zeer klein zijn.

Het enig traject waarbij er een verschil is tussen de berekende overslagdebieten en de berekende faalkansen betreffen de Westerscheldevakken langs het Kanaal door Zuid-Beveland (KZB). Hier zijn relatief grote overslagdebieten berekend terwijl de berekende faalkansen laag zijn. Dit komt doordat er in de toetsing andere aannames zijn gedaan voor de golfrandvoorwaarden in het kanaal. Langs het kanaal zijn namelijk geen hydraulische randvoorwaardenpunten beschikbaar. De toetsing is uitgevoerd met de golfrandvoorwaarden in de monding van het kanaal. Met deze conservatieve aanname is het toetsoordeel "goed" gegeven voor het deelspoor "Hoogte". Bij de berekening van de faalkansen binnen VNK2 is gekozen voor een zo realistische bepaling van de faalkansen, zonder conservatieve aannames. Aangezien de strijklengtes op het kanaal zeer klein zijn, zullen er nauwelijks windgolven ontwikkelen tijdens maatgevende omstandigheden. Daarom is voor deze vakken alleen met het mechanisme overloop gerekend. Dit resulteert in kleine faalkansen wat het verschil met de vergeleken overslagdebieten verklaart.

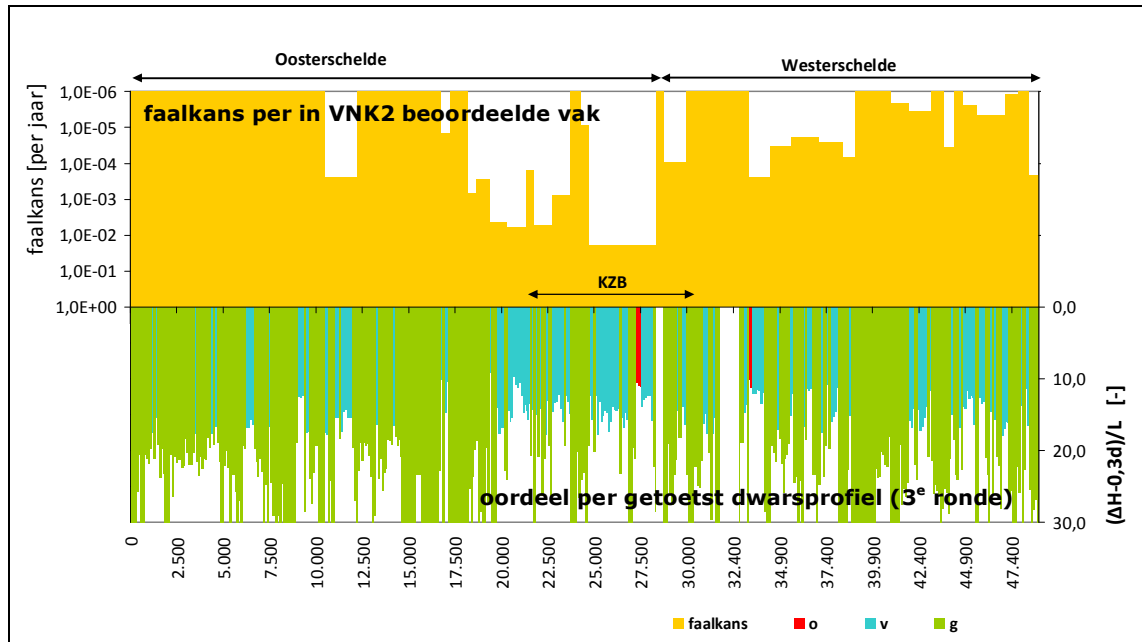


Figuur 26: Vergelijking resultaten met toetsing 3^e ronde.

Opbarsten en piping

De berekende faalkansen voor het faalmechanisme opbarsten en piping liggen voor een aantal vakken in de orde 1/100 - 1/1.000 per jaar. Deze relatief grote kansen zijn berekend voor de vakken langs het kanaal door Zuid-Beveland. Hier liggen ook de drie vakken met de grootste faalkansen, namelijk vak 29, 30 en 31. De grote faalkansen bij deze vakken komen overeen met het beeld uit de toetsing (3e ronde). Deze kansen worden verklaard door de geometrie van de dijk (schaardijk) en de laag gelegen polders achter de dijk. De beheerde herkent zich in dit beeld. Dit is dus een combinatie van een groot verval met een korte kwelweglengte. De faalkansen van de overige vakken zijn in de orde 1/10.000 of kleiner.

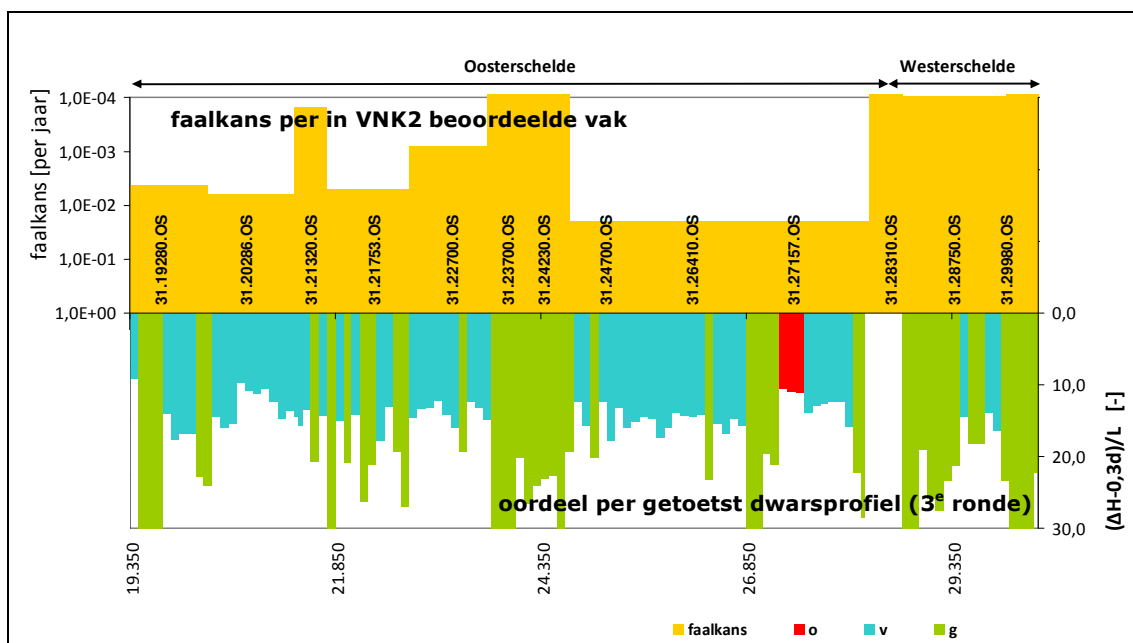
De berekende faalkansen zijn vergeleken met de resultaten van de 3^e toetsronde. Deze vergelijking is weergegeven in Figuur 27. De resultaten van de toetsing zijn weergegeven op basis van de in de toetsing per profiel berekende aanwezige creepfactor ($(\Delta H - 0,3d)/L$). In de eenvoudige toetsing conform het VTV2006 wordt het oordeel "goed" gegeven bij een aanwezige creepfactor van ten minste 18. Is deze lager dan is het oordeel "voldoende" of "onvoldoende". Bij een oordeel "voldoende" varieert de berekende creepfactor tussen de 10 en 18. De beheerder doet in de toekomst voor de vakken met het oordeel "voldoende" nog nader onderzoek door middel van lokale peilbuismetingen. Op basis hiervan kan een vak alsnog het oordeel "onvoldoende" of "goed" krijgen. Een oordeel "voldoende" in de toetsing wil dus niet zeggen dat een dijkvak niet verbeterd hoeft te worden.



Figuur 27: Vergelijking resultaten met toetsing 3^e ronde.

Uit de resultaten blijkt dat de grootste faalkansen langs de Oosterschelde te vinden zijn. Met name de vakken die langs het kanaal door Zuid-Beveland liggen hebben een grote faalkans (zie Figuur 28). Dit valt te verklaren uit het grote aanwezige verval in combinatie met een beperkte aanwezige kwelweglengte. Het grote verval wordt veroorzaakt doordat er een diepe polder achter de dijk ligt. Het vak 31.20286.OS ligt niet langs het kanaal maar sluit hier wel op aan. Ook achter dit vak is een diepe polder gelegen wat de grote faalkans van dit vak verklaart. In de vergelijking met de toetsing (3^e ronde) blijkt dat de vakken met een grote faalkans grotendeels samen vallen met de profielen die in de toetsing het oordeel "voldoende" of "onvoldoende" hebben gekregen. Lokaal zijn er verschillen tussen de uitkomsten uit de toetsing en de berekende faalkansen. Dit komt doordat in de toetsing elke 100 m de benodigde creepfactor is uitgerekend. In VNK zijn dijkvakken met een grotere lengte dan 100 m gehanteerd waarbij er gefocust is op de zwakke plekken binnen een dijkvak. Hierdoor vallen een aantal profielen met de score goed uit de toetsing weg.

De vakken langs de Westerschelde hebben relatief kleine faalkansen (<1/5.000 jaar) met uitzondering van vak 31.33250.WS. Dit vak heeft een iets grotere faalkans (1/4.000 jaar). Deze faalkans wordt veroorzaakt door een plas die direct achter de dijk is gelegen met een relatief laag peil. De profielen bij deze plas hebben in de toetsing (3^e ronde) het oordeel "onvoldoende" gekregen.



Figuur 28: Resultaten dijkvakken langs Kanaal door Zuid-Beveland vergeleken met de toetsing.

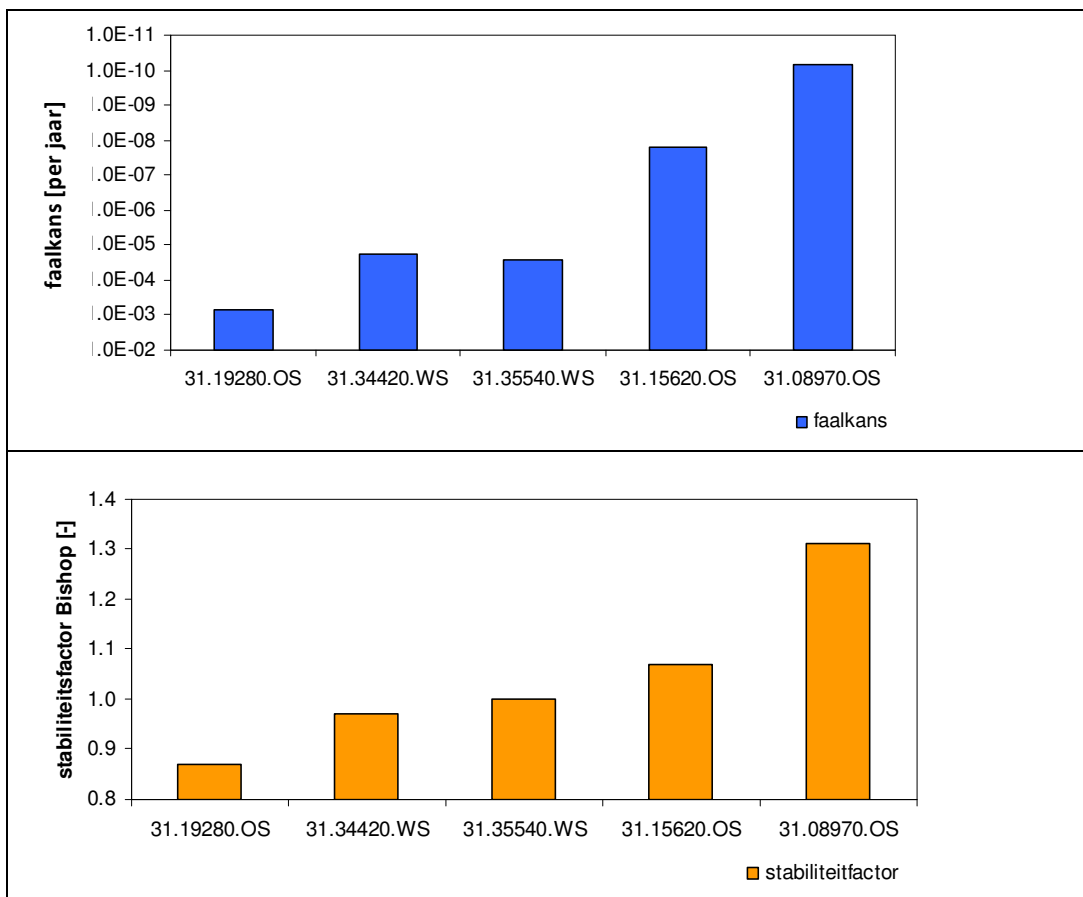
Macrostabieliteit binnenwaarts

De faalkansen met betrekking tot het faalmechanisme macrostabieliteit (STBI) zijn berekend voor vijf profielen, drie profielen die in de toetsing (3e ronde) het oordeel "onvoldoende" hebben gekregen, één profiel met het oordeel "voldoende" en één profiel met het oordeel "goed". Het beeld dat volgt uit de berekende faalkansen stemt goed overeen met het beeld uit de toetsing (zie Figuur 29). De grootste faalkansen zijn berekend voor de vakken met het oordeel "onvoldoende". Voor de vakken met het oordeel "voldoende" of "goed" zijn zeer kleine faalkansen berekend. De resultaten van de toetsing zijn opgenomen in Tabel 13, de stabiliteitsfactoren 'Bishop' en 'LiftVan' zijn twee methoden om de stabiliteit van de dijk te bepalen. Hierin is te zien dat ook voor de dijkvakken die in de toetsing het oordeel "onvoldoende" hebben gekregen toch een relatief kleine faalkans is berekend. Dit wordt voor een groot deel veroorzaakt doordat in de toetsing gerekend is met karakteristieke waarden voor de sterkteparameters, terwijl binnen VNK2 gemiddelde waarden zijn gebruikt.

De berekende faalkansen voor het faalmechanisme macrostabieliteit liggen voor de berekende profielen in de orde $1/1.000 - <1/1.000.000$ per jaar. De grootste faalkans voor dit faalmechanisme bedraagt $1/1.400$ per jaar.

dijkvak		toetsresultaat 3 ^e ronde			faalkans
nr.	naam	stabiliteitsfactor F [-]		oordeel	[per jaar]
		Bishop	LiftVan		
23	31.19280.OS	0,87	0,91	onvoldoende	1/1.400
40	31.34420.WS	0,97	0,95	onvoldoende	1/58.800
41	31.35540.WS	1,00	0,97	onvoldoende	1/34.500
17	31.15620.OS	1,07	1,15	voldoende	<1/1.000.000
10	31.08970.OS	1,31	1,24	goed	<1/1.000.000

Tabel 13: Resultaten VNK2 en toetsing 3^e ronde.



Figuur 29: Faalkansen (boven) en stabiliteitsfactoren Bishop 3^e toetsing (onder).

3.5.3 Faalkansen kunstwerken

Er zijn voor vier kunstwerken faalkansen berekend voor onder- en achterloopsheid en constructief falen. Het betreft 4 gemalen waarbij het pomphuis achter de dijk staat. Om deze reden is het faalmechanisme overloop en overslag niet meegenomen in de beoordeling van de kunstwerken. In de onderstaande tabel zijn bij dit faalmechanisme de faalkansen vanuit het overeenkomende dijkvak gegeven. Gezien het grote aantal kleppen en afsluiters is ook het faalmechanisme Niet-sluiten niet beoordeeld. Voor faalmechanismen die op basis van de screening (zie paragraaf 3.3.2) niet zijn beoordeeld, is op een conservatieve wijze een globale faalkans van $< 1/400.000$ ($0,01 \times \text{norm} = 0,01 \times 1/4.000$) per jaar afgeschat. Deze kans is niet meegenomen in de gecombineerde kans in Tabel 14 en aangegeven met *.

Kunstwerk	Overloop Overslag	Niet-sluiten	Onder- en achterloopsheid	Constructief falen	Gecombineerd
Gemaal de Moer	<1/1.000.000	<1/400.000	<1/400.000	1/440.000	<1/400.000
Gemaal Glerum	<1/1.000.000	<1/400.000	<1/400.000	<1/1.000.000	<1/400.000
Gemaal J.A. v/d Graaff	<1/1.000.000	<1/400.000	1/65.000	<1/400.000	1/65.000
Gemaal Waarde	1/86.000	<1/400.000	<1/400.000	1/600.000	<1/400.000

Tabel 14: Berekende faalkansen (per jaar) voor de kunstwerken van dijkkring 31.

Gemaal J.A. van de Graaff heeft van de beoordeelde kunstwerken de grootste faalkans. Het betreft het mechanisme onder- en achterloopsheid. De berekende faalkans bedraagt 1/65.000 per jaar. Ten opzichte van de faalkansen voor de dijkvakken hebben de kunstwerken een zeer geringe invloed op de overstromingskans.

3.6 Nadere analyse dominante vakken en faalmechanismen

De dijkvakken met de grootste faalkansen liggen langs het noordelijke deel van het Kanaal door Zuid-Beveland. Dit deel van het kanaal staat in open verbinding met de Oosterschelde. Daarnaast liggen er nog twee relatief zwakke vakken (22 en 23) aan de Oosterschelde. Het dominante faalmechanisme is opbarsten en piping. Alle overige dijkvakken en faalmechanismen hebben een faalkans die minimaal één orde lager is. Het feit dat juist deze vakken grote faalkansen hebben komt overeen met het beeld uit de toetsing (3e ronde). Deze kansen worden verklaard door de geometrie van de dijk (er is geen voorland aanwezig) en de laag gelegen polders achter de dijk. Dit is dus een combinatie van een groot verval met een korte kwelweglengte. Daarnaast zijn de dijken langs het kanaal door Zuid-Beveland ontworpen toen het kanaal nog aan beide zijden was afgesloten. Deze dijken lagen eerst achter de sluis bij Wemeldinge. Hoewel de locaties van de slechtste dijkvakken overeenkomen met de verwachting zijn de berekende faalkansen echter wel één orde groter dan op voorhand was verwacht. Mogelijk komt dit doordat er geen lokale informatie over de korrelverdelingen en de doorlatendheid van de ondergrond bekend zijn, waardoor deze te conservatief zijn ingeschat. Naar aanleiding van de resultaten van de 3^e toetsronde en VNK2 is voor dijkkring 31 in oktober 2011 onderzoek gestart om doorlatendheden en korrelverdelingen beter in beeld te brengen. Voor dijkkring 31 zullen de resultaten in 2012 beschikbaar zijn. In Tabel 15 zijn de dominante vakken en de faalkansen per mechanisme weergegeven.

dijkvak		Faalkans	Dominant faalmechanisme
nr.	vaknaam	[per jaar]	
29	31.24700.OS	>1/100	Opbarsten en piping
30	31.26410.OS	>1/100	Opbarsten en piping
31	31.27157.OS	>1/100	Opbarsten en piping
23	31.20286.OS	1/160	Opbarsten en piping
25	31.21753.OS	1/190	Opbarsten en piping
22	31.19280.OS	1/200	Opbarsten en piping
26	31.22700.OS	1/1.300	Opbarsten en piping
20	31.18186.OS	1/1.300	Opbarsten en piping
21	31.18587.OS	1/3.600	Opbarsten en piping
38	31.33250.WS	1/3.900	Opbarsten en piping

Tabel 15: Faalkansen dominante vakken.

4 De gevolgen van overstromingen per doorbraaklocatie

In dit hoofdstuk wordt een beeld gegeven van de gevolgen van overstromingen per potentiële doorbraaklocatie. Er zijn ook meervoudige doorbraken mogelijk.

4.1 Aanpak en uitgangspunten

4.1.1 Algemeen

De gevolgen van een overstroming worden bepaald door de kenmerken van de overstroming en de kwetsbaarheid van de getroffen objecten of personen. In VNK2 worden de overstromingskenmerken per scenario berekend met behulp van overstromingssimulaties. De overstromingsberekeningen voor dijkkring 31 zijn uitgevoerd met Sobek 1D2D (versie 2.11). De schade en slachtoffers zijn vervolgens berekend met behulp van HISSSM (versie 2.5).

Omdat het overstromingspatroon en de gevolgen van een overstroming niet alleen afhankelijk zijn van de doorbraaklocatie maar ook van de belastingcondities waarbij de doorbraak plaatsvindt, worden in VNK2 meerdere mogelijke overstromingspatronen per ringdeel beschouwd. In theorie zouden oneindig veel belastingcombinaties moeten worden beschouwd. In de praktijk is dit echter onmogelijk. Er zijn daarom, per doorbraaklocatie, alleen overstromingsberekeningen uitgevoerd voor de meest waarschijnlijke belastingcombinaties volgens de Hydra-modellen met verschillende overschrijdingskansen.

Ten aanzien van de bevolkingsgegevens en schadegegevens is uitgegaan van de situatie in 2000, respectievelijk 2006. Mocht na 2000 in het dijkkringgebied grootschalige woningbouw hebben plaatsgevonden dan kan met name dat een onderschatting van het overstromingsrisico geven. Dit hoeft echter niet het geval te zijn omdat bij een overstroming niet alle delen van de dijkkring worden getroffen.

4.1.2 Ringdelen

Een ringdeel omvat een gedeelte van de dijkkring waarvoor het overstromingsverloop vrijwel onafhankelijk is van de exacte doorbraaklocatie. De overstromingsberekeningen per ringdeel vormen de basis voor de beschrijving van de overstromingsscenario's. Er zijn voor dijkkring 31, Zuid-Beveland, 23 ringdelen gedefinieerd (Figuur 30). Negen ringdelen liggen aan de Westerschelde, 14 ringdelen liggen langs de Oosterschelde. Voor de exacte ligging van de ringdeelgrenzen en een overzicht van de vakken die in de verschillende ringdelen zijn gelegen wordt verwezen naar Bijlage C.

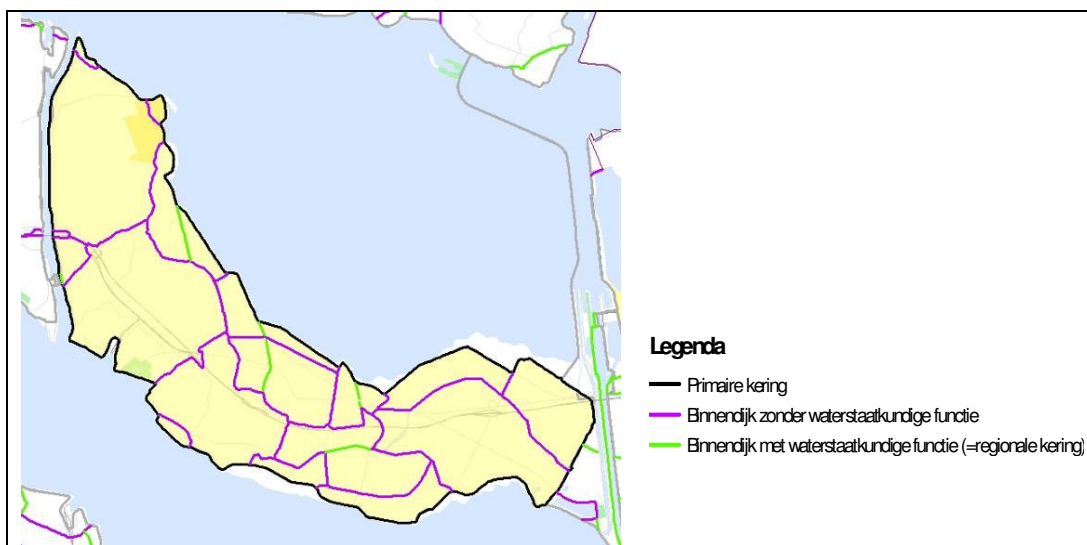
Dijkkring 31 kan vanuit 2 buitenwatergebieden overstromen: de Wester- en de Oosterschelde. Voor een doorbraak vanuit de Westerschelde wordt de belasting bepaald door de buitenwaterstand op zee. Voor de Oosterschelde speelt het wel of niet sluiten van de Oosterscheldekering en de Maeslant- en Hartelkering ook een rol.



Figuur 30: Breslocaties en dijkringdelen dijkkring 31 Zuid-Beveland.

4.1.3 Hoog gelegen lijnelement

Uitgangspunt bij de overstromingsberekeningen binnen VNK is dat regionale keringen met of zonder waterstaatkundige functie standzeker zijn (Figuur 31). Gezien de ervaringen uit 1953 is het waarschijnlijk dat een aantal regionale keringen bij een overstroming zullen bezwijken. Hierdoor zal de schade en het aantal slachtoffers in werkelijkheid groter zijn dan uit de uitgevoerde overstromingsberekeningen volgen. Dit heeft ook een effect op het risico. Aangezien het risico gedomineerd wordt door de grote faalkansen en niet door de schade zal het algemene beeld van het risico niet significant veranderen. Ook zijn er een aantal hoger in het landschap gelegen wegen (zoals de A58 en de N289), die het overstromingspatroon kunnen beïnvloeden. In de overstromingsberekeningen is er van uitgegaan dat deze lijnelementen ook standzeker zijn.



Figuur 31: Binnendijken met en zonder waterstaatkundige functie.

4.1.4 Evacuatie

De gevolgen zijn doorgerekend door rekening te houden met 4 evacuatie deelscenario's. Tabel 16 geeft een overzicht van deze scenario's met de bijbehorende ingeschatte kans van voorkomen. De evacuatiefracties drukken het percentage uit van de slachtoffers die kunnen worden geëvacueerd ten opzichte van de strategie "onverwachte overstroming – geen evacuatie". De conditionele kans is de kans dat bij een overstroming een evacuatie deelscenario kan worden uitgevoerd. Op basis van de kans van voorkomen kan een verwachtingswaarde worden berekend van de schade, aantal slachtoffers en getroffen en per overstromingsscenario. De evacuatie deelscenario's hebben effect op het aantal slachtoffers, maar (in beperkte mate) ook op de berekende schade. Voertuigen en goederen worden immers naar veilig gebied verplaatst.

Op basis van de fracties en kansen uit Tabel 16 kan de verwachtingswaarde voor evacuatie worden berekend. De verwachtingswaarde is gelijk aan de som van de evacuatiefracties na vermenigvuldiging met hun conditionele kansen. Voor dijkkring 31 is deze 0,26 per overstroming.

	Evacuatie deelscenario	Evacuatiefractie	Conditionele kans
1	Onverwachte overstroming, geen evacuatie	0	0,5
2	Onverwachte overstroming, ongeorganiseerde evacuatie	0,38	0,1
3	Verwachte overstroming, ongeorganiseerde evacuatie	0,50	0,3
4	Verwachte overstroming, georganiseerde evacuatie	0,72	0,1

Tabel 16: Evacuatiefracties en conditionele kans voor vier evacuatie-deelscenario's.

4.2 Resultaten overstromingsberekeningen per doorbraaklocatie

Dijkkringgebied 31 (Zuid-Beveland Oost) kan vanuit 2 buitenwatergebieden overstromen: de Wester- en Oosterschelde. In de volgende subparagrafen wordt per buitenwatergebied nader ingegaan op de overstromingsverlopen en de gevolgen van de overstromingen per ringdeel. Per doorbraaklocatie zijn figuren weergegeven van de maximale waterdiepten die optreden. Deze figuren geven naast een indicatie van de waterdiepten, ook inzicht in het overstroomd oppervlak. De gevolgen in verwachte schade zijn afgerond op 5 miljoen euro en de gevolgen in slachtoffers op vijf personen. Bij elk scenario wordt een range in slachtofferaantallen genoemd. Dit is het effect van de doorgerekende evacuatie deelscenario's. Het minimum van de range is het verwachte slachtofferaantal bij evacuatie deelscenario 4 (optimaal georganiseerde evacuatie), het maximum van de range is het verwachte slachtofferaantal bij evacuatie deelscenario 1 (geen evacuatie).

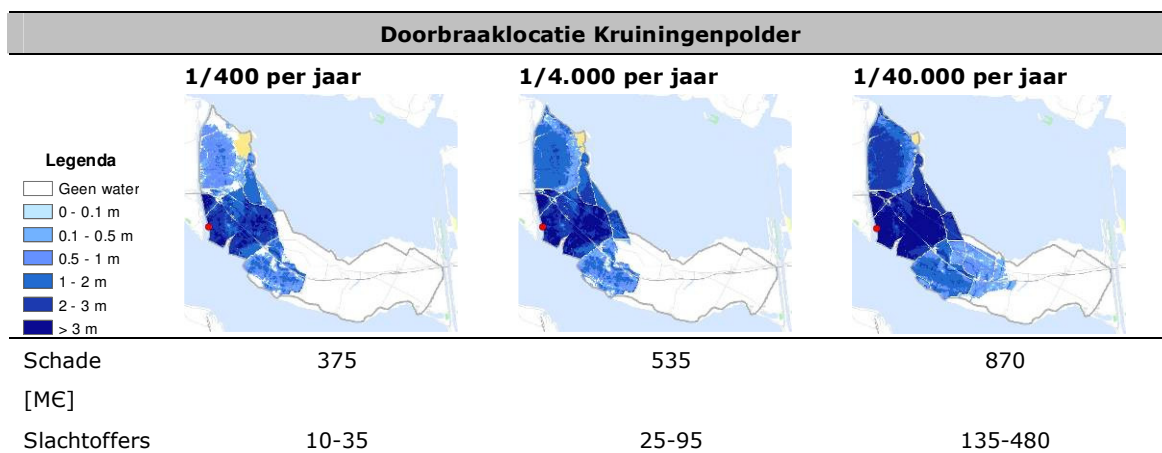
Er wordt opgemerkt dat de gevolgen bij een overstromingsscenario groter kunnen zijn dan de in dit hoofdstuk beschreven gevolgen. Er kunnen zich immers ook meervoudige doorbraken voordoen, waarbij er bressen ontstaan op verschillende locaties. In geval van een meervoudige doorbraak zijn de gevolgen uiteraard groter dan bij een enkelvoudige doorbraak.

4.2.1 Doorbraaklocaties langs de Westerschelde

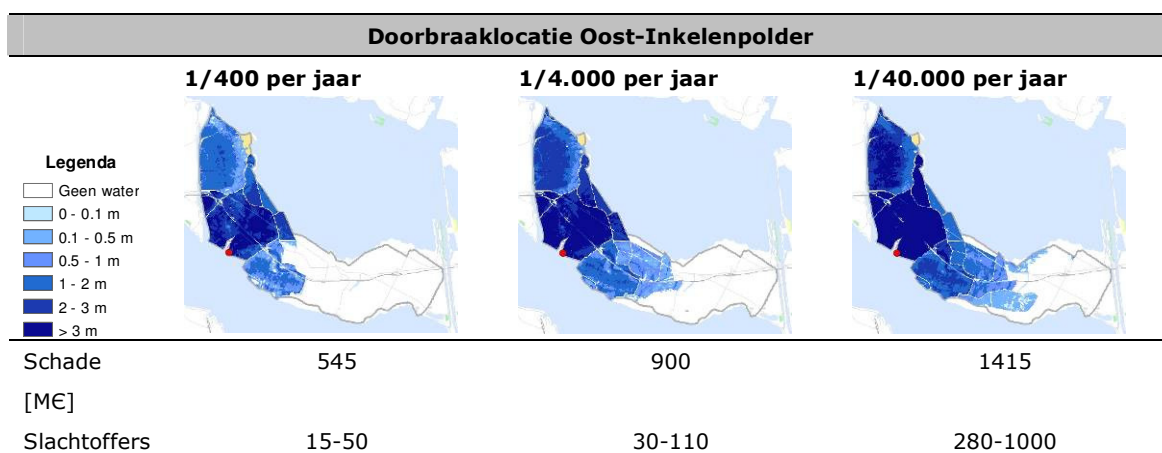
Bij een doorbraak vanuit de Westerschelde zijn berekeningen uitgevoerd met drie belastingcombinaties: buitenwaterstand van 1/400 per jaar, 1/4.000 per jaar en 1/40.000 per jaar.

De gevolgen bij een doorbraak vanuit de Westerschelde zijn samengevat in Figuur 32- Figuur 40. Bij een doorbraak vanuit de Westerschelde overstroomt in eerste instantie de polder direct achter de doorbraaklocatie. In deze polder treden ook de grootste waterdieptes op. Als het water de hoogte heeft bereikt van de regionale keringen die de polder begrenzen, overstromen deze en breidt het water zich verder uit. Bij een doorbraak bij Westveerpolder (Figuur 35), Emmanuelpolder (Figuur 37), Zimmermanpolder (Figuur 38) en Reigerbergschepolder (Figuur 39) zijn de gevolgen in verwacht aantal slachtoffers kleiner dan bij de overige doorbraaklocaties langs de Westerschelde. In de verwachte gevolgen voor de economische schade is dit effect minder duidelijk zichtbaar. De reden hiervoor is dat bij een doorbraak bij Westveerpolder, Emmanuelpolder, Zimmermanpolder en Reigerbergschepolder de stijgsnelheid in het stedelijk gebied minder groot is, waardoor er minder slachtoffers worden verwacht bij deze doorbraaklocaties.

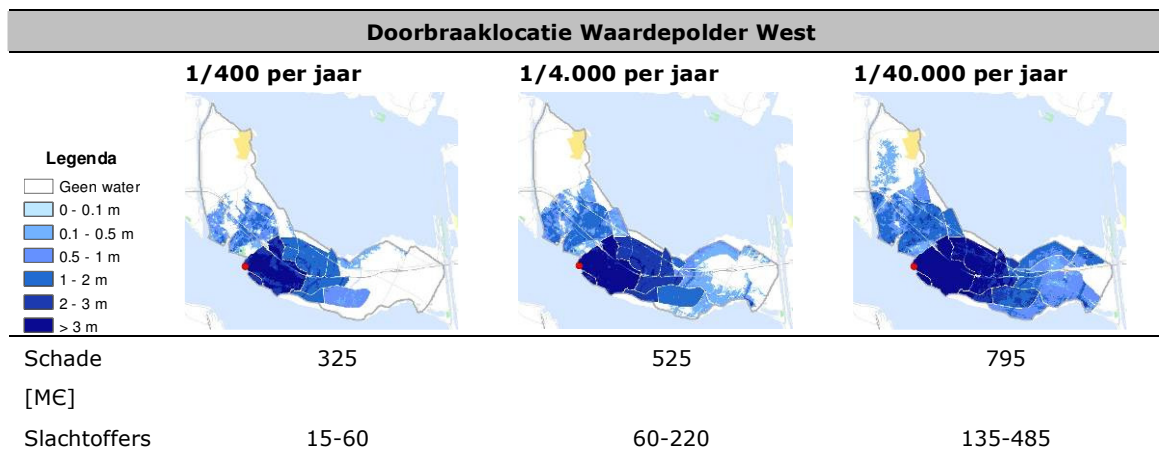
Bij een grotere overschrijdingsfrequentie neemt de waterdiepte en ook het overstroomd gebied toe. Hierdoor is er een toename van de verwachte schade en slachtoffers. Bij doorbraaklocatie Kruiningenpolder (Figuur 32), Oost-Inkelenpolder (Figuur 33) en Bath (Figuur 40) is dit vooral te zien in de toename in het aantal slachtoffers. Bij een doorbraak bij Kruiningenpolder en Bath zijn bij een buitenwaterstand van 1/40.000 per jaar de gevolgen in slachtoffers voor dijkkring 31 circa 5 keer zo groot als in de situatie met een buitenwaterstand van 1/4.000 per jaar. Bij een doorbraak bij Oost-Inkelenpolder is dit een factor 9.



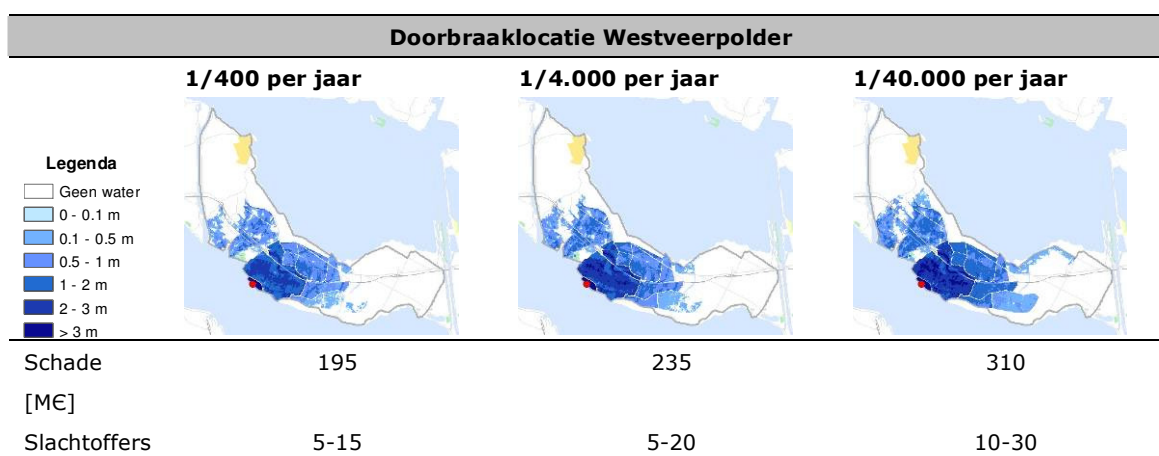
Figuur 32: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Kruiningenpolder voor drie buitenwaterstanden.



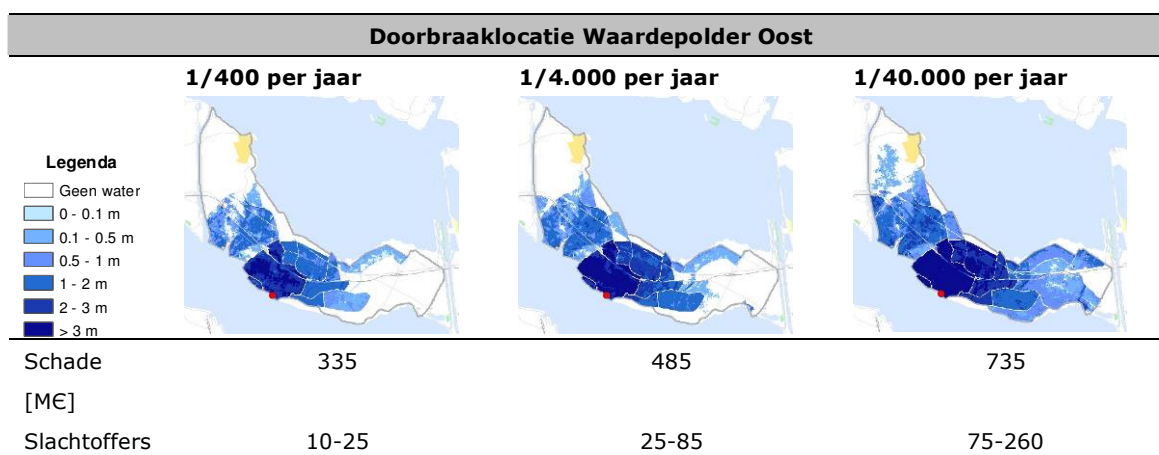
Figuur 33: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij OostInkelenpolder voor drie buitenwaterstanden.



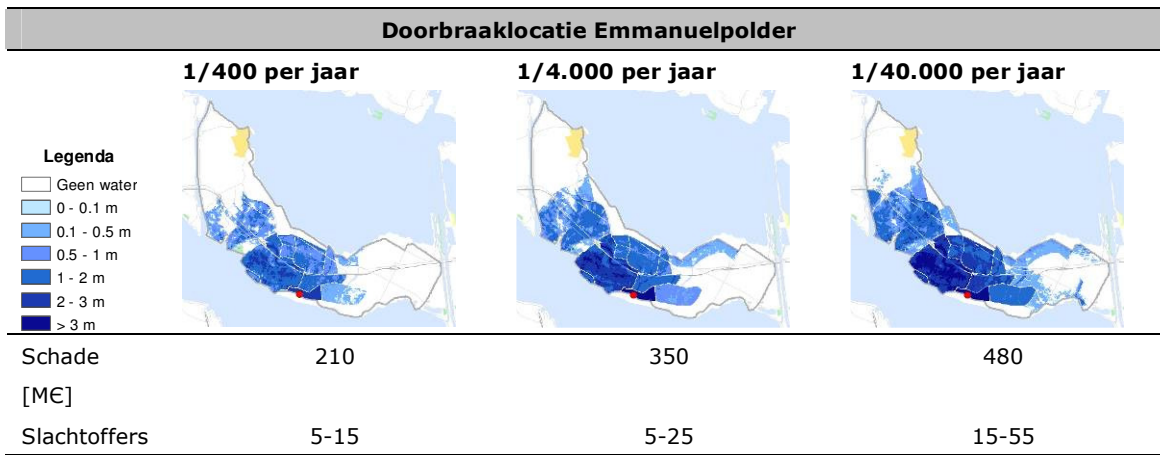
Figuur 34: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Waardepolder West voor drie buitenwaterstanden.



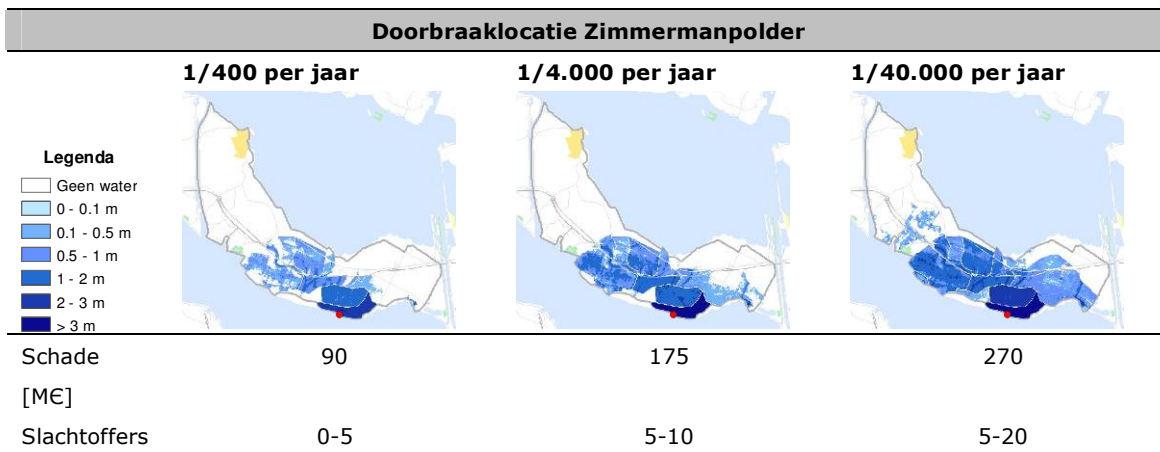
Figuur 35: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Westveerpolder voor drie buitenwaterstanden.



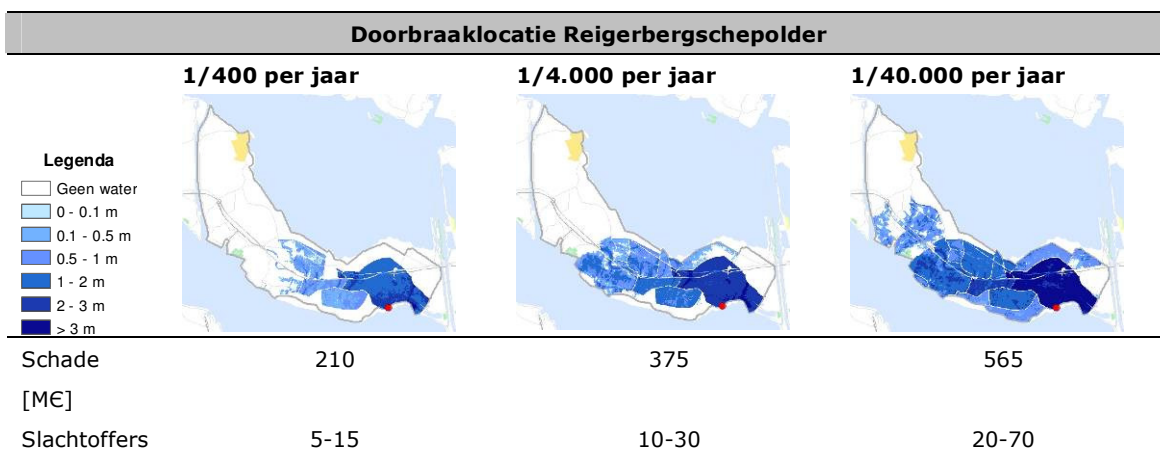
Figuur 36: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Waardepolder Oost voor drie buitenwaterstanden.



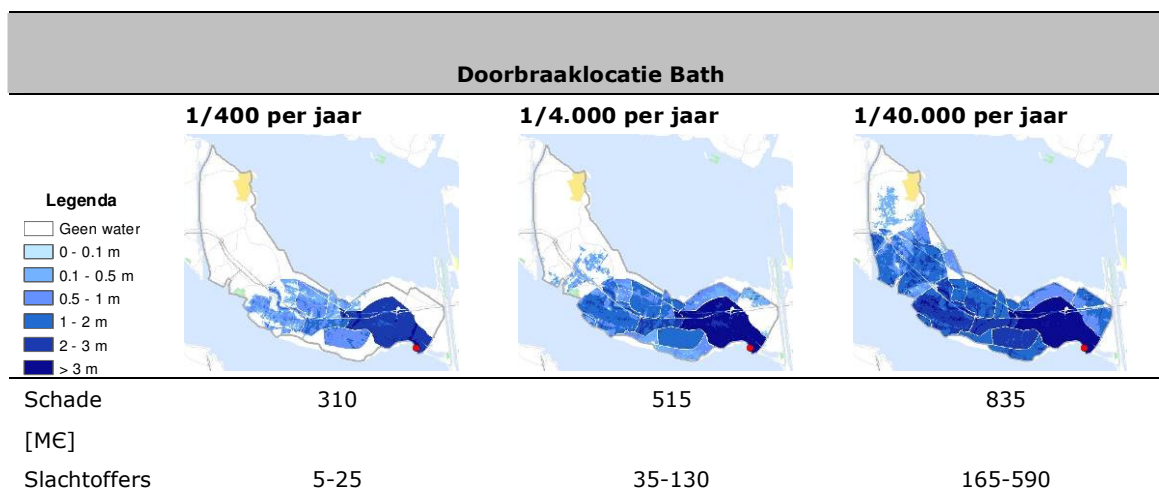
Figuur 37: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Emmanuelpolder voor drie buitenwaterstanden.



Figuur 38: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Zimmermanpolder voor drie buitenwaterstanden.



Figuur 39: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Reigerbergschepolder voor drie buitenwaterstanden.



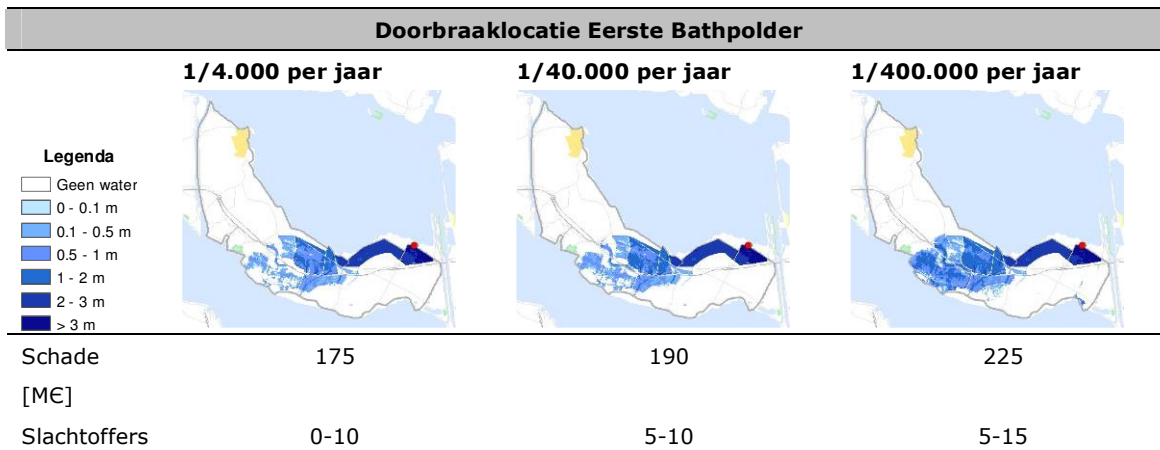
Figuur 40: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Bath voor drie buitenwaterstanden.

4.2.2 Doorbraaklocaties langs de Oosterschelde

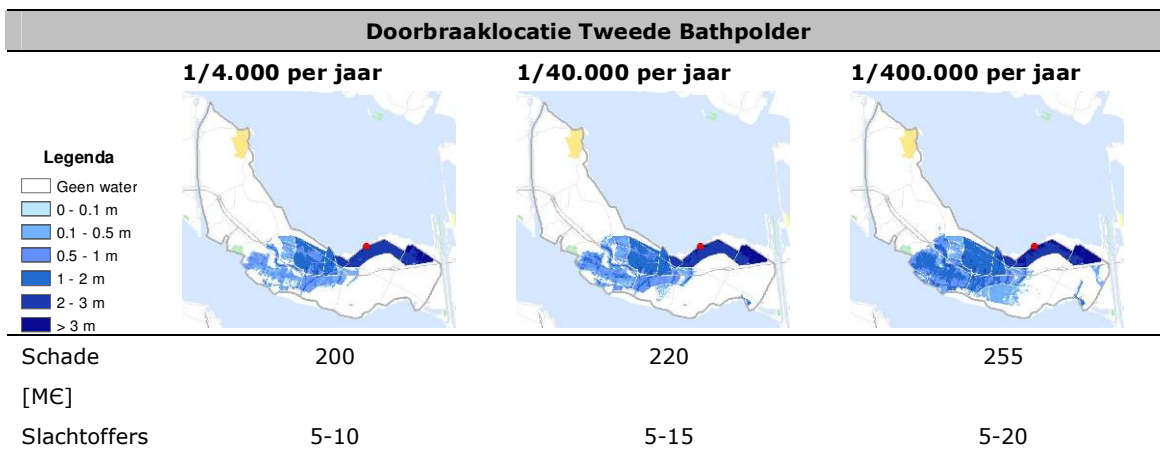
Bij een doorbraak vanuit de Oosterschelde zijn berekeningen uitgevoerd met drie belastingcombinaties: buitenwaterstand van 1/4.000 per jaar, 1/40.000 per jaar en 1/400.000 per jaar. Voor doorbraaklocatie Schoreburg en Kaarspolder zijn alleen berekeningen gemaakt voor een buitenwaterstand van 1/4.000 per jaar en 1/40.000 per jaar. De berekeningen voor 1/400.000 per jaar werden in SOBEM vroegtijdig afgebroken, en zijn daarna niet meer opnieuw uitgevoerd.

De gevolgen bij een doorbraak vanuit de Oosterschelde zijn samengevat in Figuur 41-Figuur 54. Ook bij een doorbraak vanuit de Oosterschelde overstroomt in eerste instantie de polder direct achter de doorbraaklocatie. In deze polder treden de grootste waterdieptes op. Als het water de hoogte heeft bereikt van de regionale keringen die de polder begrenzen, overstromen deze en breidt het water zich verder uit. Bij een doorbraak bij Breedsendijk (Figuur 51) en Yerseke Moer (Figuur 53) zijn de schade en het aantal slachtoffers groter dan bij de overige doorbraaklocaties langs de Oosterschelde. Reden hiervoor is dat bij deze doorbraaklocaties de polder direct achter de doorbraaklocatie relatief groot is, ten opzichte van de polders achter de andere doorbraaklocaties. Bij doorbraaklocatie Karelpolder (Figuur 45) en St. Pieterspolder (Figuur 47), zijn de schade en het aantal slachtoffers kleiner dan bij de overige doorbraaklocaties langs de Oosterschelde. Bij deze doorbraaklocaties is de polder direct achter de breslocatie juist klein ten opzichte van de polders achter de overige breslocaties langs de Oosterschelde.

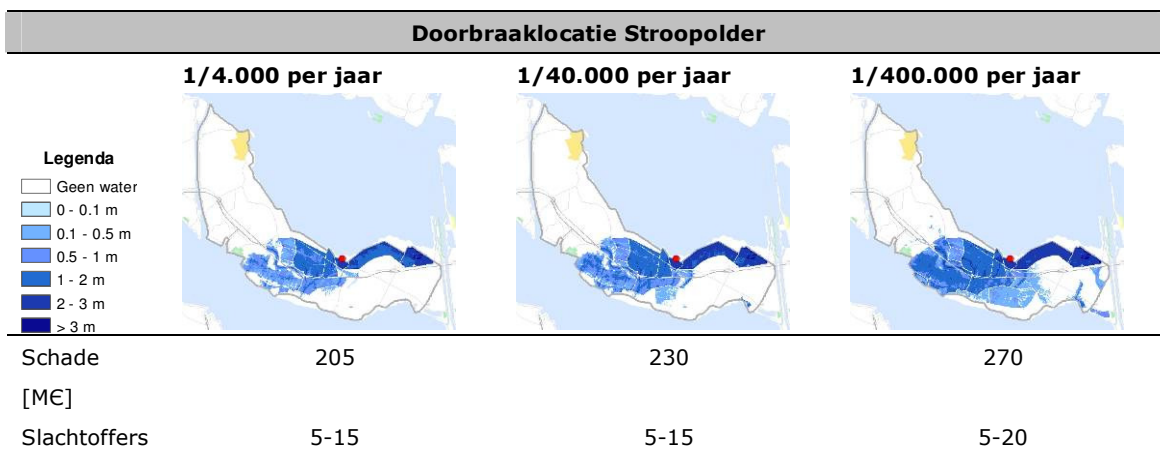
Bij een grotere overschrijdingsfrequentie neemt de waterdiepte en ook het overstroomd gebied toe. Hierdoor is er een toename van de schade en het aantal slachtoffers. Bij een doorbraak langs de Oosterschelde zijn bij een buitenwaterstand van 1/400.000 per jaar de gevolgen in schade voor dijkkring 31 een factor 1-2 keer zo groot als bij een buitenwaterstand van 1/4.000 jaar. Voor het aantal slachtoffers is deze factor 1-5. De toename in schade en slachtoffers tussen de verschillende buitenwaterstanden is het grootst bij doorbraaklocatie Nieuwlandepolder



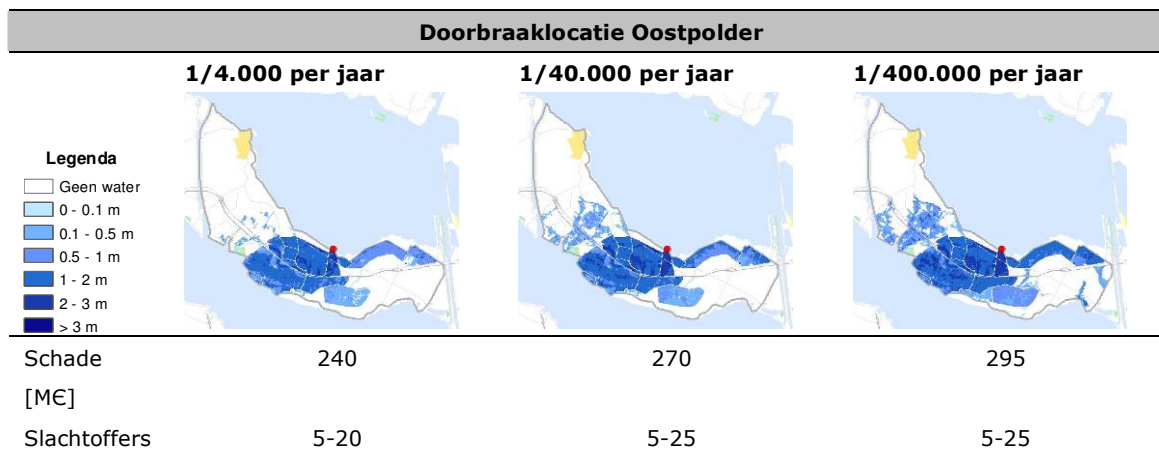
Figuur 41: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Eerste Bathpolder voor drie buitenwaterstanden.



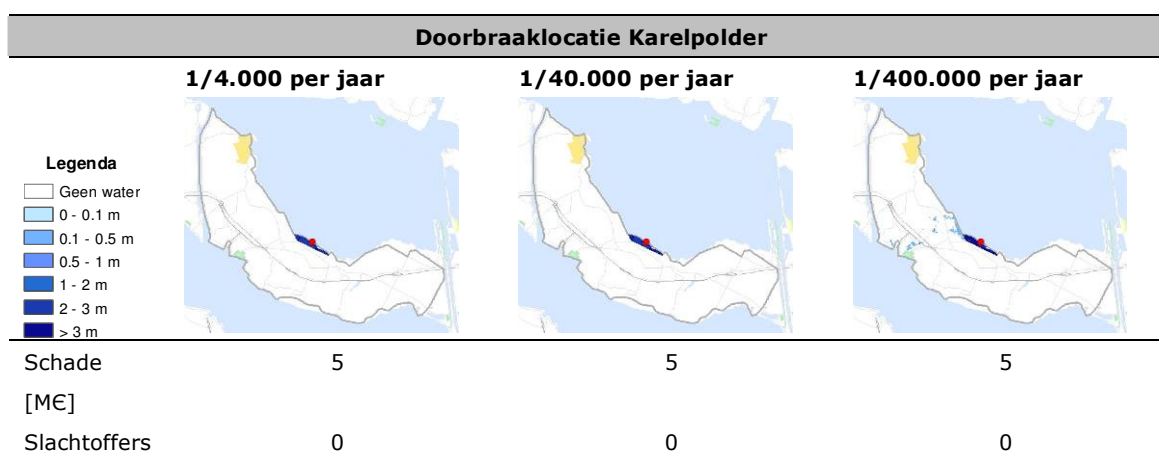
Figuur 42: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Tweede Bathpolder voor drie buitenwaterstanden.



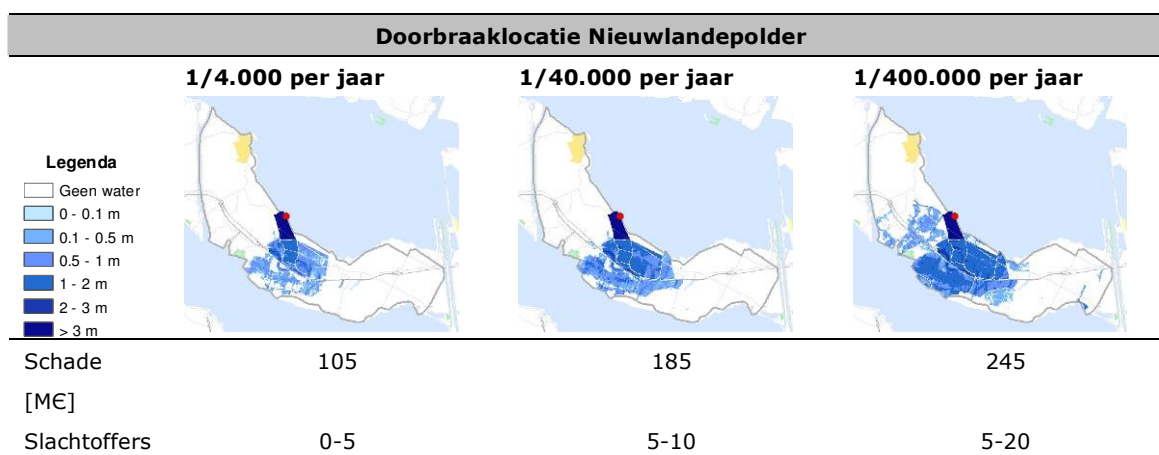
Figuur 43: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Strooppolder voor drie buitenwaterstanden.



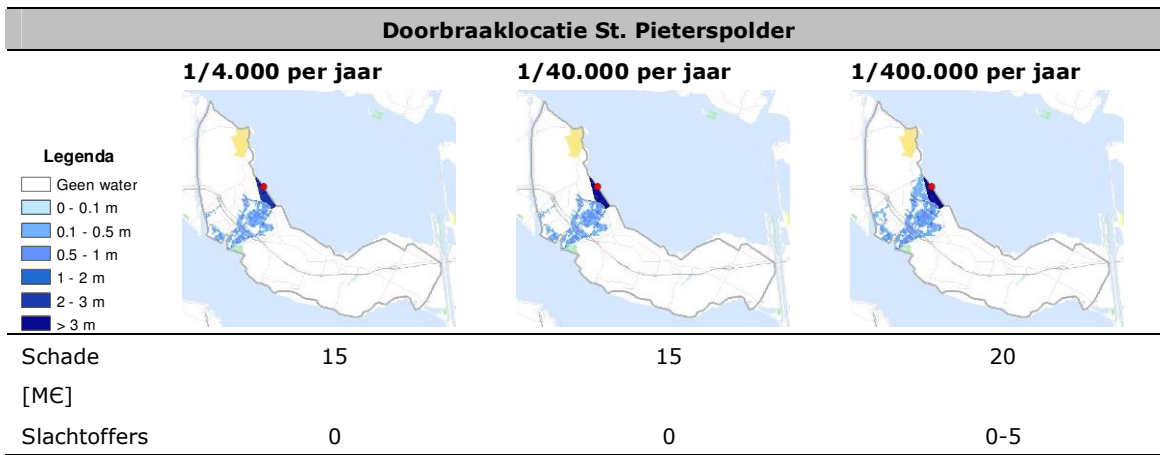
Figuur 44: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Oostpolder voor drie buitenwaterstanden.



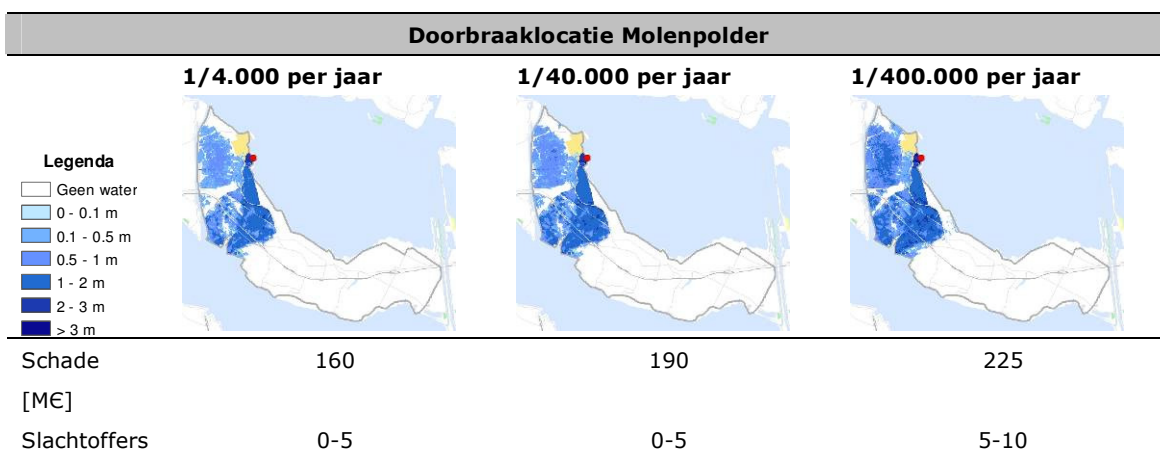
Figuur 45: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Karelpolder voor drie buitenwaterstanden.



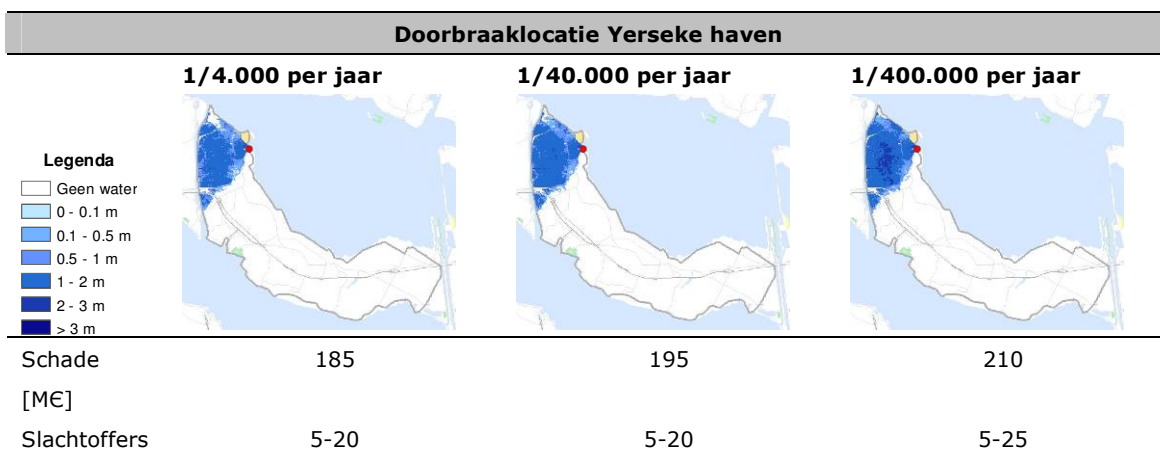
Figuur 46: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Nieuwlandepolder voor drie buitenwaterstanden.



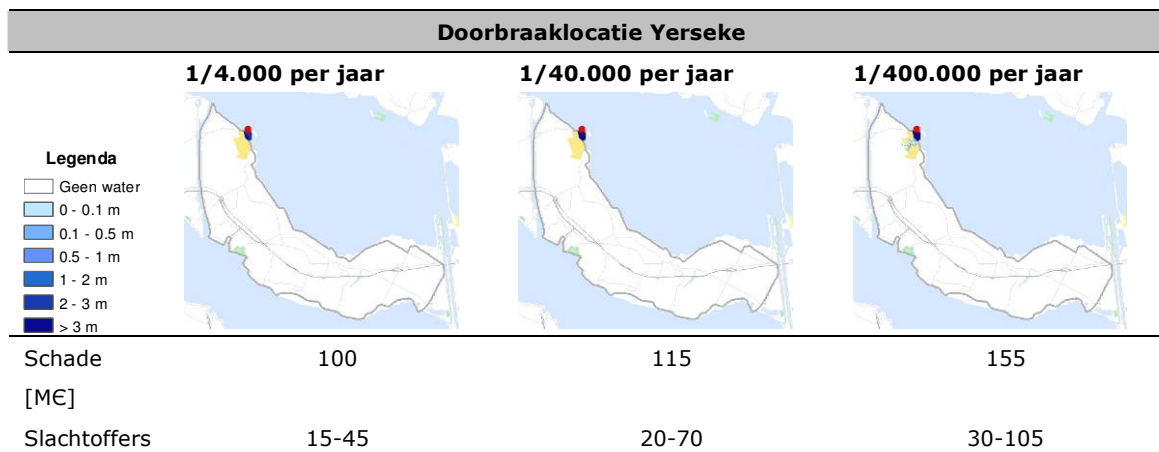
Figuur 47: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij St. Pieterspolder voor drie buitenwaterstanden.



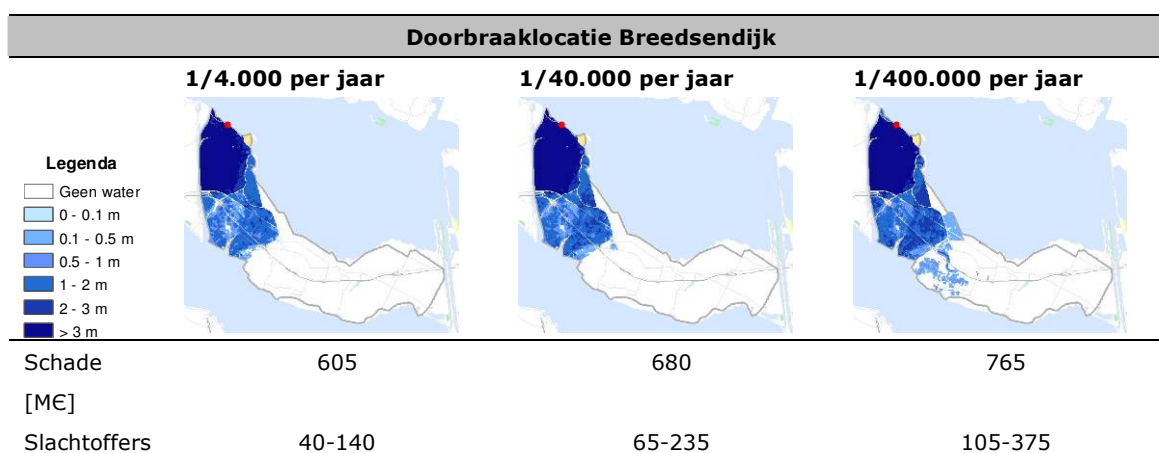
Figuur 48: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Molenpolder voor drie buitenwaterstanden.



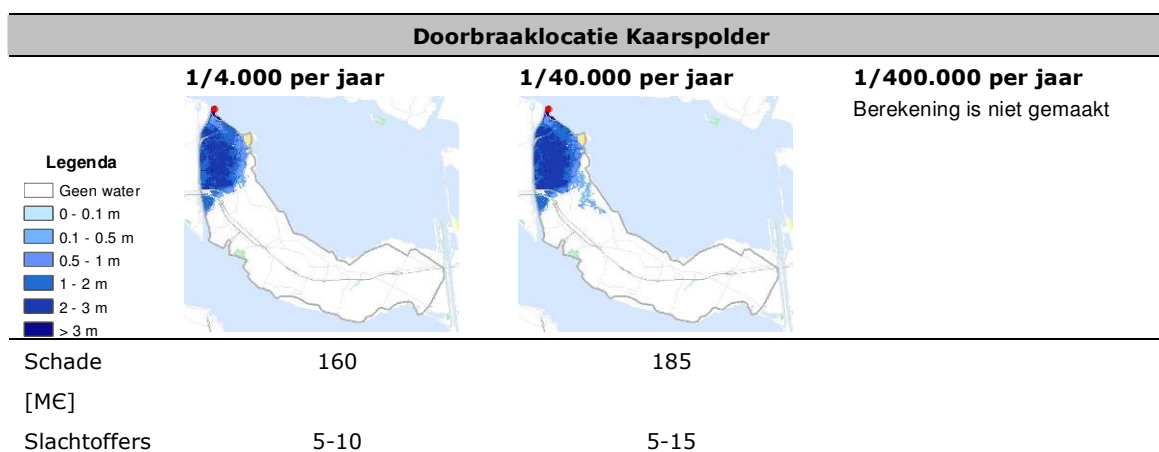
Figuur 49: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Yerseke haven voor drie buitenwaterstanden.



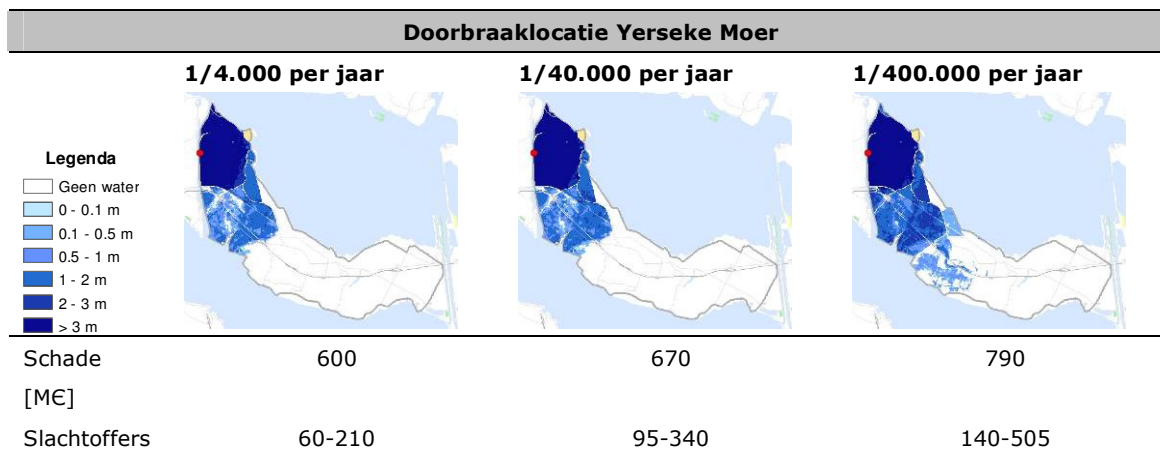
Figuur 50: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Yerseke voor drie buitenwaterstanden.



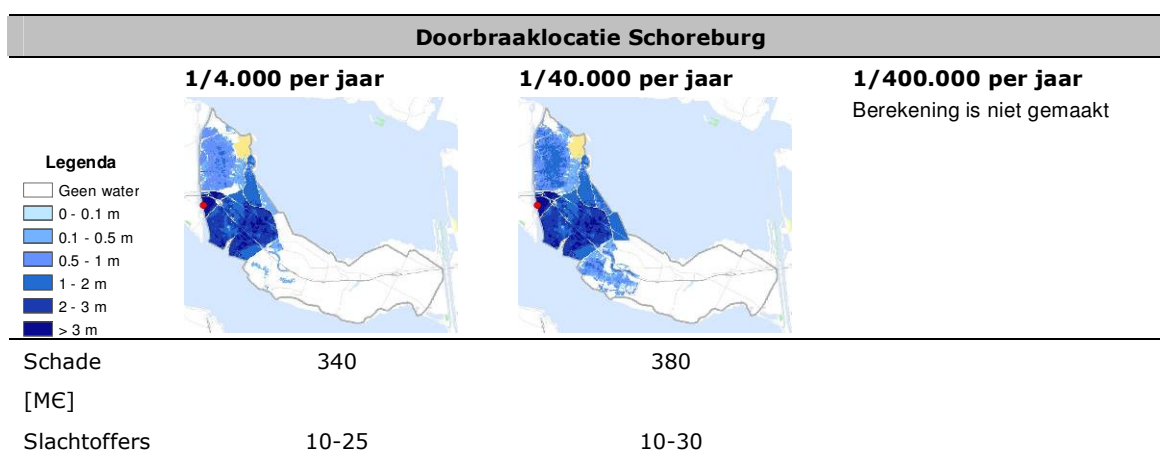
Figuur 51: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Breedsendijk voor drie buitenwaterstanden.



Figuur 52: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Kaarspolder voor drie buitenwaterstanden.



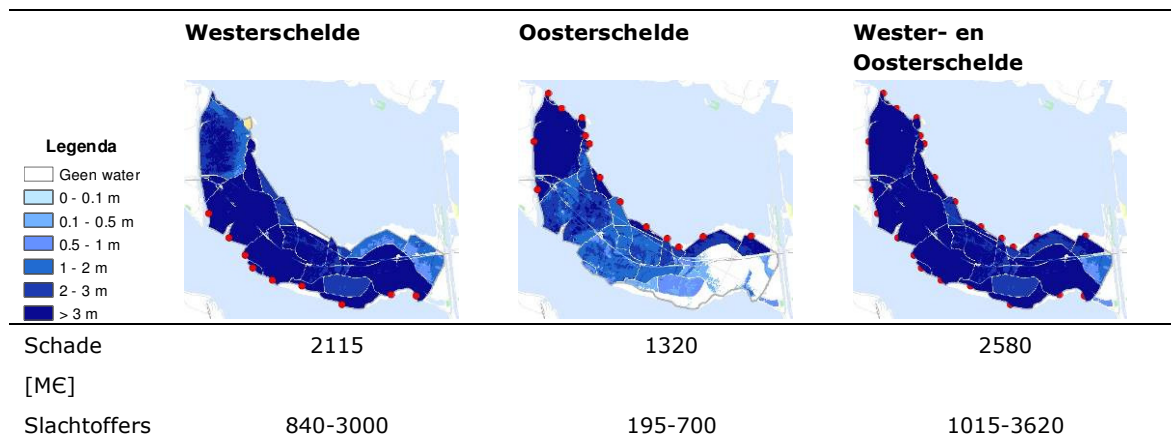
Figuur 53: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Yerseke Moer voor drie buitenwaterstanden.



Figuur 54: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een doorbraak bij Schoreburg voor drie buitenwaterstanden.

4.2.3 Maximaal Scenario

Figuur 55 geeft de maximale waterdiepte in het maximaal scenario, waarbij een doorbraak ontstaat bij alle doorbraaklocaties langs de Westerschelde en Oosterschelde samen. Voor dijkkring 31 is het maximaal scenario samengesteld op basis van de maximale waterdiepten van de basisberekeningen (paragraaf 4.2.1 en 4.2.2). De verwachte schade in het maximaal scenario in dijkkring 31 voor de Westerschelde is meer dan 2 miljard euro, met 840-3.000 slachtoffers. Voor de Oosterschelde is dit iets lager: ca. 1,3 miljard euro schade met 200 tot 700 slachtoffers. Voor een maximaal scenario, waarin alle doorbraaklocaties, langs zowel de Wester- als Oosterschelde in ogenschouw zijn genomen, wordt een economische schade van meer dan 2,5 miljard euro verwacht en duizend tot 3.500 slachtoffers.



Figuur 55: Maximale waterdiepte en schade en slachtoffers bij een maximaal scenario vanuit de Westerschelde, Oosterschelde en de Ooster- en Westerschelde.

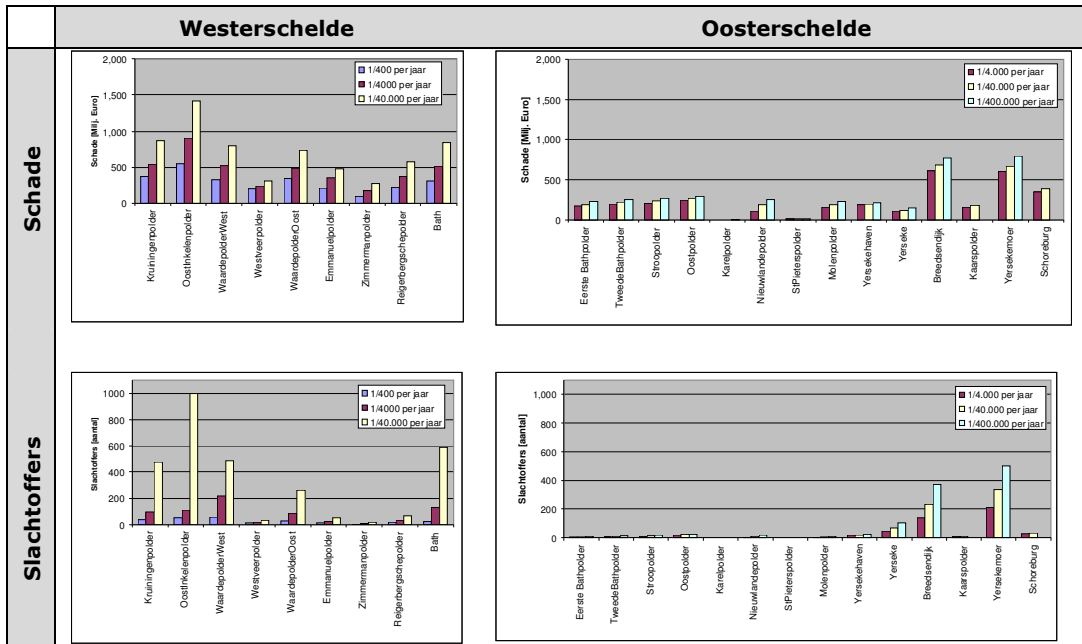
4.3 Overzicht resultaten overstromingsberekeningen

In de figuren van het overstromd oppervlak van de scenario's (Figuur 32-Figuur 54) is te zien dat voor dijkkring 31, Zuid-Beveland (oost), de keringen met en zonder waterstaatkundige functie (Figuur 31) belangrijk zijn voor het overstromingspatroon. In de scenario's zijn deze keringen als standzeker verondersteld. Als de keringen niet standzeker zijn, zal het overstromingsverloop en het overstromd oppervlak anders zijn.

De resultaten van de overstromingsberekeningen voor het gebied van dijkkring 31 zijn per doorbraaklocatie samengevat in Figuur 56. In Figuur 56 vallen een aantal zaken op.

Bij een doorbraak vanuit de Westerschelde zijn over het algemeen de schade en het aantal slachtoffers groter dan bij een doorbraak vanuit de Oosterschelde. Een doorbraak bij Breedsendijk en Yerseke Moer zijn hier uitzonderingen op. De verklaring voor de over het algemeen grotere gevolgen bij een doorbraak vanuit de Westerschelde is dat de polders die aan de Oosterschelde grenzen doorgaans kleiner zijn dan langs de Westerschelde (zie Figuur 31). Uitzondering hierop is de polder de breede Wetering, bij doorbraaklocatie Breedsendijk en Yerseke Moer langs de Oosterschelde. Dit is een grote polder, en bij deze breslocaties zijn de gevolgen in schade en slachtoffers groter dan bij de overige breslocaties langs de Oosterschelde.

Bij een doorbraak vanuit de Westerschelde zijn de verschillen tussen de scenario's met de verschillende buitenwaterstanden groter dan bij een doorbraak vanuit de Oosterschelde. Dit wordt verklaard door het verschil in decimeringshoogte langs de Oosterschelde en Westerschelde. Langs de Oosterschelde is de decimeringshoogte 15 cm, langs de Westerschelde is de decimeringshoogte ongeveer 65 cm.



Figuur 56: Verwachte gevolgen in schade en slachtoffers bij verschillende doorbraaklocaties en buitenwaterstanden.

5 Scenariokansen

5.1 Definitie overstromingsscenario's

5.1.1 Aanpak en uitgangspunten

Elk overstromingsscenario beschrijft een uniek verloop van een overstroming. In werkelijkheid is het aantal mogelijke scenario's uiteraard oneindig. In VNK2 wordt een scenarioset samengesteld die representatief is voor alle mogelijke scenario's. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de overstromingsberekeningen die per ringdeel zijn uitgevoerd (zie hoofdstuk 4). De definitie van overstromingsscenario's berust op de volgende aspecten:

1. De onderverdeling van de dijkkring in ringdelen (zie hoofdstuk 4).
2. Het overstromingspatroon per ringdeel/doorbraaklocatie (zie hoofdstuk 4).
3. De vraag of, en in welke mate, sprake is van een waterstandsdeling na het ontstaan van een bres ergens in de dijkkring.
4. De afhankelijkheden tussen de betrouwbaarheden van de verschillende ringdelen: bij grotere afhankelijkheden (en afwezigheid van ontlasten) neemt de kans op een meervoudige doorbraak toe.

Voor het bepalen van de mogelijke combinaties van doorbraken is het van belang in hoeverre de hydraulische belasting langs de dijkkring verandert als een ringdeel faalt.

5.1.2 Verandering hydraulische belasting bij falen: geen ontlasten

Soms kan een bres in het ene ringdeel leiden tot een verlaging van de hydraulische belastingen op een ander ringdeel. In dat geval is er sprake van ontlasten. Dergelijke relaties tussen het faalgedrag van ringdelen zijn van belang voor het overstromingsrisico. Meervoudige doorbraken zullen immers leiden tot andere overstromingspatronen en andere gevolgen dan enkelvoudige doorbraken. In VNK2 worden drie basisgevallen onderscheiden:

1. Geen ontlasten bij doorbraak.
2. Ontlasten bij doorbraak waarbij het zwakste vak als eerste faalt.
3. Ontlasten bij doorbraak waarbij het eerst belaste vak het eerste faalt.

Voor dijkkring 31 is bij de definitie van de scenario's is uitgegaan van "geen ontlasten". Dat betekent dat de hydraulische belasting niet verandert als een ringdeel faalt. Voor dijken die aan grote wateren liggen is dit een realistisch uitgangspunt. Aangezien de hydraulische belasting voor dijkkring 31 bepaald wordt door de Oosterschelde en Westerschelde verandert het hydraulisch belasting niveau niet of nauwelijks bij een dijkdoorbraak.

5.1.3 Aantal scenario's

Dijkkring 31 wordt aan de noordzijde begrensd door de Oosterschelde en aan de zuidzijde door de Westerschelde. De maatgevende waterstanden op de Oosterschelde worden geheel bepaald door het sluitingsregime van de Oosterscheldekering. Het moment van sluiten bepaald de waterstand. Dit in tegenstelling tot de Westerschelde. Aangezien de Westerschelde een open zee-arm is worden de maatgevende waterstanden hier bepaald door stormopzet (noordwesterstorm) en getij. Het falen van de dijken langs de Oosterschelde is daarom onafhankelijk verondersteld van het falen van de dijken langs de Westerschelde.

Het aantal ringdelen langs de Oosterschelde bedraagt 14. Aangezien een overstroming als gevolg van het falen van een dijk van de Eerste Bathpolder vrijwel gelijke gevolgen heeft als een overstroming als gevolg van het falen van een dijk van de Tweede Bathpolder, zijn deze ringdelen in de berekening van de scenariokansen als één ringdeel beschouwd. Voor de Oosterschelde resulteert dit in $(2^{13}-1=)$ 8.191 verschillende scenario's.

Het aantal ringdelen langs de Westerschelde bedraagt 9. Dit resulteert in $(2^9-1=)$ 511 verschillende doorbraken. Totaal zijn er voor dijkkring 31 dus 8.703 verschillende scenario's gedefinieerd.

5.2 Berekende scenariokansen

Er zijn scenario's waarbij sprake is van een enkelvoudige doorbraak (1 falend ringdeel), scenario's waarbij sprake is van tweevoudige doorbraak (2 falende ringdelen) etc. In Tabel 17 zijn het aantal scenario's getoond waarbij sprake is van een x-voudige doorbraak en de gezamenlijke of totale kans van deze scenario's. In theorie is de som van de scenariokansen gelijk aan de gecombineerde faalkans voor alle vakken en faalmechanismen tezamen (de zg. "overstromingskans"). In de praktijk zijn deze kansen echter niet exact aan elkaar gelijk door het verschil in de wijze waarop ze worden berekend. Het verschil is echter zeer beperkt (zie onder).

Volgens de standaard werkwijze binnen VNK2 dienen voor alle scenario's scenariokansen te worden berekend. In verband met de benodigde rekentijd zijn alleen voor de 1- tot 4-voudige doorbraken scenariokansen berekend. De bij de 4-voudige doorbraken behorende scenariokansen bedragen samen minder dan 1% van de totale overstromingskans. Het is daarom zeer onwaarschijnlijk dat er tot de 50 meest waarschijnlijke scenario's 5- en 6-voudige doorbraken behoren (zie ook Tabel 17 en Bijlage E).

Aantal bressen per scenario (x)	Aantal scenario's waarbij sprake is van x bressen (Westerschelde)	Aantal scenario's waarbij sprake is van x bressen (Oosterschelde)	Percentage van overstromingskans
1	9	13	77,4%
2	36	78	16,4%
3	84	286	4,4%
4	126	715	0,9%
5	126	1287	niet berekend
6	84	1716	niet berekend
7	36	1716	niet berekend
8	9	1287	niet berekend
9	1	715	niet berekend
10		286	niet berekend
11		78	niet berekend
12		13	niet berekend
13		1	niet berekend
Totaal	511	8191	99,1%

Tabel 17: Resultaten scenarioberekening.

In VNK2 wordt het aantal door te rekenen scenario's omwille van de rekentijd standaard beperkt tot 50. De scenariodefinitie voor de 50 scenario's met de grootste kansen zijn getoond in Bijlage E.

Op basis van de 50 geselecteerde scenario's met de grootste kansen kan een nauwkeurige berekening van het overstromingsrisico gemaakt worden. Het is voor een voldoende nauwkeurigheid niet nodig om meer scenario's te beschouwen, omdat:

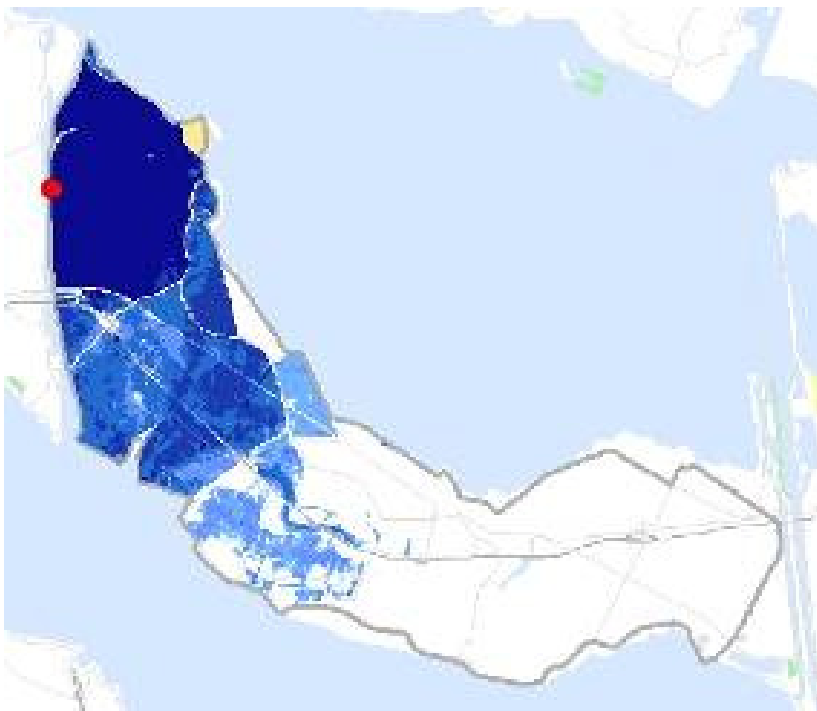
1. De som van de scenariokansen van de beschouwde scenario's is vrijwel gelijk aan de berekende overstromingskans (overstromingskans).
2. De kans op een scenario waarbij er meer doorbraken plaatsvinden dan het maximale aantal dat in de 50 scenario's is vertegenwoordigd, is zeer klein.

De som van de scenariokansen van de 50 meest waarschijnlijke scenario's per jaar komt overeen met 99,1% van de overstromingskans en is dus iets kleiner dan de overstromingskans. Deze restterm (verschil tussen overstromingskans en som scenariokansen van de 50 meest waarschijnlijke scenario's) is gekoppeld aan het maximale scenario.

5.3 De gevolgen van overstromingen voor een selectie van scenario's

5.3.1 De meest waarschijnlijke enkelvoudige doorbraak

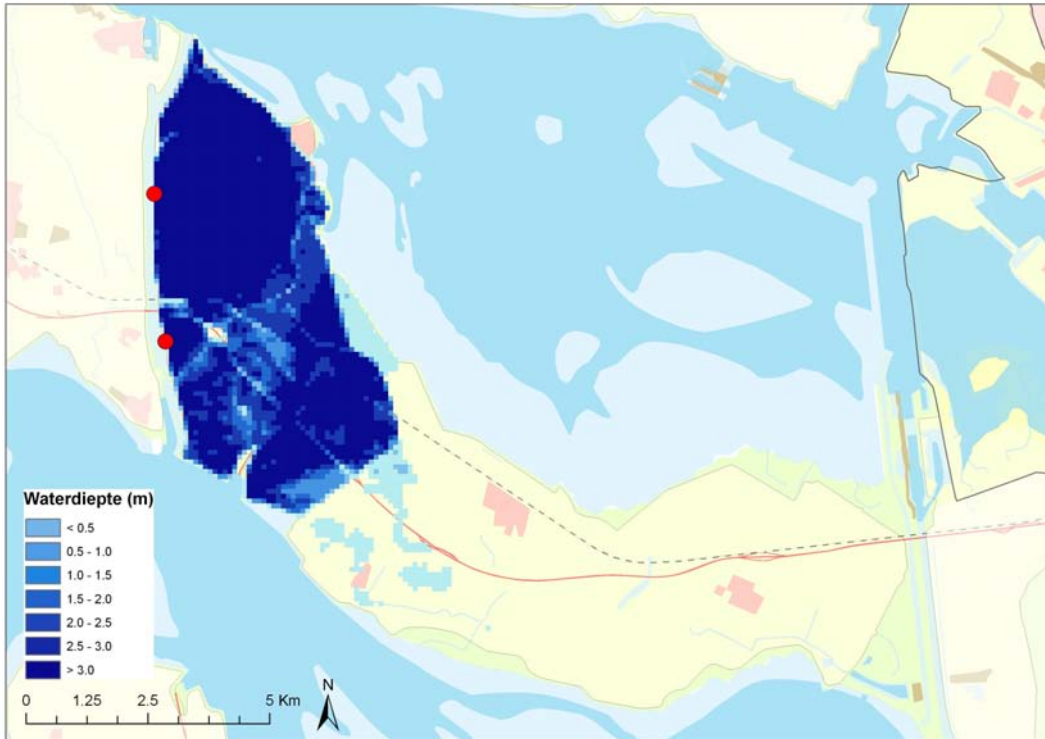
De meest waarschijnlijke enkelvoudige doorbraak treedt op bij een doorbraak in ringdeel 22 (Yerseke Moer). De scenariokans is >1/100 per jaar.



Figuur 57: Maximale waterdiepte bij de meest waarschijnlijke enkelvoudige doorbraak.

5.3.2 De meest waarschijnlijke tweevoudige doorbraak

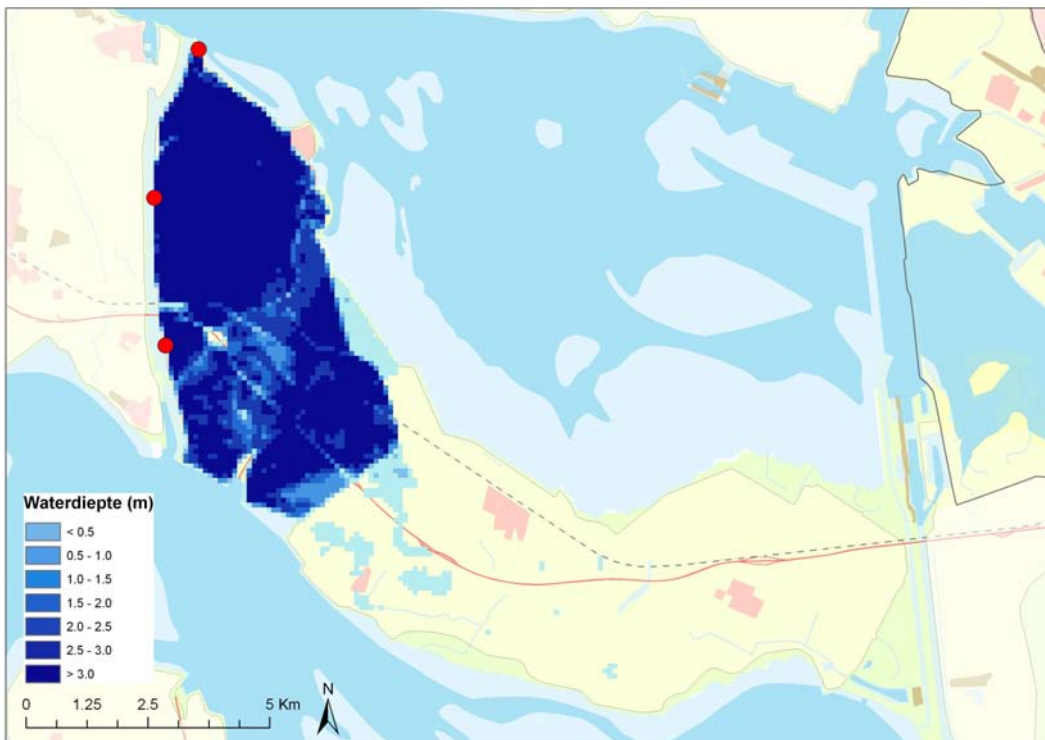
De meest waarschijnlijke tweevoudige doorbraak betreft doorbraken in ringdelen 22 (Yerseke Moer) en 23 (Schoreburg). De scenariokans is 1/180 per jaar. De schade bij dit scenario bedraagt ongeveer 0,9 miljard euro, het aantal slachtoffers is ongeveer 70-270, afhankelijk van het evacuatie-deelscenario.



Figuur 58: Maximale waterdiepte bij de meest waarschijnlijke tweevoudige doorbraak.

5.3.3 De meest waarschijnlijke drievoudige doorbraak

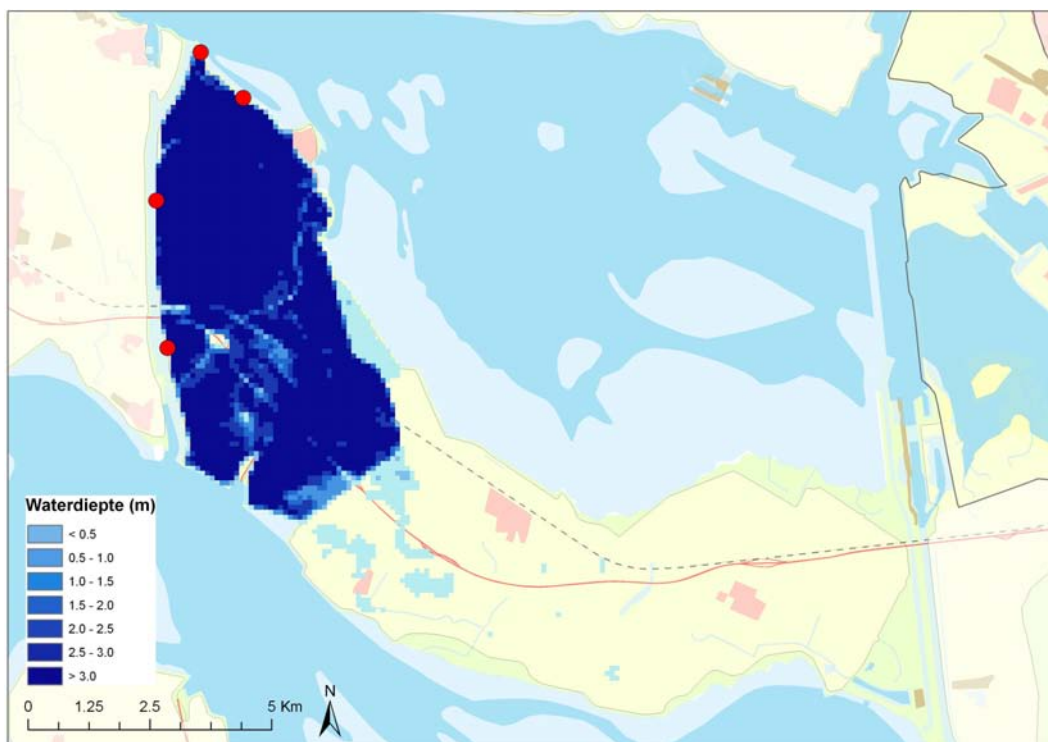
De meest waarschijnlijke tweevoudige doorbraak betreft doorbraken in ringdelen 21 (Kaarspolder), 22 (Yerseke Moer) en 23 (Schoreburg). De scenariokans is 1/880 per jaar. De schade bij dit scenario bedraagt ongeveer 0,9 miljard euro, het aantal slachtoffers is ongeveer 100-370, afhankelijk van het evacuatie-deelscenario.



Figuur 59: Maximale waterdiepte bij de meest waarschijnlijke drievoudige doorbraak.

5.3.4 De meest waarschijnlijke viervoudige doorbraak

De meest waarschijnlijke tweevoudige doorbraak betreft doorbraken in ringdelen 20 (Breedsendijk), 21 (Kaarspolder), 22 (Yerseke Moer) en 23 (Schoreburg). De scenariokans is 1/2.200 per jaar. De schade bij dit scenario bedraagt ongeveer 1,1 miljard euro, het aantal slachtoffers is 120-450, afhankelijk van het evacuatie-deelscenario.



Figuur 60: Maximale waterdiepte bij de meest waarschijnlijke viervoudige doorbraak.

6 Overstromingsrisico

Het overstromingsrisico is bepaald door kansen op de verschillende overstromingsscenario's te combineren met de gevolgen van deze scenario's. Daarbij is zowel gekeken naar het economisch risico als het slachtofferrisico.

6.1 Aanpak berekening overstromingsrisico

Bij elk scenario hoort een waterstand die bij het optreden van dit scenario het meest waarschijnlijk is. Voor verschillende waterstanden zijn overstromingsberekeningen gemaakt. Aan elk scenario is overstromingsberekening gekoppeld. Bij de selectie van de overstromingsberekeningen is steeds gekeken naar de belastingcondities waarbij het optreden van de verschillende scenario's het meest waarschijnlijk is. Als een scenario naar verwachting pas optreedt bij een zeer hoge waterstand, is dus uitgegaan van een overstromingsberekening die hoort bij een extreme waterstand.

Benadrukt wordt dat het onterecht is om te veronderstellen dat een grotere nauwkeurigheid zou kunnen worden verkregen door voor elk scenario uit te gaan van een overstromingsberekening die exact hoort bij de waterstand waarbij het optreden van het scenario het meest waarschijnlijk is. Hetzelfde overstromingsscenario kan immers ook optreden bij ongunstigere (maar wel minder waarschijnlijke) omstandigheden.

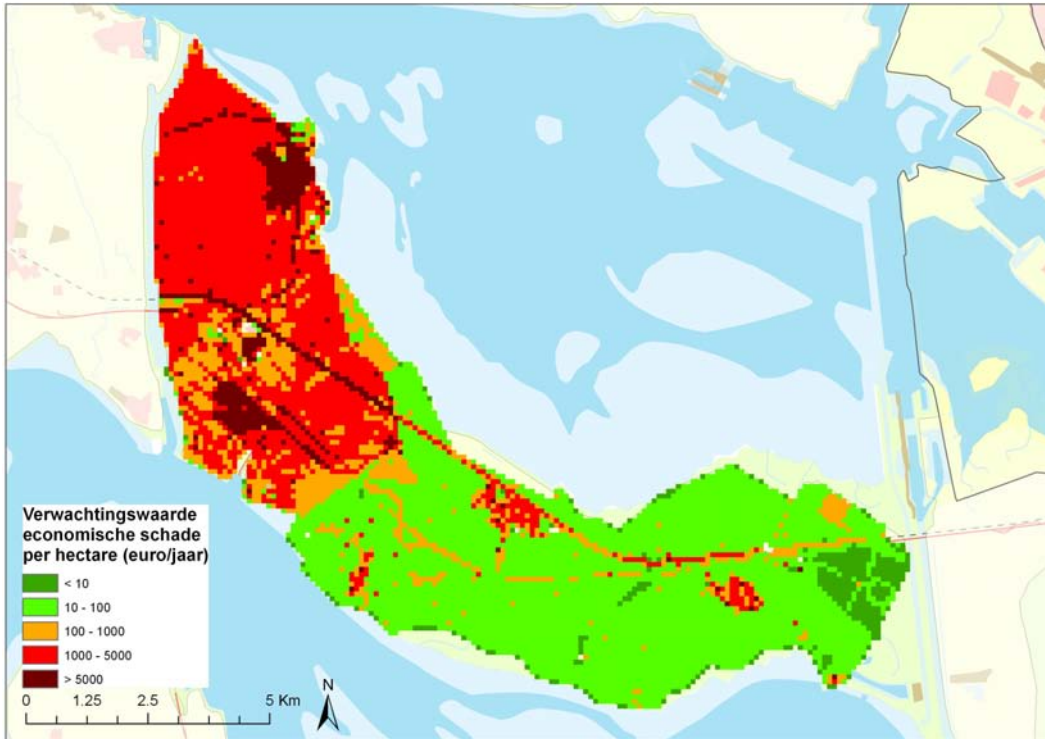
6.2 Overstromingsrisico

6.2.1 *Economisch risico*

De verwachtingswaarde van de economische schade bedraagt 38,2 miljoen euro per jaar. Deze waarde is relatief hoog voor een gebied als dijkkring 31 met relatief weinig te beschermen waarde. Echter omdat de overstromingskans $>1/100$ per jaar is (de verwachtingswaarde volgt uit de vermenigvuldiging van kansen en gevolgen), is de verwachtingswaarde relatief groot.

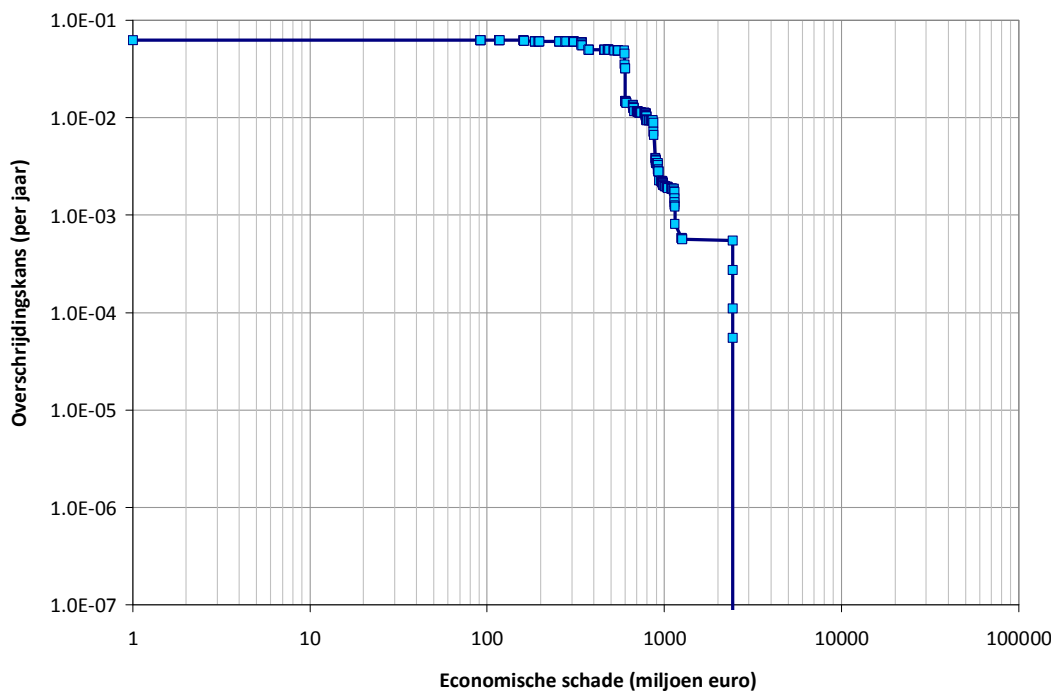
In de berekende economische schade per scenario is het effect van verplaatsing van economische activiteit steeds verdisconteerd: bedrijfsuitval in het getroffen gebied zal leiden tot verhoogde bedrijvigheid buiten dit gebied. De schade in het getroffen gebied is dus groter dan genoemde schadebedragen.

In Figuur 61 is de verdeling van de verwachtingswaarde van de schade over het dijkkringgebied weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de verwachtingswaarde van de economische schade voor het oostelijk deel van de dijkkring vrijwel overal kleiner is dan 100 euro per ha per jaar. Een uitzondering hierop vormen de bebouwde kernen van Waarde, Krabbendijke en Rilland. Hier ligt de schade tussen de 1000 en 5000 euro per jaar. Het westelijk deel van de dijkkring heeft een verwachtingswaarde van circa 1000 en 5000 euro per jaar. Nabij de bebouwde gebieden van Yerske en Kruiningen zijn de verwachtingswaarden groter dan 5000 euro per ha per jaar.



Figuur 61: Verwachtingswaarde van de economische schade.

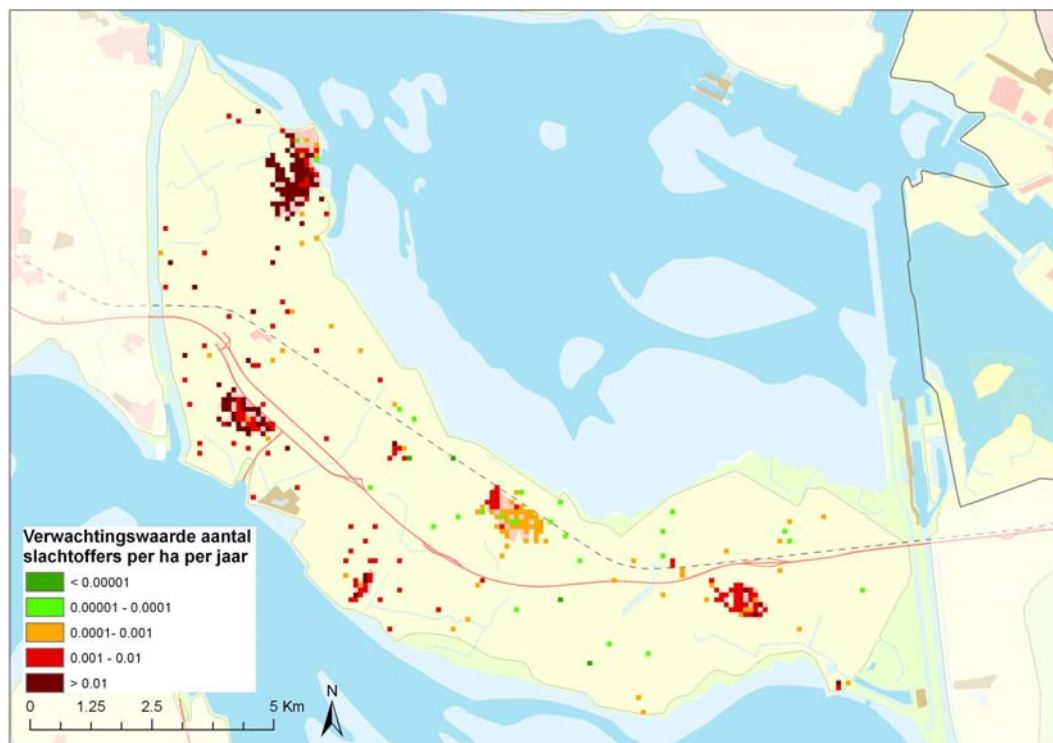
In Figuur 62 zijn de kansen op overschrijding van bepaalde schadebedragen getoond. De kans op ten minste 1 miljard euro schade is ongeveer 1/500 per jaar. De maximale schade die in Figuur 62 is getoond is ongeveer 2,5 miljard euro. De kans op een grotere economische schade is verwaarloosbaar klein.



Figuur 62: Overschrijdingskansen van de economische schade.

6.2.2 Slachtofferrisico

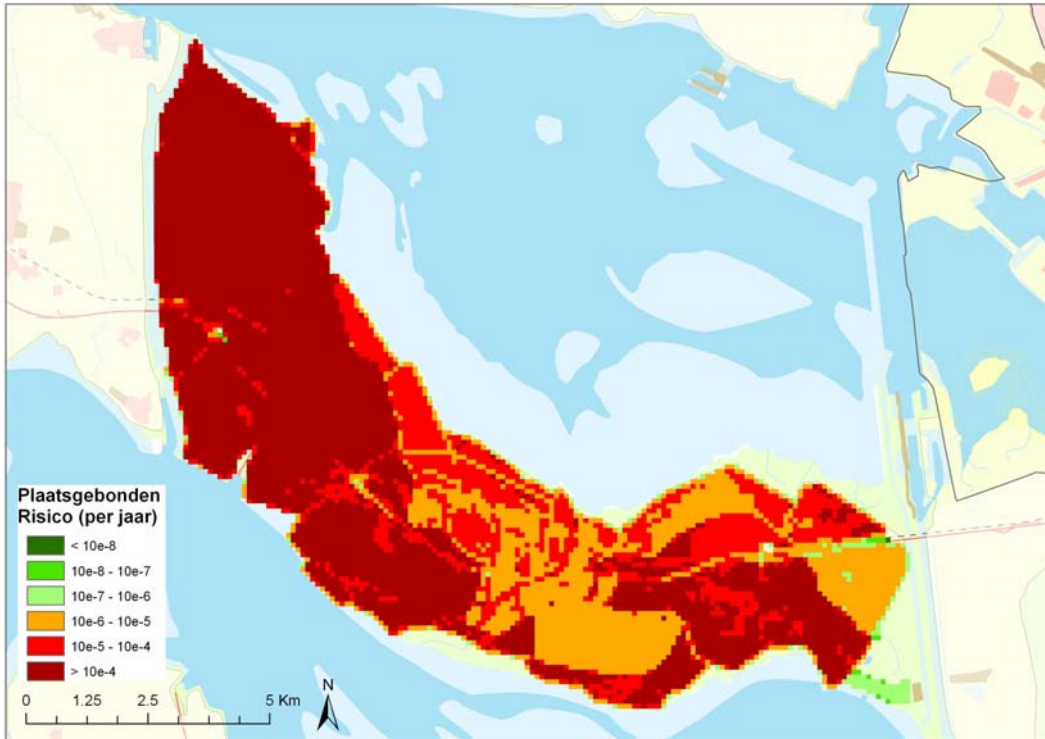
De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is 9,6 per jaar. In Figuur 63 is de ruimtelijke verdeling van de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers over het dijkkringgebied gegeven. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is relatief groot. Voor de bebouwde kernen en de vrijstaande bebouwing in het westelijk deel van de dijkkring ligt de verwachtingswaarde groter dan 0,001 slachtoffer per hectare per jaar. Voor het oostelijk deel is de verwachtingswaarde zowel voor de bebouwde kernen als voor de vrijstaande bebouwing circa 1 orde kleiner.



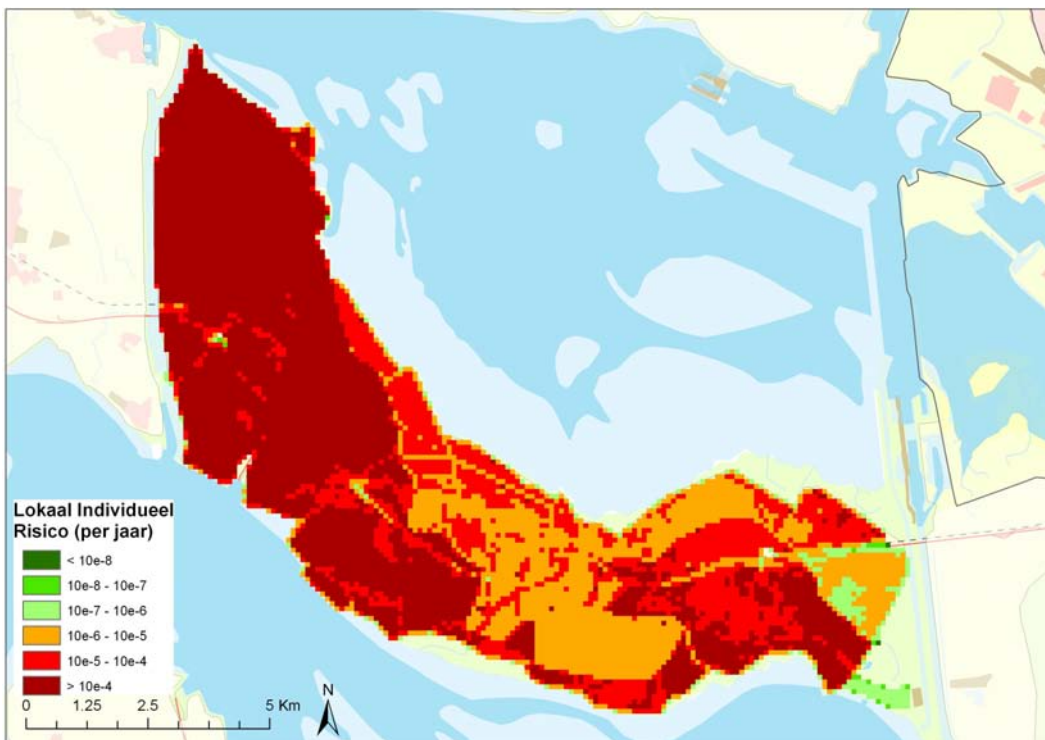
Figuur 63: Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers.

Het plaatsgebonden risico is de kans dat een onbeschermd persoon die zich gedurende een jaar continu op dezelfde plek bevindt, daar het slachtoffer wordt van een overstroming. Het effect van evacuatie wordt bij de berekening van het plaatsgebonden risico niet meegenomen. Bij het lokaal individueel risico (LIR) wordt het effect van evacuatie wel meegenomen. In Figuur 64 is het plaatsgebonden risico (PR) getoond en in Figuur 65 het lokaal individueel risico (LIR). Het LIR en het PR zijn vrijwel overal groter dan 1/10.000 per jaar.

Uit Figuur 64 en Figuur 65 blijkt dat het PR en LIR qua ordegrrootte aan elkaar gelijk zijn. Dit is een gevolg van het feit dat de verwachtingswaarde van een evacuatie 0,26 per overstroming is. Het verschil tussen PR en LIR is zodoende een factor $(1/(1-0,26))=1,35$. Dit geringe verschil duidt erop dat het meenemen van de mogelijkheden voor evacuatie geen significant effect heeft op de overlijdenskansen van individuen in dijkkringgebied 31.



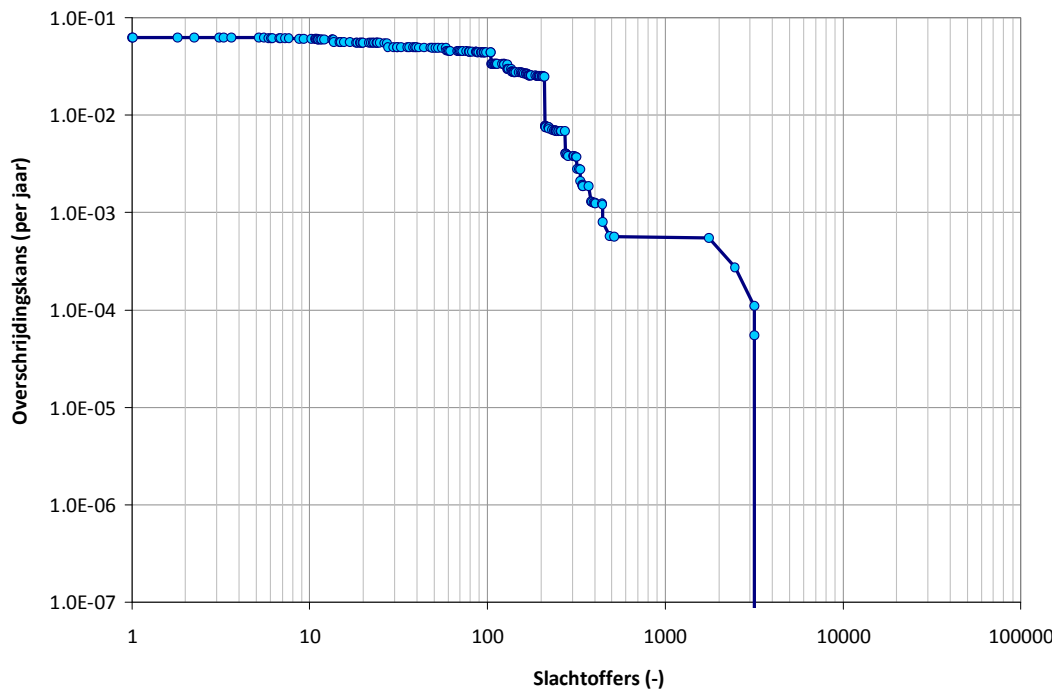
Figuur 64: Het plaatsgebonden risico (PR) in dijkring 31.



Figuur 65: Het lokaal individueel risico (LIR) in dijkring 31.

Het groepsrisico geeft de kans op een ongeval met N of meer slachtoffers en wordt vaak weergegeven in een zogenaamde FN-curve (zie Figuur 66). In de berekening van het groepsrisico is het effect van evacuatie meegenomen. Figuur 66 toont dat de kans op een overstroming met meer dan 100 slachtoffers groter is dan 1/100 per jaar.

De kans op een overstroming met ten minste 1.000 slachtoffers is 1/1.800 per jaar. Voor de beschouwde overstromingsscenario's is het maximale aantal slachtoffers ongeveer 3.000. De kans op een groter aantal slachtoffers is verwaarloosbaar klein.



Figuur 66: FN-curve dijkkring 31.

7 Gevoeligheidsanalyse risicoreductie

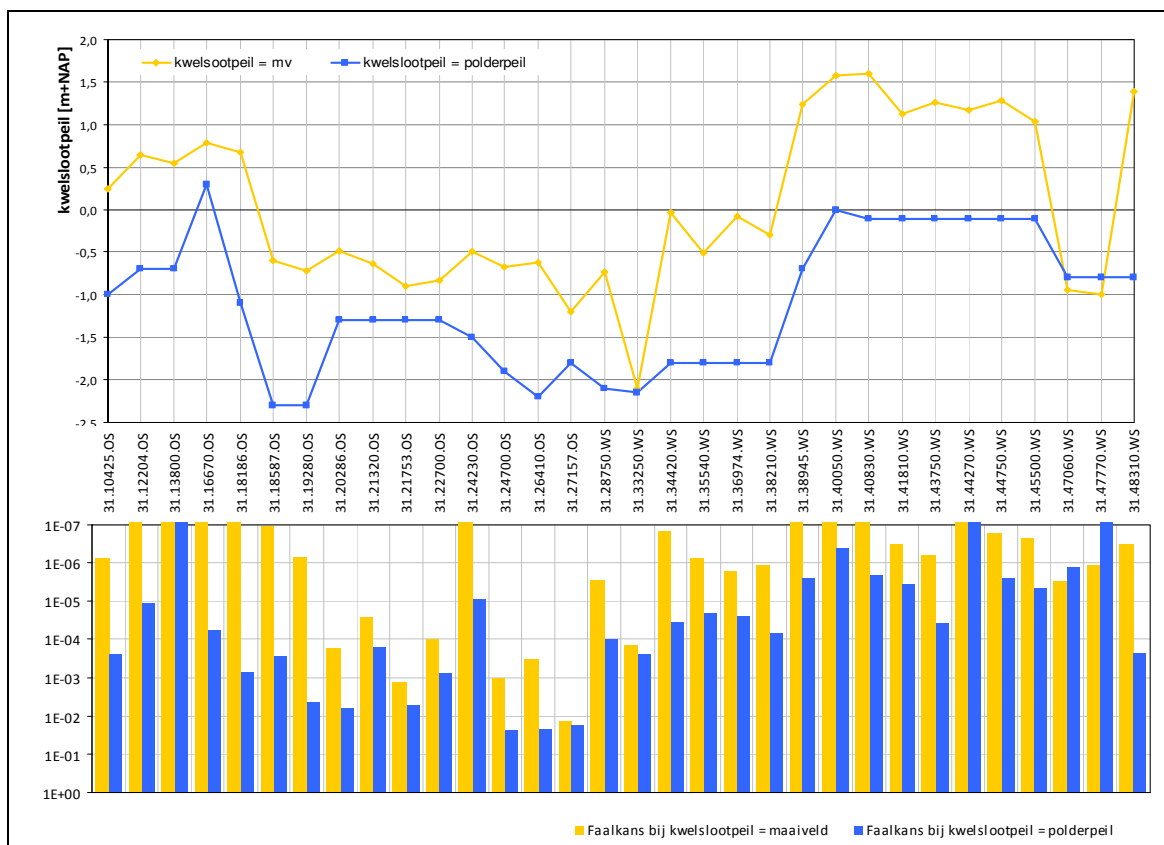
In dit hoofdstuk zijn de uitgevoerde gevoeligheidsberekeningen beschreven.

7.1 Gevoeligheidsanalyse I: Kwelslootpeil

Het kwelslootpeil is een belangrijke parameter bij het berekenen van de faalkansen voor het mechanisme opbarsten en piping. De kwelsloten langs de dijken van dijkkring 31 zijn over het algemeen erg diep (1,5 - 2 m ten opzichte van het omringende maaiveld), terwijl het polderpeil ten opzicht van de slootbodembodem relatief laag ligt. In de basiskansbepaling is er van uitgegaan dat het polderpeil tijdens maatgevende omstandigheden gehandhaafd kan blijven.

Met deze gevoeligheidsanalyse is voor de hele dijkkring inzichtelijk gemaakt wat het effect is op de faalkans van het mechanisme piping indien tijdens maatgevende omstandigheden de kwelsloten tot aan maaiveld vol staan met water (in de toetsing gehanteerd uitgangspunt).

In Figuur 67 is in de bovenste grafiek per dijkvak het maaiveld en het polderpeil uitgezet. In de onderste grafiek is de bijbehorende faalkans weergegeven. Uit deze grafiek blijkt dat het kwelslootpeil grote invloed op de faalkans van een dijkvak kan hebben. Uit de figuur blijkt dat hoe hoger het kwelslootpeil is hoe lager de faalkans is.



Figuur 67: Faalkans bij variërend kwelslootpeil.

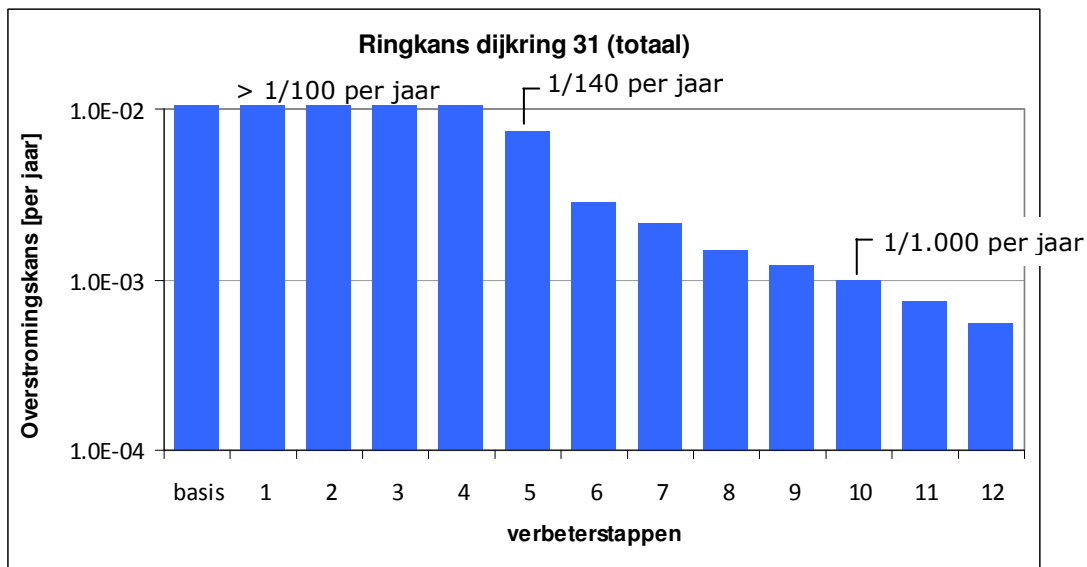
7.2 Gevoeligheidsanalyse II: Gerichte maatregelen en de overstromingskans

De overstromingskans van de categorie a-kering van dijkkring 31 is door middel van gerichte maatregelen te verlagen. Bij elke verbetering wordt de faalkans van een vak tot een verwaarloosbare waarde teruggebracht. De volgorde van de verbeteringen is dusdanig dat de overstromingskans met zo min mogelijk maatregelen tot een zo laag mogelijke waarde wordt gereduceerd. Dit is een efficiënte strategie zolang er geen grote verschillen bestaan tussen de kosten van versterkingen op verschillende locaties.

Het effect van gerichte maatregelen is niet alleen beschouwd voor de hele dijkkring, maar ook voor de dijken langs de Ooster- en Westerschelde afzonderlijk. Dit is gedaan omdat de kans van een doorbraak vanuit de Oosterschelde onafhankelijk is verondersteld van de kans op een doorbraak vanuit de Westerschelde (zie paragraaf 10.1.2 van het achtergrondrapport). Bovendien wordt de faalkans van de dijkkring vrijwel geheel bepaald door vakken langs de Oosterschelde.

7.2.1 Totale dijkkring

In Figuur 68 is de overstromingskans van de gehele dijkkring getoond als functie van het aantal verbeteringen dat is uitgevoerd. Te zien is dat na verbeterstap 5 de faalkans van de dijkkring kleiner wordt dan 1/100 per jaar. De faalkans is kleiner dan 1/1.000 per jaar na 10 verbeterstappen. De dijkvakken waarvoor een verbeterstap is uitgevoerd zijn opgenomen in Tabel 18. De verbetermaatregelen hebben allemaal betrekking op het faalmechanisme piping.



Figuur 68: De overstromingskans als functie van het aantal verbeterstappen (totaal dijkkring 31)

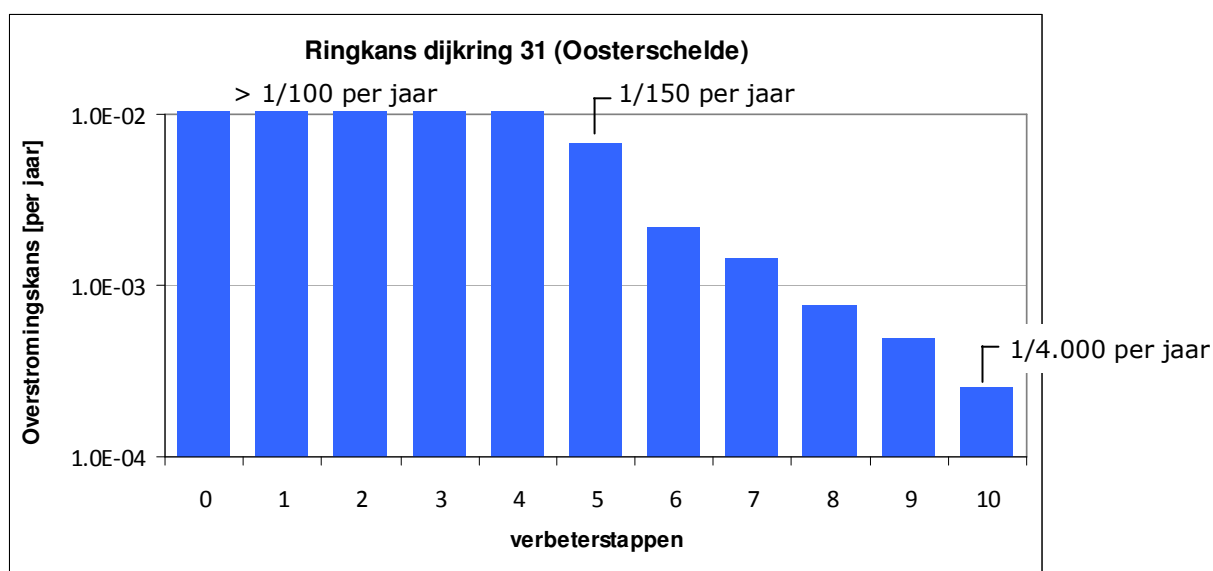
verbeterstap	dijkvak		Lengte [m]	
	id	naam	per vak	cum.
1	29	31.24700.OS	1700	1700
2	30	31.26410.OS	750	2450
3	31	31.27157.OS	1150	3600
4	23	31.20286.OS	1000	4600
5	25	31.21753.OS	950	5550
6	22	31.19280.OS	1000	6550

7	26	31.22700.OS	1000	7550
8	20	31.18186.OS	400	7950
9	21	31.18587.OS	700	8650
10	38	31.33250.WS	1200	9850
11	12	31.10425.OS	1800	11650
12	55	31.48310.WS	500	12150

Tabel 18: Verbeterstappen dijkkring 31.

7.2.2 Oosterschelde

Figuur 69 is de overstromingskans van de Oosterschelde getoond als functie van het aantal verbeteringen dat is uitgevoerd. Te zien is dat de faalkansen tot en met verbeterstap 5 vrijwel identiek zijn aan de faalkansen van de gehele dijkkring. Dus pas als de 5 slechtste dijkvakken verbeterd zijn heeft de faalkans van de dijkvakken langs de Westerschelde enige invloed op de totale overstromingskans. De dijkvakken waarvoor een verbeterstap is uitgevoerd zijn opgenomen in Tabel 19.



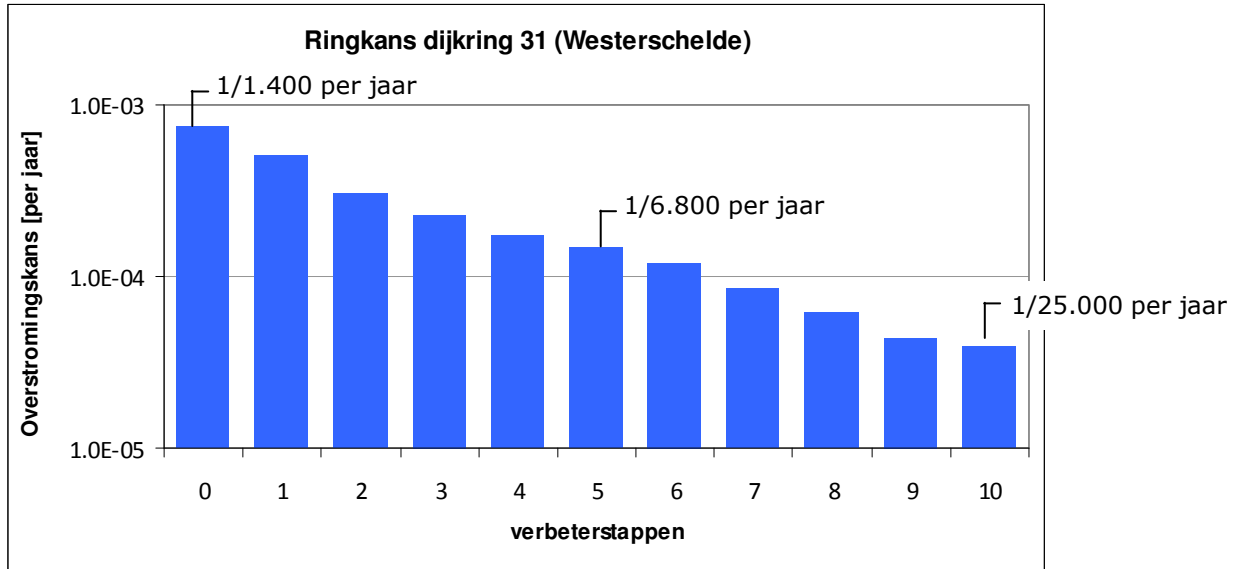
Figuur 69: De overstromingskans als functie van het aantal verbeterstappen (Oosterschelde).

verbeterstap	dijkvak		Lengte [m]	
	id	naam	per vak	cum.
1	29	31.24700.OS	1700	1700
2	30	31.26410.OS	750	2450
3	31	31.27157.OS	1150	3600
4	23	31.20286.OS	1000	4600
5	25	31.21753.OS	950	5550
6	22	31.19280.OS	1000	6550
7	26	31.22700.OS	1000	7550
8	20	31.18186.OS	400	7950
9	21	31.18587.OS	700	8650
10	12	31.10425.OS	1800	10450

Tabel 19: Verbeterstappen Oosterschelde.

7.2.3 Westerschelde

In Figuur 70 is de overstromingskans van de Westerschelde getoond als functie van het aantal verbeteringen dat is uitgevoerd. Te zien is dat de totale faalkans van alle dijkvakken langs de Westerschelde al in de uitgangssituatie kleiner is dan 1/1.000 per jaar (1/1.400 per jaar). Na 10 verbeterstappen is de faalkans langs de Westerschelde afgenomen tot 1/25.000 per jaar. De dijkvakken waarvoor een verbeterstap is uitgevoerd zijn opgenomen in Tabel 20.



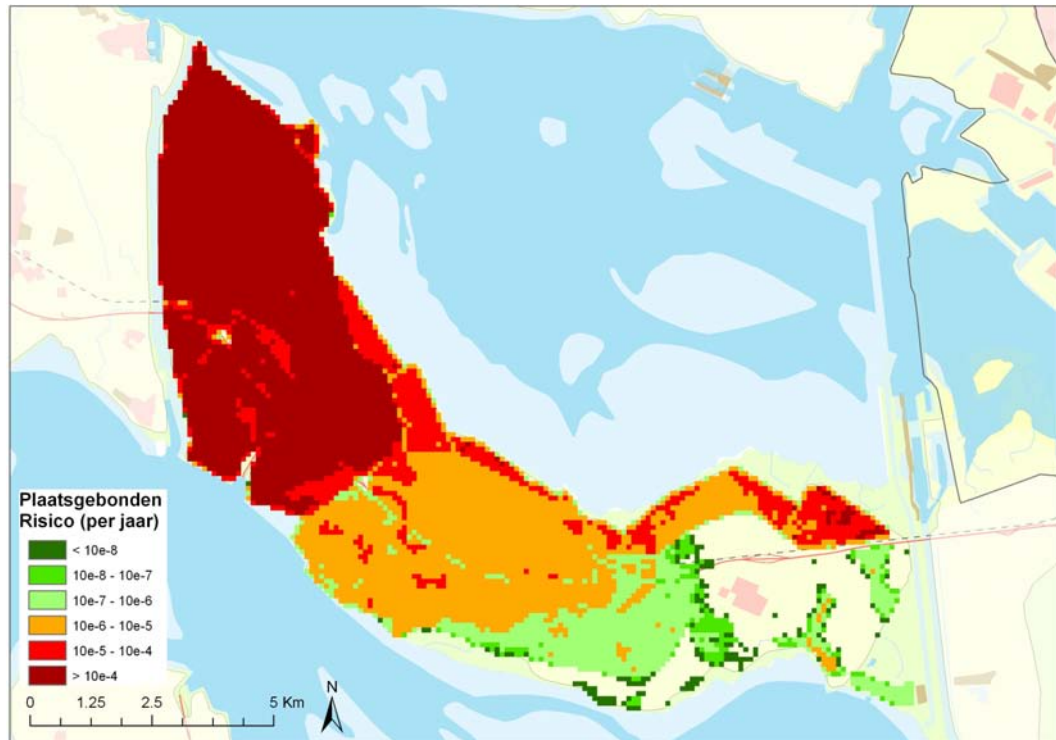
Figuur 70: De overstromingskans als functie van het aantal verbeterstappen (Westerschelde).

verbeterstap	dijkvak		Lengte [m]	
	id	naam	per vak	cum.
1	38	31.33250.WS	1200	1200
2	55	31.48310.WS	500	1700
3	33	31.28750.WS	1200	2900
4	42	31.38210.WS	750	3650
5	39	31.34420.WS	1100	4750
6	40	31.35540.WS	1400	6150
7	49	31.43750.WS	500	6650
8	41	31.36974.WS	1200	7850
9	45	31.40050.WS	800	8650
9	44	31.39550.WS	500	9150

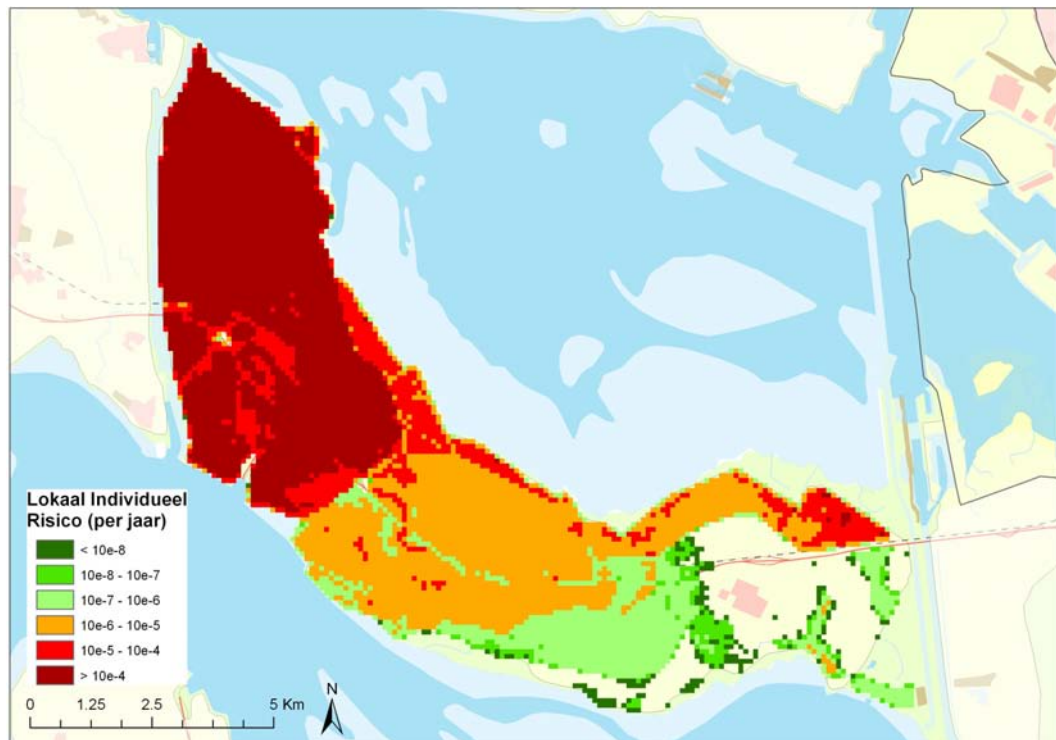
Tabel 20: Verbeterstappen Westerschelde.

7.3 Gevoeligheidsanalyse III: Overstromingsrisico Oosterschelde

Het overstromingsrisico is in deze berekening alleen berekend voor doorbraken van uit de Oosterschelde. Bij deze berekeningen is het risico als gevolg van een doorbraak vanuit de Westerschelde dus verwaarloosd. Het plaatsgebonden risico (PR) en het lokaal individueel risico (LIR) zijn weergegeven Figuur 71 en Figuur 72.

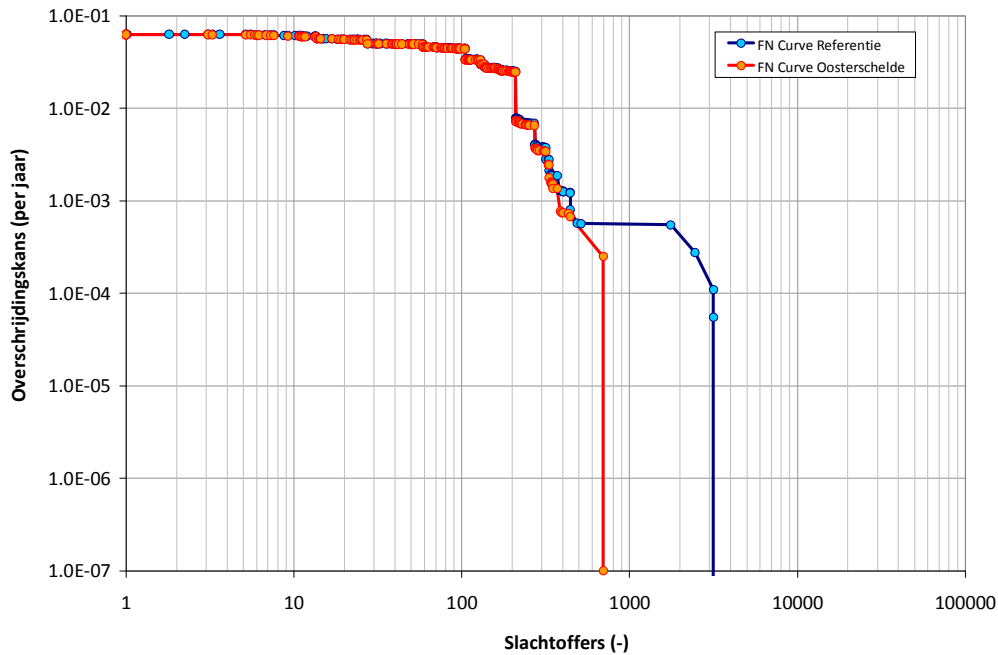


Figuur 71: Het plaatsgebonden risico (PR) voor doorbraken vanuit de Oosterschelde.



Figuur 72: Het lokaal individueel risico (LIR) voor doorbraken vanuit de Oosterschelde.

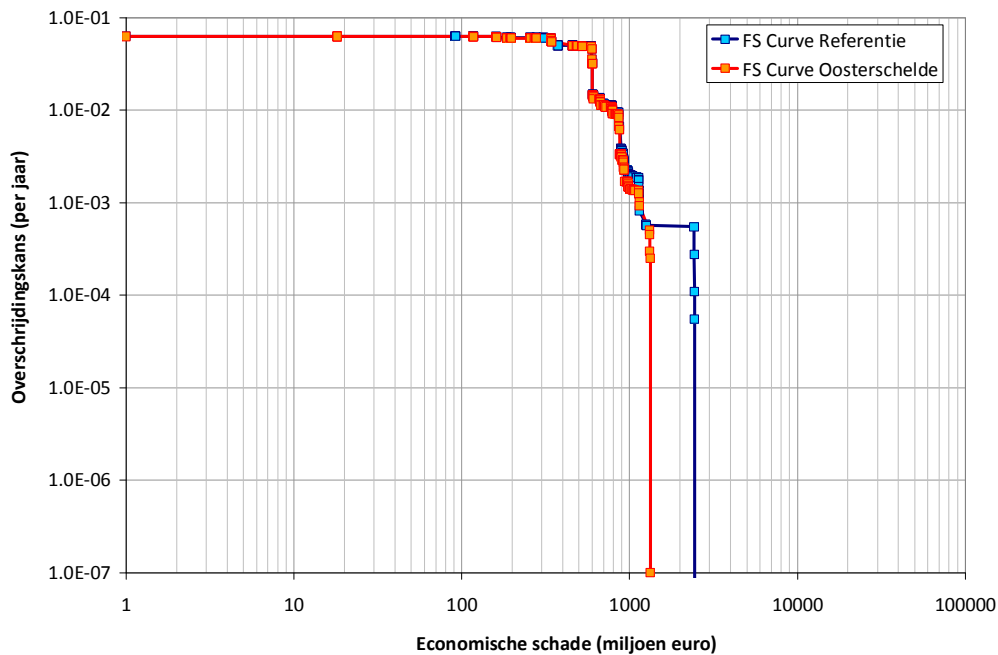
In Figuur 73 is het groepsrisico bij een verwaarloosbare kans op een overstroming vanuit de Westerschelde getoond en vergeleken met de basissom.



Figuur 73: Groepsrisico (FN-curve) voor doorbraken vanuit de Oosterschelde.

In de Figuur 73 is te zien dat de FN-curve waarbij doorbraken uit de Westerschelde zijn verwaarloosd vrijwel gelijk is aan FN-curve voor de totale dijkkring. Alleen de kans op overstromingsscenario's met meer dan circa 800 slachtoffers reduceert zichtbaar als gevolg van het verwaarlozen van een overstroming vanuit de Westerschelde.

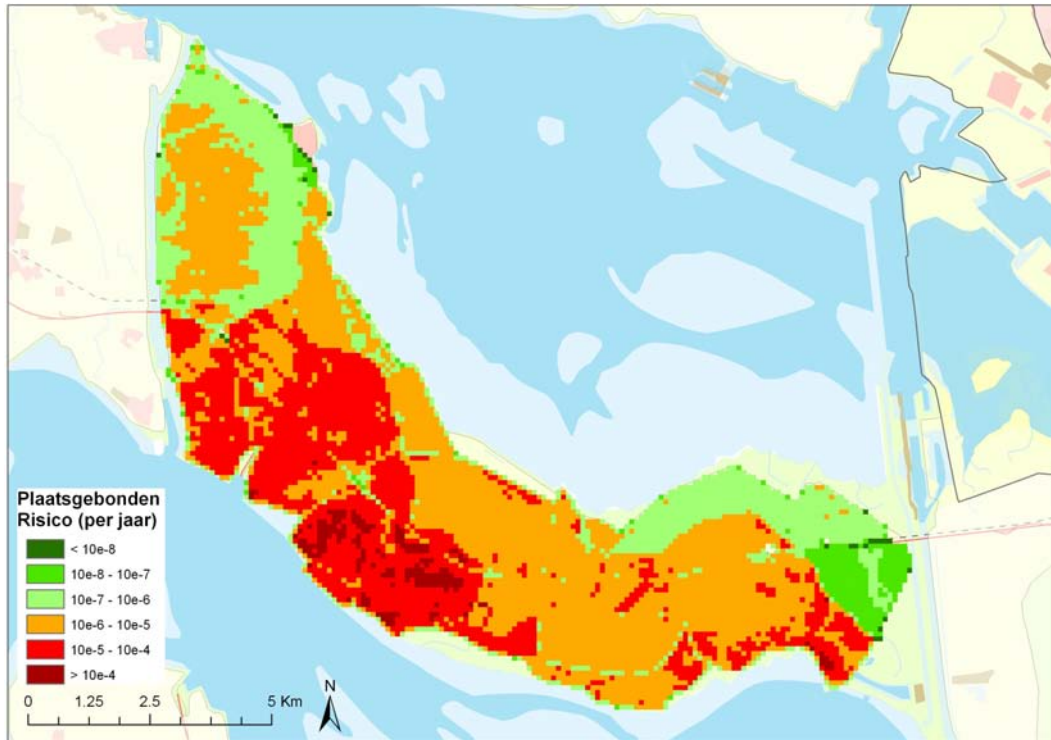
De invloed van een verwaarloosbare kans op een doorbraak vanuit de Westerschelde op de FS-curve is getoond in Figuur 74.



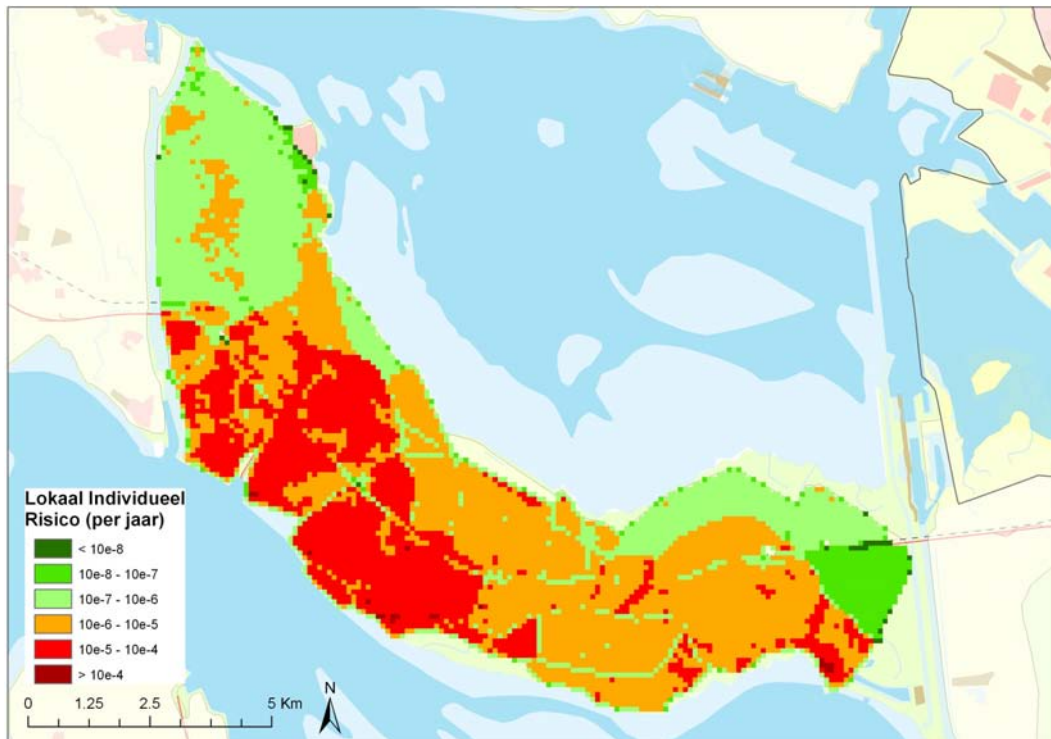
Figuur 74: Economische schade (FS-curve) voor doorbraken vanuit de Oosterschelde.

7.4 Gevoeligheidsanalyse IV: Overstromingsrisico Westerschelde

Het overstromingsrisico is in deze berekening alleen berekend voor doorbraken vanuit de Westerschelde. Bij deze berekeningen is het risico als gevolg van een doorbraak vanuit de Oosterschelde dus verwaarloosd. Het plaatsgebonden risico (PR) en het lokaal individueel risico (LIR) zijn Figuur 75 en Figuur 76.

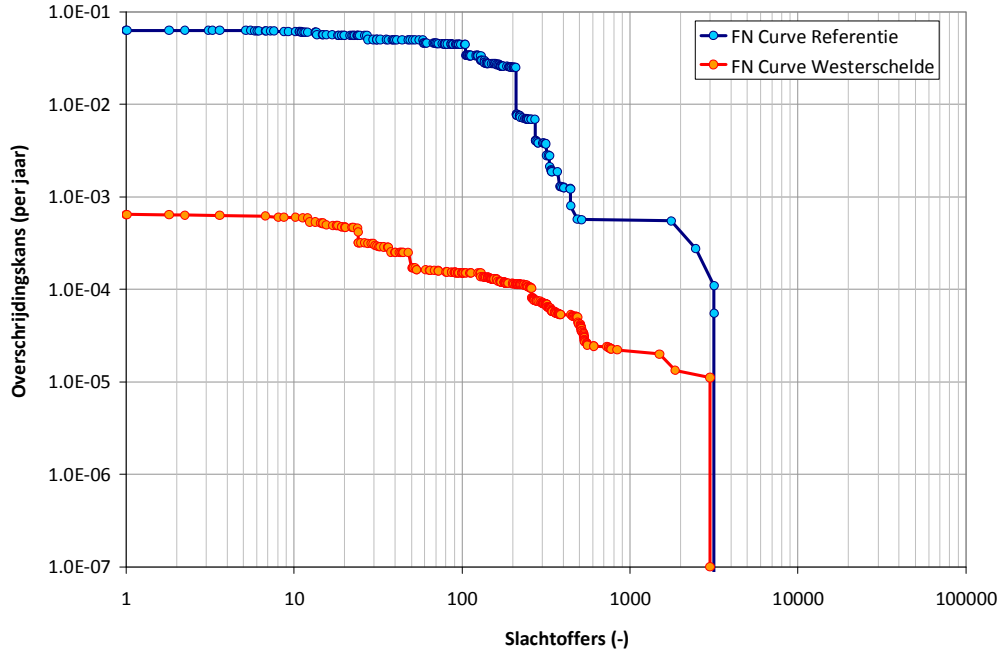


Figuur 75: Het plaatsgebonden risico (PR) voor doorbraken vanuit de Westerschelde.



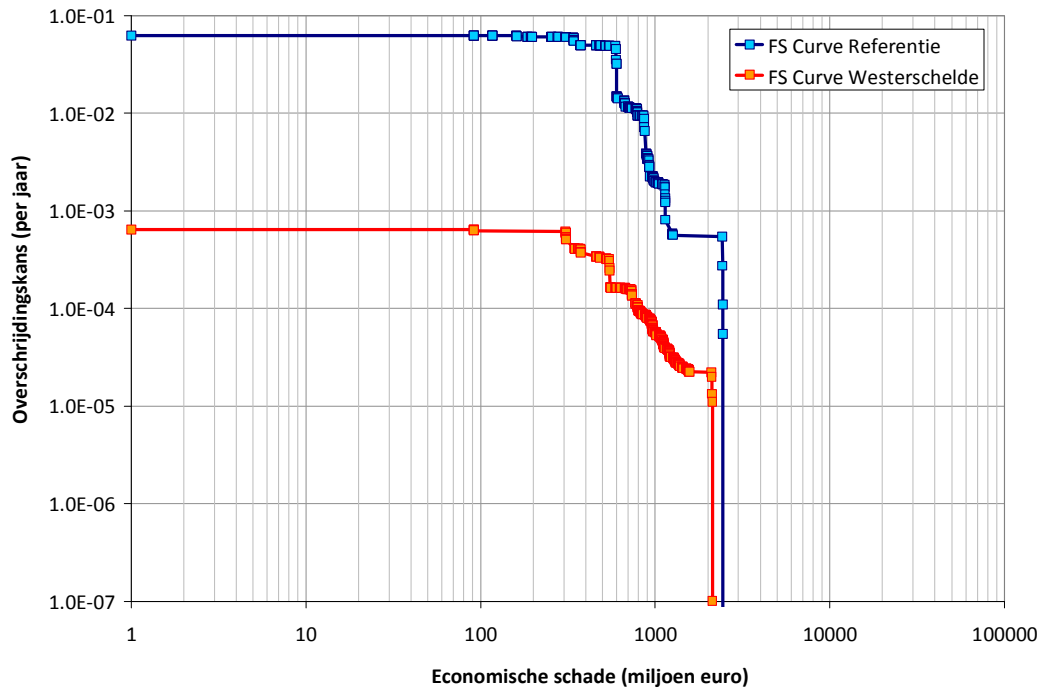
Figuur 76: Het lokaal individueel risico (LIR) voor doorbraken vanuit de Westerschelde.

In Figuur 77 is het groepsrisico bij een verwaarloosbare kans op een overstroming vanuit de Oosterschelde getoond en vergeleken met de basissom. In de figuur is te zien dat de kans op een overstroming met 1 tot circa 500 slachtoffers reduceert met bijna twee ordes ten opzichte van de basissom.



Figuur 77: Groepsrisico (FN-curve) voor doorbraken vanuit de Westerschelde.

De invloed van een verwaarloosbare kans op een doorbraak vanuit de Oosterschelde op de FS-curve is getoond in Figuur 78.

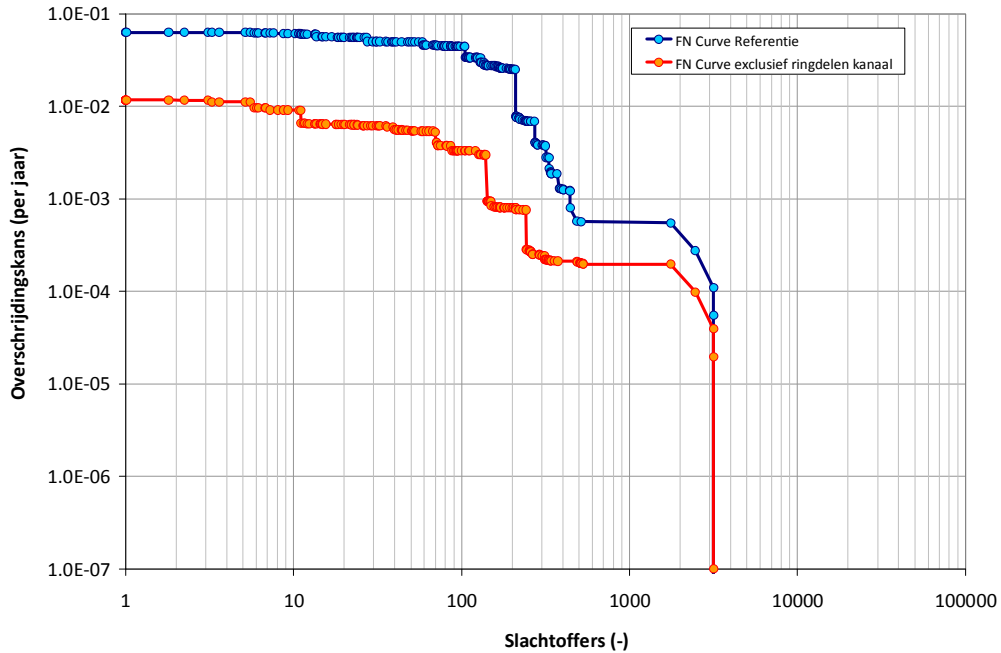


Figuur 78: Economische schade (FS-curve) voor doorbraken vanuit de Westerschelde.

7.5 Gevoeligheidsanalyse V: Gerichte maatregelen en het overstromingsrisico

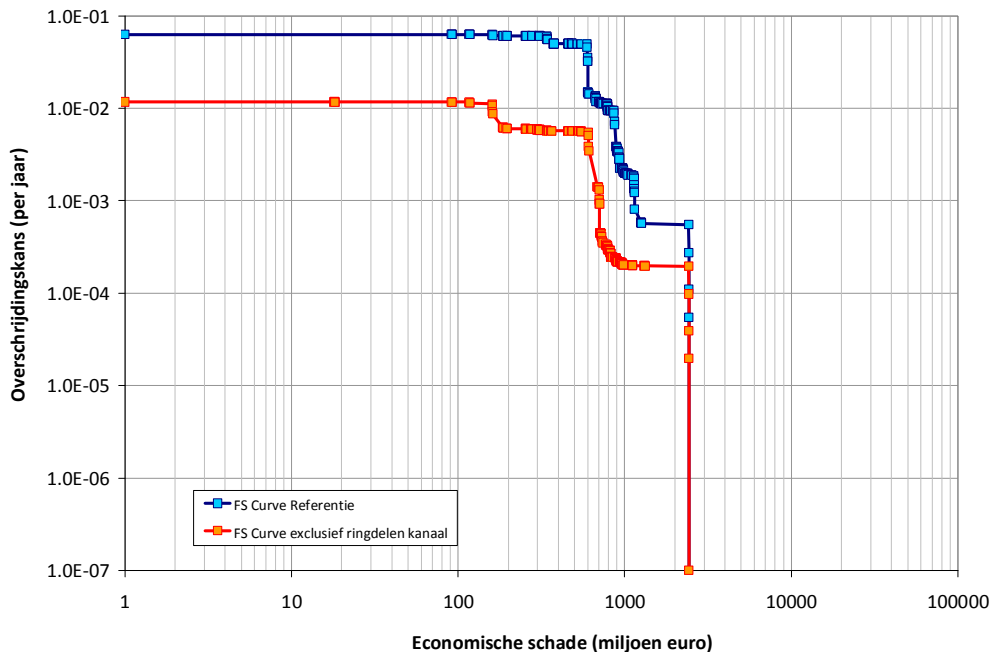
De ringdelen langs het kanaal door Zuid-Beveland (1, 22 en 23) hebben verreweg de grootste bijdrage aan de overstromingskans. Ook leveren doorbraken langs het kanaal door Zuid-Beveland de grootste bijdrage aan het overstromingsrisico.

In Figuur 79 is het effect op het groepsrisico van een verwaarloosbare kans op een overstroming vanuit het kanaal getoond. In de figuur is te zien dat de kans op slachtoffers afneemt (de kans op ten minste 1 slachtoffer daalt).



Figuur 79: De invloed van een verwaarloosbare kans op een doorbraak vanuit het kanaal door Zuid-Beveland op de FN-curve.

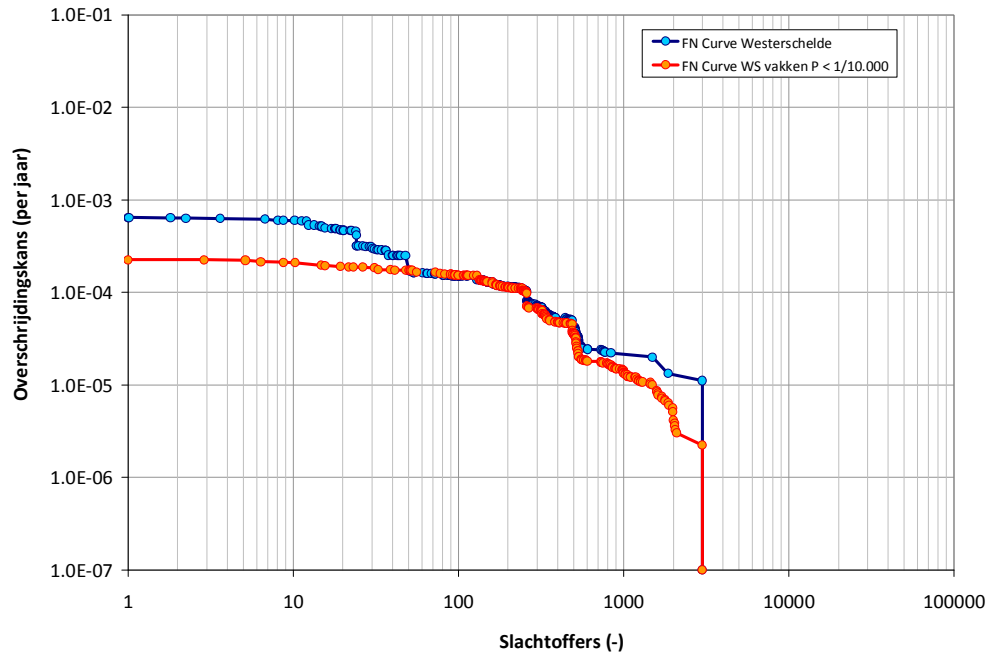
De invloed van een verwaarloosbare kans op een doorbraak vanuit het kanaal door Zuid-Beveland op de FS-curve is getoond in Figuur 80.



Figuur 80: De invloed van een verwaarloosbare kans op een doorbraak vanuit het kanaal door Zuid-Beveland op de FS-curve.

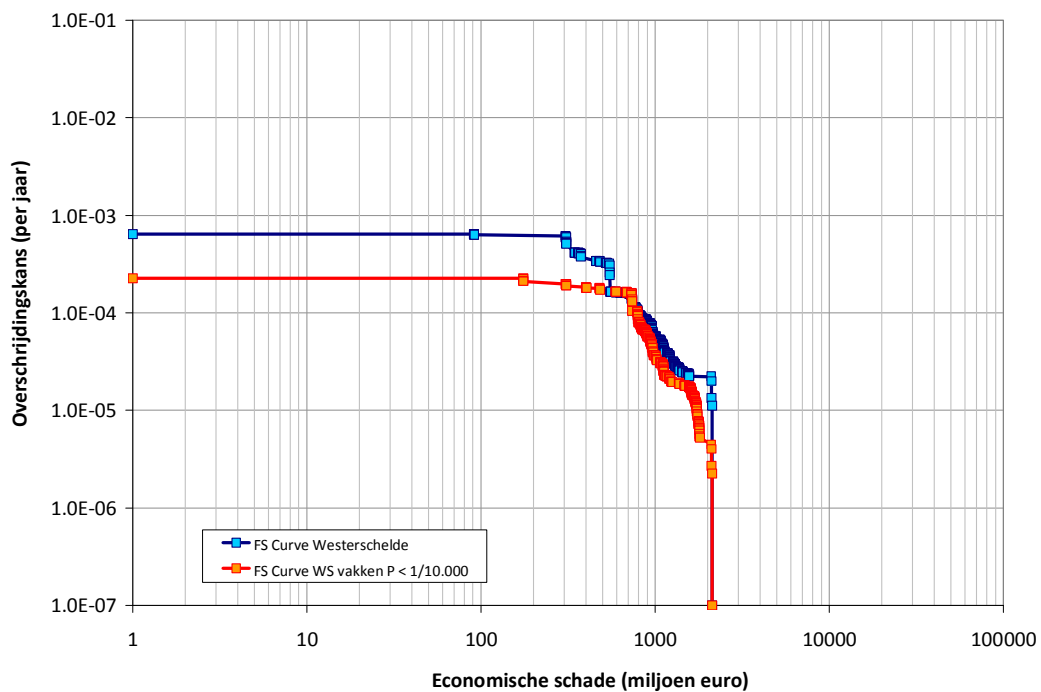
7.6 Gevoeligheidsanalyse VI: Gerichte maatregelen Westerschelde

In Figuur 81 is het effect op het groepsrisico getoond indien de drie slechtste vakken langs de Westerschelde worden verbeterd en daardoor een verwaarloosbare bijdrage aan het risico hebben. Deze drie vakken hebben ieder een faalkans groter dan 1/10.000 per jaar. Deze relatief grote faalkansen worden veroorzaakt door het mechanisme piping. In de figuur is te zien dat de kans op slachtoffers afneemt (de kans op ten minste 1 slachtoffer daalt). De kansen op overstromingsscenario's met meer dan 50 slachtoffers blijven echter vrijwel ongewijzigd.



Figuur 81: De invloed van verbetering van de drie vakken langs de Westerschelde met faalkansen groter dan 1/10.000 per jaar op de FN-curve.

De invloed van verbetering van de drie vakken langs de Westerschelde met faalkans kleiner dan 1/10.000 per jaar op de FS-curve is getoond in Figuur 82.



Figuur 82: De invloed van verbetering van de drie vakken langs de Westerschelde met faalkansen groter dan 1/10.000 per jaar op de FS-curve

8 Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk beschrijft de conclusies en aanbevelingen die volgen uit het onderzoek naar het overstromingsrisico van dijkkring 31 Zuid-Beveland. De conclusies en aanbevelingen betreffen zowel de beschikbaarheid van gegevens, de faalkansen, de gevolgen, als het overstromingsrisico.

8.1 Conclusies

8.1.1 *De kans op overstroming in dijkkring 31*

De berekende overstromingskans voor dijkkring 31 is groter dan 1/100 per jaar. De berekende overstromingskans is de kans dat zich ergens achter de categorie a-kering een overstroming voordoet. Afhankelijk van de breslocatie(s) worden andere delen van het dijkkringgebied getroffen.

De overstromingskans van dijkkring 31 wordt gedomineerd door een aantal dijkvakken langs het Kanaal door Zuid-Beveland en twee vakken langs de Oosterschelde tussen Yerseke en de monding van het kanaal. Het dominante faalmechanisme is piping. Voor alle overige vakken ligt de faalkans minimaal één tot twee orden lager. De locatie van de dominante vakken is goed verklaarbaar vanuit de geometrie van de dijk (vakken grenzen aan een diepe polder en hebben geen voorland). Deze vakken zijn ook in de toetsing als onvoldoende naar voren gekomen en zijn volgens de beheerder de slechtste vakken van de dijkkring.

De overstromingskans van dijkkring 31 kan sterk worden gereduceerd door het verbeteren van de slechtste vakken. Na het verbeteren van de vijf slechtste vakken verkleint de overstromingskans tot 1/140 per jaar. Het verbeteren van de tien slechtste vakken verkleint de overstromingskans tot 1/1000 per jaar.

Hoewel de locatie van de dominante dijkvakken goed verklaarbaar is, de berekende faalkansen groot ($> 1/100$ per jaar). Mogelijk zijn de faalkansen onterecht zo groot door onzekerheden in de lokale gegevens (ontbreken lokale informatie over doorlatendheden, korreldiameters en peilen kwelsloot onder maatgevende omstandigheden). De beheerder is inmiddels een onderzoek gestart om de ontbrekende gegevens te verzamelen en na te gaan hoe urgent de situatie voor deze vakken is.

Alle de dijkvakken langs de Westerschelde hebben faalkansen die minimaal twee orden lager liggen dan die van het slechtste vak. Ook langs de Westerschelde is piping het dominante faalmechanisme.

Piping is het dominante faalmechanisme voor dijkkring 31. Het bepaalt voor 99 % de kans op een overstroming. Macrostabieliteit heeft nog een beperkte bijdrage aan de overstromingskans. Het faalmechanisme overloop en golfoverslag en de kunstwerken hebben een verwaarloosbaar aandeel in de overstromingskans.

De berekende faalkansen komen op hoofdlijnen overeen met de resultaten van de toetsing. Er zijn lokaal wel verschillen. Dit wordt met name veroorzaakt doordat in de toetsing om de 100 meter een dijkprofiel is getoetst terwijl binnen VNK dijkvakken met een grotere lengte zijn gekozen. Hierdoor vallen meerdere toetsprofielen binnen één VNK-dijkvak. Waar binnen de toetsing soms op korte afstanden zowel scores "goed" als "onvoldoende" worden gevonden, is in VNK hiervoor dan één faalkans berekend.

8.1.2 De gevolgen van overstromingen in dijkkring 31

De gevolgen van een overstroming zijn sterk afhankelijk van de locatie van de doorbraak. Door de sterke compartimentering van de dijkkring verschilt het overstromingsbeeld sterk per doorbraaklocatie. Doorbraken langs de Westerschelde hebben de grootste gevolgen. Langs de Oosterschelde zijn de gevolgen van een doorbraak over het algemeen geringer. Een uitzondering hierop vormt een doorbraak bij Breedsendijk of Yerseke Moer.

Van de doorbraaklocaties langs de Oosterschelde hebben de locaties met de grootste gevolgen (Breedsendijk en Yerseke Moer) ook de grootste faalkans. Dit houdt in dat hier ook een relatief grote risicoreductie te realiseren is.

Door de sterke compartimentering zijn ten behoeve van de risicoberekening 23 ringdelen gedefinieerd, 13 langs de Oosterschelde en 9 langs de Westerschelde. Er is veel overlap in de gevolgen van een overstroming tussen de verschillende doorbraaklocaties in dijkkring 31.

Binnen VNK wordt bij het bepalen van de gevolgen van een overstroming er vanuit gegaan dat de regionale waterkeringen niet bezwijken. Gezien de ervaringen uit 1953 is het waarschijnlijk dat bij een overstroming een aantal regionale waterkeringen wel zullen bezwijken. Hierdoor zal de schade en het aantal slachtoffers in werkelijkheid groter zijn dan uit de uitgevoerde overstromingsberekeningen volgt. Dit heeft ook een effect op het risico. Aangezien het risico gedomineerd wordt door de grote faalkansen en niet door de schade zal het algemene beeld van het risico niet significant veranderen.

8.1.3 Het overstromingsrisico in dijkkring 31

Door de kansen op de verschillende overstromingsscenario's te combineren met de resultaten van overstromingsberekeningen is het overstromingsrisico in beeld gebracht. Daarbij is zowel gekeken naar het economisch risico als het slachtofferrisico (Tabel 21).

Economisch risico	Verwachtingswaarde economische schade per jaar (€ per jaar)	38 miljoen
	Kleinste economische schade bij een enkelvoudige doorbraak(€ per overstroming)	90 miljoen
	Grootste economische schade bij een enkelvoudige doorbraak (€ per overstroming)	1.400 miljoen
	Economische schade indien alle <i>doorbraaklocaties in de dijkkring</i> tegelijk doorbreken (maximale scenario, € per overstroming)	2.600 miljoen
	Economische schade indien <i>alle doorbraaklocaties langs de Westerschelde</i> tegelijk doorbreken (maximale scenario Westerschelde, € per overstroming)	2.100 miljoen
	Economische schade indien <i>alle doorbraaklocaties langs de Oosterschelde</i> tegelijk doorbreken (maximale scenario Oosterschelde, € per overstroming)	1.300 miljoen
Slachtofferrisico	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers per jaar	10
	Aantal slachtoffers bij de enkelvoudige doorbraak met de minste slachtoffers	3
	Aantal slachtoffers bij de enkelvoudige doorbraak met de meeste slachtoffers	380
	Aantal slachtoffers bij het maximale scenario	2.250

	Aantal slachtoffers bij het maximale scenario langs de Oosterschelde	520
	Aantal slachtoffers bij het maximale scenario langs de Westerschelde	2.220

Tabel 21: Economisch risico en slachtofferrisico voor verschillende scenario's.

Het overstromingsrisico kan sterk gereduceerd worden door de dijkvakken met de grootste faalkansen te verbeteren. Zowel langs de Oosterschelde (locaties langs het Kanaal door Zuid-Beveland) als langs de Westerschelde (locaties bij Kruiningen en Bath) vallen de vakken met de grootste faalkans ook samen met de ringdelen met de grootste overstromingschade. Hierbij dient bedacht te worden dat de faalkansen langs de Westerschelde sowieso twee orden lager liggen dan het vak met de grootste faalkans.

8.2 Aanbevelingen

Gezien de grote berekende faalkansen langs het kanaal door Zuid-Beveland en de Oosterschelde tussen Yerseke en de monding van het kanaal verdient het aanbeveling lokale informatie in te winnen omtrent doorlatendheden en korrelverdelingen van de zandlaag en het kwelslootpeil onder hoogwatercondities. Op basis van deze informatie kan de faalkans scherper worden bepaald. De beheerder is inmiddels een onderzoek gestart.

Indien de kans op een overstroming verlaagd dient te worden, kan dit het meest effectief gebeuren door de zwakste vakken langs het kanaal door Zuid-Beveland en de Oosterschelde te verbeteren. Door het verbeteren van de vijf slechtste vakken neemt de faalkans met één orde af tot 1/140, door het verbeteren van de tien slechtste vakken neemt de faalkans met twee orden af tot kleiner dan 1/1.000. Dit leidt ook direct tot een significante risicoreductie.

Indien het risico van een overstroming verlaagd dient te worden verdient het aanbeveling om naast het verbeteren van de slechtste vakken langs de Oosterschelde ook de twee slechtste vakken langs de Westerschelde (bij Kruiningen en Bath) te verbeteren. De beide vakken liggen in ringdelen die bij doorbraak tot een significante schade leiden.

De schadeberekeningen binnen VNK gaan er van uit dat de regionale keringen standzeker zijn en hiermee wordt de schade bij een overstroming onderschat. Het verdient aanbeveling om middels gevoeligheidsanalyses na te gaan wat de impact op de schade is indien de regionale keringen niet als standzeker in de schadeberekeningen worden meegenomen.

Bijlage A Literatuur

- [1] Bazen, M.A. *Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000. Toelichting bij de kaartbladen 48 Oost Middelburg en 49 West Bergen op Zoom*. Wageningen 1987, Stichting voor Bodemkartering.
- [2] Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Voortgang rivierdijkversterkingen, Brief van de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat, kamerstuk 18106 nr. 139. Den Haag, 9 februari 2004
- [3] Provincie Zeeland. Overstromingsberekeningen VNK2 DR31. Memo dijkkring 31. 20 augustus 2010
- [4] RWS-WD (2009). Van ruwe data tot overstromingsrisico. Handleiding ter bepaling van het overstromingsrisico van dijkringen binnen het project VNK2. November 2009.
- [5] RWS-WD (2010). Dijkkring 31 Zuid Holland: Achtergrondrapport VNK2. Projectbureau VNK2.
- [6] Steenbergen, H.M.G.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M., Koster, T. (2008). Theoriehandleiding PC-Ring versie 5.0. Deel A: Mechanismebeschrijvingen. TNO:29 februari 2008.
- [7] Steenbergen, H.M.G.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M. (2003). Theoriehandleiding PC-Ring Versie 4.0, Deel B: Statistische modellen. TNO: april 2003.
- [8] Steenbergen, H.M.G.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M. 2003).Theoriehandleiding PC-Ring Versie 4.0, Deel C: Rekentechnieken. TNO: april 2003.
- [9] Trikt, J. van en Ahrens, H. *Zeekleibodem, kenmerkende bodem van het zeekeilandschap*. Naturalis (www.geologievannederland.nl).
- [10] www.wikipedia.nl
- [11] VNK2. Overall kunstwerkrapportage dijkkring 31. november 2011
- [12] Waterschap Zeeuwse Eilanden. *De waterkering getoetst. De veiligheid van Zeeland 2010*. Juli 2011

Bijlage B Begrippenlijst

Afschuiving

Een verplaatsing van (een deel van) een grondlichaam. De term afschuiving wordt gebruikt bij het faalmechanisme macrostabiliteit.

Beheerder

De overheid waarbij de (primaire) waterkering in beheer is.

Beheersgebied

Het in de legger gespecificeerd areaal dat als waterkering wordt aangemerkt en door de waterkeringbeheerder wordt beheerd.

Bekleding

De afdekking van de kern van een dijk ter bescherming tegen golfaanvallen en langsstromend water. De taludbekleding bestaat uit een erosiebestendige toplaag, inclusief de onderliggende vlijlaag, filterlaag, kleilaag en/of geotextiel.

Belasting

De op een constructie (een waterkering) uitgeoefende in- en uitwendige krachten.

Benedenrivierengebied

Het door Rijn en Maas gevoede rivierengebied ten westen van de lijn Schoonhoven – Werkendam – Dongemond, inclusief Hollands Diep en Haringvliet, zonder de Hollandsche IJssel.

Berm

Een extra verbreding aan de binnendijkse of buitendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden, zandmeevoerende wellen te voorkomen en/of de golfloop te reduceren.

Binnentalud

Het hellend vlak van het dijklichaam aan de binnenzijde van de dijk.

BKL

Basis kustlijn. Bij het vigerende kustbeleid worden suppleties uitgevoerd indien de kustlijn zich landwaarts van de BKL bevindt.

Bovenrivierengebied

Het door Rijn en Maas gevoede rivierengebied ten oosten van de lijn Schoonhoven - Werkendam - Dongemond. De waterstanden worden daar niet beïnvloed door het getij van de Noordzee.

Bres

Een doorgaand gat in de waterkering dat is ontstaan door overbelasting.

Buitentalud

Hellend vlak van het dijklichaam aan de kerende zijde.

Buitenwater

Oppervlaktewater waarvan de waterstand direct onder invloed staat van de waterstand op zee, de grote rivieren, het IJsselmeer of het Markermeer.

Decimeringhoogte

De peilvariatie die behoort bij een vergroting of verkleining van de overschrijdingsfrequentie met een factor 10.

Dijkring

Stelsel van waterkeringen en/of hoge gronden, dat een dijkringgebied omsluit en beveiligt tegen overstromingen.

Dijkringgebied

Een gebied dat door een stelsel van waterkeringen en/of hoge gronden beveiligd wordt tegen overstromingen vanuit zee, het IJsselmeer, Markermeer en/of de grote rivieren.

Dijkringsegment

Een deel van de dijkring, dat beheerd wordt door één beheerder en dat bestaat uit één type waterkering.

Dijkvak

Een deel van een waterkering waarvoor de sterkte-eigenschappen en belastingen homogeen zijn.

Duin

Zandlichaam (al dan niet verdedigd) bestemd tot het keren van water.

Duinafslag

Faalmechanisme voor duinen dat betrekking heeft op de erosie van een duin onder stormcondities.

Faalmechanisme

De wijze waarop een waterkering faalt. Voor dijken en kunstwerken worden elk vier faalmechanismen beschouwd. Voor duinen wordt duinafslag beschouwd.

Falen

Het niet meer vervullen van de primaire functie (water keren) en/of het niet meer voldoen aan vastgestelde criteria.

Gemiddelde waarde

De verwachtingswaarde (μ) van een stochast.

Gevolgenmatrix

De gevolgenmatrix is een dataset per dijkringgebied, met voor elk ringdeel een breslocatie en per breslocatie een aantal overstromingsberekeningen en daarbij behorende gevolgen (resultaten van HIS-SSM berekeningen).

Golfoploop

De hoogte boven de stilwaterstand tot waar een tegen het talud oplopende golf reikt (de 2% golfoploop wordt door 2% van de golven overschreden).

Golfoverslag

De hoeveelheid water die door golven per strekkende meter gemiddeld per tijdseenheid over de waterkering slaat.

Grensprofiel

Het duinprofiel dat na afslag bij ontwerpomstandigheden nog minimaal aanwezig moet zijn.

Grenstoestand

De toestand waarin de sterkte van een constructie of een onderdeel daarvan nog juist evenwicht maakt met de daarop werkende belastingen.

Groepsrisico

Het groepsrisico beschrijft de kansen op overschrijding van bepaalde slachtoffer aantallen.

JARKUS

Het landelijk bestand met diepte- en hoogtemetingen van de Nederlandse zandige kust per jaar.

Kansdichtheidfunctie

Een functie die aan elke mogelijke waarde van een stochast een kansdichtheid toekent.

Karakteristieke waarde

Een op basis van een statistische analyse bepaalde waarde met een kleine onder- of overschrijdingskans. In de praktijk wordt voor materiaal-eigenschappen vaak uitgegaan van een waarde met een onderschrijdingskans van 5%.

Kruin

De strook tussen buitenkruinlijn en binnenkruinlijn.

Kruinhoogte

De hoogte van de buitenkruinlijn.

Kwel

Het uittreden van grondwater onder invloed van een grotere stijghoogte aan de buitenzijde van het beschouwde gebied.

Kwelsloot

Een sloot aan de binnenzijde van de dijk die tot doel heeft kwelwater op te vangen en af te voeren.

Kwelweg

Mogelijk pad dat het kwelwater in de grond aflegt, van het intreepunt naar het uittreepunt.

Lengte-effect

Het verschijnsel dat de faalkans van een waterkering toeneemt met de lengte. Dit is het gevolg van het feit dat de kans dat zich ergens een zwakke plek bevindt groter wordt als er een grotere lengte wordt beschouwd.

Lokaal individueel risico (LIR)

De kans dat een persoon, die zich continu op een bepaalde plaats in de dijkkring bevindt, overlijdt ten gevolge van een overstroming. In de berekening van het lokaal individueel risico worden de mogelijkheden voor preventieve evacuatie meegenomen.

Macrostabieliteit

De naam van een faalmechanisme waarbij de zich een glijvlak in het talud en de ondergrond vormt.

Marsroute

Voorloper van het onderzoeksprogramma "Overstromingsrisico's: een studie naar kansen en gevolgen"

MKL

Momentane ligging van de kustlijn. De actuele positie van de kustlijn.

Modelfactor

Een factor die onzekerheden in de modellering tot uitdrukking brengt.

NAP

Normaal Amsterdams Peil.

Ontwerppunt

Het ontwerppunt is de meest waarschijnlijke combinatie van de waarden van stochasten waarvoor geldt dat de grenstoestandfunctie (sterkte - belasting) gelijk aan 0 is.

Opbarsten

Het bezwijken van de grond onder invloed van wateroverdrukken door het ontbreken van verticaal evenwicht in de grond. De term opbarsten wordt gebruikt bij het faalmechanisme opbarsten en piping.

Opdrijven

Het bezwijken van de grond onder invloed van wateroverdrukken door het ontbreken van verticaal evenwicht in de grond. De term opdrijven wordt gebruikt bij het faalmechanisme macrostabiliteit.

Overloop

Het verschijnsel waarbij water over de kruin van een dijk stroomt omdat de waterstand in de rivier hoger is dan de kruin van de dijk.

Overschrijdingsfrequentie

Het gemiddeld aantal keren dat een waarde wordt bereikt of overschreden in een bepaalde periode.

Overschrijdingskans

De kans dat het toetspeil wordt bereikt of overschreden.

Overstromingskans

De kans dat een gebied overstroomt doordat de waterkering rondom dat gebied (de dijkring) op één of meer plaatsen faalt.

Overstromingsrisico

De combinatie van kansen en gevolgen van overstromingen. De gevolgen worden uitgedrukt in schade of slachtoffers. Het slachtofferrisico wordt ondermeer weergegeven als groepsrisico en als lokaal individueel risico.

Overstromingsberekening

Een berekening van het overstromingspatroon voor één of meerdere doorbraken in een dijkring.

Overstromingsscenario

Een serie gebeurtenissen volgend op het ontstaan van een of meer bressen.

PC-Ring

Een probabilistisch model dat waarmee faalkansen berekend kunnen worden voor verschillende faalmechanismen voor dijken, duinen en kunstwerken. Daarnaast kunnen met PC-Ring faalkansen per vak en faalmechanisme worden gecombineerd tot faalkansen op ringniveau. Ook kunnen met PC-Ring scenariokansen worden berekend.

PC-ViNK

Een applicatie die het mogelijk maakt om een segment binnen een dijkring in vakken op te knippen en waarmee de data voor het VNK-instrumentarium beheerd kan worden. PC-ViNK draait op een centrale server zodat het gehele werkproces in VNK-2 traceerbaar is.

Plaatsgebonden risico (PR)

De kans dat een persoon, die zich continu op een bepaalde plaats in de dijkring bevindt, overlijdt ten gevolge van een overstroming. In de berekening van het plaatsgebonden risico worden de mogelijkheden voor preventieve evacuatie niet meegenomen.

Piping

Het verschijnsel waarbij er als gevolg van erosie door grondwaterstroming kanalen ontstaan in een grondlichaam.

Primaire waterkering

Een waterkering die ofwel behoort tot het stelsel waterkeringen dat een dijkkringgebied - al dan niet met hoge gronden - omsluit, ofwel vóór een dijkkringgebied is gelegen. Primaire waterkeringen kunnen worden verdeeld in de volgende categorieën:

- A: Een waterkering die direct buitenwater keert
- B: Een voorliggende of verbindende kering
- C: Een waterkering die indirect buitenwater keert
- D: Een waterkering die in het buitenland is gelegen

Reststerkte

Reststerkte is een verzamelbegrip voor de resterende sterkte in de dijk nadat een initiërend faalmechanisme is opgetreden. In VNK2 wordt er bij het faalmechanisme "beschadiging bekleding en erosie van het dijklichaam" met verschillende reststerktemodellen gerekend. Hiermee wordt de kans op het ontstaan van een bres berekend nadat de bekleding is beschadigd. Bij het faalmechanisme "macrostabiliteit binnenwaarts" kan ook de sterkte van de dijk nadat de eerste afschuiving heeft plaatsgevonden worden meegenomen in de faalkansberekening.

Ringdeel

Een deel van de dijkkring waarbinnen de locatie van de bres geen significante invloed heeft op het overstromingspatroon en de optredende schade.

RisicoTool

Applicatie waarmee het overstromingsrisico van het dijkkringgebied berekend kan worden, op basis van beschikbare scenariokansen en de gevolgenmatrix.

Scenariokans

De kans op een overstromingsscenario.

Strijklengte

De lengte van het voor de waterkering gelegen wateroppervlak waarover de wind waait.

Stabiliteitsfactor

De factor waarin het verschil tussen sterkte en belasting wordt uitgedrukt voor het faalmechanisme "macrostabiliteit binnenwaarts".

Standaardafwijking

Een maat voor de spreiding rond het gemiddelde.

Stochastische variabele

Een onzekere grootheid. De kansen op de verschillende waarden van een stochast worden beschreven door een kansdichtheidfunctie.

Systeemwerking

Dit zijn effecten waar een doorbraak in de ene dijkkring leidt tot het ontlasten of juist overstroom (cascade effect) van een andere dijkkring. Systeemwerking betreft dus de interactie tussen twee of meer dijkkringen. Systeemwerking wordt niet meegenomen in VNK2.

Teen

De onderrand van het dijklichaam aan de buitendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar voorland).

Variatiecoëfficiënt (V)

De verhouding tussen de standaardafwijking (σ) en het gemiddelde (μ):
 $V = \sigma/\mu$.

Veiligheidsnorm

Eis waaraan een primaire waterkering moet voldoen, aangegeven als de gemiddelde overschrijdingskans - per jaar - van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren.

Verhang

De verhouding tussen het verschil in stijghoogte tussen twee punten en de afstand tussen die punten; wordt ook wel gradiënt genoemd.

Verval

Het verschil in stijghoogte tussen twee punten, bijvoorbeeld de twee zijden van een waterkering.

Verwachtingswaarde

De gemiddelde waarde van een stochast; het eerste moment van de kansdichtheidfunctie.

Voorland

Het gebied aansluitend aan de buitenzijde van de waterkering. Dit gebied wordt ook wel vooroever genoemd. Ook een diepe steile stroomgeul bij een schaaldijk valt onder de definitie van voorland. Het voorland kan zowel onder als boven water liggen.

Werklijn

De relatie tussen de rivierafvoer en de statistisch bepaalde overschrijdingsfrequentie van de rivierafvoer, zoals deze door de Minister van Verkeer en Waterstaat wordt gehanteerd voor het bepalen van de ontwerpafvoer voor de versterking van dijken.

Zandmeevoerende wel

Een wel die zand meevoert uit de ondergrond.

Bijlage C Vakindeling en ringdelen

In Tabel C.1 is voor de dijken en duinen aangegeven welke vakgrenzen zijn gedefinieerd. Per vak is aangegeven tot welk ringdeel het behoort. Voor de aanduiding van de vakgrenzen is de kilometrering van de dijkkring gebruikt.

Tabel C.1: Vakindeling dijken en ringdelen

vak				Ringdeel	
nr.	naam	van	tot	nr.	Naam
1	31.00000.OS	0	800	10	Eerste Bathpolder
2	31.00800.OS	800	1808		
3	31.01808.OS	1808	3300	11	TweedeBathpolder
4	31.03300.OS	3300	4700		
5	31.04700.OS	4700	6017		
6	31.06017.OS	6017	6906	12	Stroopolder
7	31.06906.OS	6906	7420	13	Oostpolder
8	31.07420.OS	7420	7743		
9	31.07743.OS	7743	8970	14	Karelpolder
10	31.08970.OS	8970	9610		
11	31.09610.OS	9610	10425		
12	31.10425.OS	10425	12204	15	Nieuwlandepolder
13	31.12204.OS	12204	13800	16	StPieterspolder
14	31.13800.OS	13800	14552		
15	31.14552.OS	14552	15620	17	Molenpolder
16	31.15620.OS	15620	16500		
17	31.16500.OS	16500	16670		
18	31.16670.OS	16670	17229	18	Yersekehaven
19	31.17229.OS	17229	18186	19	Yerseke
20	31.18186.OS	18186	18587		
21	31.18587.OS	18587	19280	20	Breedsendijk
22	31.19280.OS	19280	20286		
23	31.20286.OS	20286	21320	21	Kaarspolder
24	31.21320.OS	21320	21753		
25	31.21753.OS	21753	22700	22	YersekeMoer
26	31.22700.OS	22700	23700		
27	31.23700.OS	23700	24230		
28	31.24230.OS	24230	24700		
29	31.24700.OS	24700	26410		
30	31.26410.OS	26410	27157		
31	31.27157.OS	27157	28310	23	Schoreburg
32	31.28310.OS	28310	28750		
33	31.28750.WS	28750	29980	1	Kruiningenpolder
34	31.29980.WS	29980	30400		
35	31.30400.WS	30400	31450		
36	31.31450.WS	31450	32800		
37	31.32800.WS	32800	33250	2	OostInkelenpolder
38	31.33250.WS	33250	34420		
39	31.34420.WS	34420	35540	3	WaardepolderWest
40	31.35540.WS	35540	36974	4	Westveerpolder
41	31.36974.WS	36974	38210	5	WaardepolderOost

vak				Ringdeel	
nr.	naam	van	tot	nr.	Naam
42	31.38210.WS	38210	38945		
43	31.38945.WS	38945	39550	6	Emanuelpolder
44	31.39550.WS	39550	40050		
45	31.40050.WS	40050	40830		
46	31.40830.WS	40830	41810	7	Zimmermanpolder
47	31.41810.WS	41810	43050		
48	31.43050.WS	43050	43750		
49	31.43750.WS	43750	44270		
50	31.44270.WS	44270	44750		
51	31.44750.WS	44750	45500		
52	31.45500.WS	45500	47060	8	Reigerberschepolder
53	31.47060.WS	47060	47770		
54	31.47770.WS	47770	48310	9	Bath
55	31.48310.WS	48310	48800		

In Figuur C.1 is op de van het dijkringgebied aangegeven waar de verschillende dijkvakken zich bevinden.



Figuur C.1: Vakindeling dijkring 31

In Tabel C.2 is aangegeven tot welke ringdelen de verschillende kunstwerken behoren.

Tabel C.2: Kunstwerken en ringdelen

Kunstwerk				Ringdeel	
nr.	Naam		type	nr.	Naam
1	VNK.31.02.001	De Moer	gemaal	22	YersekeMoer
2	VNK.31.02.002	Joh. Glerum	gemaal	2	OostInkelenpolder
3	VNK.31.02.003	J.A. van de Graaff	gemaal	10	TweedeBathpolder
4	VNK.31.02.004	Waarde	gemaal	5	WaardepolderOost

Bijlage D Overzicht faalkansen

Tabel D.1 geeft een totaaloverzicht van de berekende faalkansen per faalmechanisme per vak. Ook zijn de faalkansen per faalmechanisme op ringniveau getoond.

Tabel D.1 Overzicht berekende faalkansen per vak en kunstwerk (kansen per jaar)

Vak		Dijken				Kunstwerken				Faalkans op vakniveau
nr.	naam	Overloop en golf-overslag	Macro-stabiliteit binnen-waarts	Opbarsten en piping	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Overloop en golf-overslag	Niet sluiten	Piping	Construc-tief falen	
1	31.00000.OS	1,5E-07	-	-		-	-	-	-	1,5E-07
2	31.00800.OS	2,6E-10	-	-		-	-	-	-	2,6E-10
3	31.01808.OS	3,4E-09	-	-		-	-	-	-	3,4E-09
4	31.03300.OS	3,9E-07	-	-		-	-	-	-	3,9E-07
5	31.04700.OS	4,6E-07	-	-		-	-	-	-	4,6E-07
6	31.06017.OS	1,9E-07	-	-		-	-	-	-	1,9E-07
7	31.06906.OS	7,4E-08	-	-		-	-	-	-	7,4E-08
8	31.07420.OS	2,9E-08	-	-		-	-	-	-	2,9E-08
9	31.07743.OS	1,8E-07	-	-		-	-	-	-	1,8E-07
10	31.08970.OS	8,2E-08	7,0E-11	-		-	-	-	-	8,2E-08
11	31.09610.OS	1,4E-07	-	-		-	-	-	-	1,4E-07
12	31.10425.OS	2,8E-07	-	2,5E-04		-	-	-	-	2,5E-04
13	31.12204.OS	1,4E-07	-	1,1E-05		-	-	-	-	1,1E-05
14	31.13800.OS	6,3E-08	-	8,4E-08		-	-	-	-	1,5E-07
15	31.14552.OS	1,7E-07	-	-		-	-	-	-	1,7E-07
16	31.15620.OS	4,1E-08	1,6E-08	-		-	-	-	-	5,7E-08
17	31.16500.OS	1,0E-07	-	-		-	-	-	-	1,0E-07
18	31.16670.OS	2,3E-07	-	5,5E-05		-	-	-	-	5,5E-05
19	31.17229.OS	1,3E-07	-	-		-	-	-	-	1,3E-07

Vak		Dijken				Kunstwerken				Faalkans op vakniveau
nr.	naam	Overloop en golf-overslag	Macro-stabiliteit binnen-waarts	Opbarsten en piping	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Overloop en golf-overslag	Niet sluiten	Piping	Construc-tief falen	
20	31.18186.OS	1,6E-07	-	7,1E-04		-	-	-	-	7,1E-04
21	31.18587.OS	2,0E-07	-	2,8E-04		-	-	-	-	2,8E-04
22	31.19280.OS	4,4E-07	7,4E-04	4,3E-03		-	-	-	-	5,1E-03
23	31.20286.OS	1,3E-07	-	6,1E-03		-	-	-	-	6,1E-03
24	31.21320.OS	2,5E-07	-	1,5E-04		-	-	-	-	1,5E-04
25	31.21753.OS	2,4E-07	-	5,1E-03		-	-	-	-	5,1E-03
26	31.22700.OS	4,9E-07	-	7,9E-04		-	-	-	-	8,0E-04
27	31.23700.OS	9,7E-08	-	-		-	-	-	-	9,7E-08
28	31.24230.OS	1,0E-07	-	8,8E-06		-	-	-	-	8,9E-06
29	31.24700.OS	1,7E-07	-	2,4E-02		-	-	-	-	2,4E-02
30	31.26410.OS	2,7E-07	-	2,1E-02		-	-	-	-	2,1E-02
31	31.27157.OS	5,4E-07	-	1,8E-02		-	-	-	-	1,8E-02
32	31.28310.OS	3,3E-13	-	-		-	-	-	-	3,3E-13
33	31.28750.WS	2,3E-07	-	9,6E-05		-	-	-	-	9,6E-05
34	31.29980.WS	1,7E-05	-	-		-	-	-	-	1,7E-05
35	31.30400.WS	1,6E-06	-	-		-	-	-	-	1,6E-06
36	31.31450.WS	9,9E-08	-	-		-	-	-	-	9,9E-08
37	31.32800.WS	7,2E-08	-	-		-	-	-	-	7,2E-08
38	31.33250.WS	1,3E-05	-	2,4E-04	-	-	-	-	-	2,6E-04
39	31.34420.WS	2,0E-05	1,7E-05	3,4E-05	-	-	-	-	-	6,6E-05
40	31.35540.WS	1,3E-05	2,6E-05	1,9E-05	-	-	-	-	-	5,4E-05
41	31.36974.WS	1,2E-05	-	2,5E-05		-	-	-	-	3,5E-05
42	31.38210.WS	1,2E-05	-	6,7E-05		-	-	-	-	7,7E-05
43	31.38945.WS	1,6E-05	-	2,4E-06		-	-	-	-	1,8E-05
44	31.39550.WS	2,4E-05	-	-		-	-	-	-	2,4E-05
45	31.40050.WS	2,6E-05	-	3,9E-07		-	-	-	-	2,6E-05
46	31.40830.WS	4,5E-06	-	2,2E-06		-	-	-	-	6,4E-06

Vak		Dijken				Kunstwerken				Faalkans op vakniveau
nr.	naam	Overloop en golf-overslag	Macro-stabiliteit binnen-waarts	Opbarsten en piping	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Overloop en golf-overslag	Niet sluiten	Piping	Construc-tief falen	
47	31.41810.WS	2,7E-06	-	3,5E-06		-	-	-	-	6,0E-06
48	31.43050.WS	5,5E-06	-	-		-	-	-	-	5,5E-06
49	31.43750.WS	8,3E-07	-	3,6E-05		-	-	-	-	3,7E-05
50	31.44270.WS	2,2E-05	-	7,3E-09		-	-	-	-	2,2E-05
51	31.44750.WS	1,2E-05	-	2,4E-06		-	-	-	-	1,4E-05
52	31.45500.WS	1,6E-06	-	4,5E-06		-	-	-	-	5,8E-06
53	31.47060.WS	2,9E-06	-	1,2E-06		-	-	-	-	4,0E-06
54	31.47770.WS	2,0E-06	-	7,6E-08		-	-	-	-	2,1E-06
55	31.48310.WS	1,6E-06	-	2,2E-04		-	-	-	-	2,2E-04
K1	VNK.31.02.001	-	-	-		-	-	-	2,3E-06	2,3E-06
K2	VNK.31.02.002	-	-	-		-	-	-	1,6E-09	1,6E-09
K3	VNK.31.02.003	-	-	-		-	-	1,5E-05	-	1,5E-05
K4	VNK.31.02.004	-	-	-		-	-	-	7,8E-10	7,8E-10
Faalkans op ringniveau		6,9E-05	7,8E-04	6,2E-02		-	-	1,5E-05	2,3E-06	6,3E-02

Bijlage E Overstromingsscenario's

In Tabel E.1 is een overzicht gegeven van de 50 meest waarschijnlijke overstromingsscenario's. In Tabel E.2 is voor de 50 meest waarschijnlijke overstromingsscenario's de jaarlijkse kans gegeven, de procentuele bijdrage aan de som van de scenariokansen (overstromingskans) en het aantal doorbraken die horen bij het overstromingsscenario.

Tabel E.1: Overzicht scenario's op volgorde van scenariokans

Nr.	Falend ringdeel (gemarkeerd met "x")																				aantal doorbraken			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	n	
1																						x		1
2																							x	1
3																						x	x	2
4																					x			1
5																					x	x		2
6																				x		x		2
7																				x				1
8																					x	x	x	3
9																				x		x	x	3
10																					x		x	2
11																				x	x	x	x	4
12																				x			x	2
13																				x	x	x		3
14																				x				1
15																					x			2
16																				x	x			2
17																				x	x		x	3
18		x																						1
19																				x		x	x	3
20									x															1
21														x										1
22														x								x		2
23																				x			x	2
24	x																							1
25																				x		x	x	3
26																				x		x	x	4
27														x								x	x	3
28																				x	x		x	3
29														x									x	2
30																				x				1
31																				x		x		2
32					x																			1
33							x																	1
34																				x	x	x	x	4
35														x							x	x		3
36																				x		x		2
37																				x		x	x	3
38						x																		1
39																				x	x		x	3
40																				x	x			2

Nr.	Falend ringdeel (gemarkeerd met "x")																				aantal doorbraken			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	n	
41									x														1	
42														x						x	x	x	4	
43														x					x		x		3	
44				x																			1	
45																		x	x	x			3	
46																		x	x		x	x	4	
47			x																				1	
48														x						x			2	
49																	x				x	x	3	
50														x					x	x	x		4	

Tabel E.2: Scenariokansen voor de 50 scenario's met de grootste kansen

Nr.	scenariokans (per jaar)	bijdrage aan som scenariokansen	aantal doorbraken (n)
1	3,44E-02	54,76%	1
2	1,03E-02	16,33%	1
3	5,54E-03	8,82%	2
4	1,94E-03	3,09%	1
5	1,86E-03	2,96%	2
6	1,34E-03	2,13%	2
7	1,25E-03	1,99%	1
8	1,14E-03	1,82%	3
9	8,25E-04	1,31%	3
10	4,85E-04	0,77%	2
11	4,57E-04	0,73%	4
12	4,14E-04	0,66%	2
13	3,67E-04	0,58%	3
14	2,78E-04	0,44%	1
15	2,28E-04	0,36%	2
16	2,04E-04	0,33%	2
17	1,52E-04	0,24%	3
18	1,26E-04	0,20%	1
19	1,07E-04	0,17%	3
20	1,03E-04	0,16%	1
21	1,03E-04	0,16%	1
22	7,38E-05	0,12%	2
23	6,87E-05	0,11%	2
24	4,69E-05	0,07%	1
25	4,66E-05	0,07%	3
26	4,62E-05	0,07%	4
27	3,53E-05	0,06%	4
28	3,37E-05	0,05%	3
29	3,32E-05	0,05%	3
30	2,19E-05	0,03%	2
31	2,13E-05	0,03%	1
32	2,08E-05	0,03%	2
33	1,89E-05	0,03%	1
34	1,85E-05	0,03%	1
35	1,76E-05	0,03%	4

Nr.	scenariokans (per jaar)	bijdrage aan som scenariokansen	aantal doorbraken (n)
36	1,66E-05	0,03%	3
37	1,64E-05	0,03%	2
38	1,62E-05	0,03%	3
39	1,62E-05	0,03%	1
40	1,56E-05	0,02%	3
41	1,56E-05	0,02%	4
42	1,50E-05	0,02%	2
43	1,35E-05	0,02%	1
44	1,14E-05	0,02%	3
45	1,14E-05	0,02%	1
46	1,02E-05	0,02%	3
47	8,19E-06	0,01%	1
48	7,96E-06	0,01%	2
49	7,75E-06	0,01%	3
50	6,33E-06	0,01%	4
som	6,22E-02	99,13%	

Bijlage F Kansen en gevolgen per scenario

In Tabel F.1 is een overzicht opgenomen van de kansen en gevolgen per scenario. In de naamgeving van de OM/SSM-berekeningen zijn de nummers van de falende ringdelen opgenomen: zo hoort berekening 0102 bij een tweevoudige doorbraak waarbij ringelen 01 en 02 falen.

Tabel F.1 Scenariokansen en gevolgen

nr.	OM/SSM berekening	Scenariokansen (per jaar)	Onverwacht, geen evacuatie		Onverwacht, ongeorganiseerde evacuatie		Verwacht, ongeorganiseerde evacuatie		Verwacht, georganiseerde evacuatie	
			Econ. schade (M€)	Aantal slachtoffers	Econ. schade (M€)	Aantal slachtoffers	Econ. schade (M€)	Aantal slachtoffers	Econ. schade (M€)	Aantal slachtoffers
1	22	3,4E-02	209	600	130	597	104	596	58	594
2	23	1,0E-02	27	343	17	342	14	341	8	340
3	2223	5,5E-03	272	871	169	865	136	864	76	861
4	21	1,9E-03	11	161	7	161	6	161	3	160
5	2122	1,9E-03	316	672	196	668	158	667	89	665
6	2022	1,3E-03	332	791	206	787	166	785	93	783
7	20	1,2E-03	139	610	86	607	70	605	39	603
8	212223	1,1E-03	371	928	230	923	185	921	104	918
9	202223	8,3E-04	443	1.146	275	1.140	221	1.138	124	1.134
10	2123	4,9E-04	40	486	25	484	20	484	11	483
11	20212223	4,6E-04	443	1.146	275	1.140	222	1.138	124	1.134
12	2023	4,1E-04	213	898	132	893	106	892	60	889
13	202122	3,7E-04	332	792	206	788	166	786	93	784
14	19	2,8E-04	71	117	44	117	35	117	20	117
15	1922	2,3E-04	280	717	174	713	140	712	78	709
16	2021	2,0E-04	242	706	150	702	121	701	68	699
17	202123	1,5E-04	307	980	190	974	153	972	86	969

nr.	OM/SSM berekening	Scenariokans (per jaar)	Onverwacht, geen evacuatie		Onverwacht, ongeorganiseerde evacuatie		Verwacht, ongeorganiseerde evacuatie		Verwacht, georganiseerde evacuatie	
			Econ. schade (M€)	Aantal slachtoffers	Econ. schade (M€)	Aantal slachtoffers	Econ. schade (M€)	Aantal slachtoffers	Econ. schade (M€)	Aantal slachtoffers
18	02	1,3E-04	48	549	30	547	24	547	13	545
19	192223	1,1E-04	343	987	213	982	171	980	96	977
20	09	1,0E-04	24	309	15	308	12	308	7	307
21	15	1,0E-04	12	187	7	186	6	186	3	185
22	1522	7,4E-05	220	781	136	777	110	775	62	773
23	1923	6,9E-05	98	460	61	459	49	458	27	457
24	01	4,7E-05	36	376	23	375	18	374	10	373
25	192122	4,7E-05	387	789	240	785	194	783	108	781
26	19212223	4,6E-05	442	1.045	274	1.039	221	1.037	124	1.034
27	19202223	3,5E-05	514	1.262	319	1.255	257	1.253	144	1.250
28	152223	3,4E-05	283	1.049	175	1.044	142	1.042	79	1.038
29	192022	3,3E-05	403	907	250	903	202	901	113	898
30	1523	2,2E-05	38	522	24	520	19	519	11	518
31	18	2,1E-05	22	197	13	196	11	196	6	195
32	1921	2,1E-05	82	279	51	278	41	278	23	277
33	05	1,9E-05	259	738	161	735	130	734	73	732
34	07	1,8E-05	4	92	2	92	2	91	1	91
35	19202122	1,8E-05	404	909	250	904	202	902	113	899
36	152122	1,7E-05	327	853	203	848	164	847	92	844
37	1822	1,6E-05	340	675	211	671	170	669	95	667
38	192123	1,6E-05	111	604	69	601	55	601	31	599
39	06	1,6E-05	53	484	33	481	26	481	15	479
40	192023	1,6E-05	284	1.015	176	1.010	142	1.008	79	1.005
41	15212223	1,6E-05	382	1.107	237	1.101	191	1.099	107	1.096

nr.	OM/SSM berekening	Scenariokans (per jaar)	Onverwacht, geen evacuatie		Onverwacht, ongeorganiseerde evacuatie		Verwacht, ongeorganiseerde evacuatie		Verwacht, georganiseerde evacuatie	
			Econ. schade (M€)	Aantal slachtoffers	Econ. schade (M€)	Aantal slachtoffers	Econ. schade (M€)	Aantal slachtoffers	Econ. schade (M€)	Aantal slachtoffers
42	1920	1,5E-05	210	727	130	723	105	722	59	719
43	1011	1,4E-05	18	256	11	255	9	255	5	254
44	152022	1,1E-05	343	972	213	966	171	965	96	962
45	04	1,1E-05	31	309	19	308	16	308	9	307
46	192021	1,0E-05	313	823	194	819	156	817	88	815
47	03	8,2E-06	487	797	302	793	244	792	136	790
48	1521	8,0E-06	22	342	14	341	11	341	6	340
49	182223	7,8E-06	394	932	245	926	197	925	110	922
50	15202122	6,3E-06	343	973	213	968	172	966	96	963

Bijlage G Colofon

Uitgegeven door

Rijkswaterstaat Waterdienst
Projectbureau VNK2
Postbus 17
8200 AA Lelystad
T. 0320 298411

Betrokken beheerder

Waterschap Scheldestromen
Contactpersoon: H. van der Sande

Betrokken Provincie

Provincie Zeeland
Contactpersoon: Y. Peddemors

Projectteam dijkkring 31

Projectleider:
P.J. Bart (Oranjewoud)

Begeleiding vanuit het projectbureau:
B. Maaskant (projectbureau VNK2)

Schematisatieteam:

J.W. Bardoel (Oranjewoud)
J.C. Bossenbroek (Oranjewoud)
J.B. de Hoop (Oranjewoud)
E. Schaap (Oranjewoud)

Kwaliteitsborging

Het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) heeft een bijdrage geleverd aan de kwaliteitsborging van dit project.