
Veiligheid Nederland in Kaart 2

Overstromingsrisico dijkkringgebied 29, Walcheren

Documenttitel	Veiligheid Nederland in Kaart 2 Overstromingsrisico dijkkringgebied 29, Walcheren
Document	HB 2585116
Status	Definitief
Datum	Oktober 2014
Auteur	J.C. Bossenbroek (Antea Group) J.W. Bardoel (Antea Group)
Opdrachtnemer	Rijkswaterstaat WVL
Uitgevoerd door	Consortium DOT (combinatie van Antea Group, RHDHV, Tauw)
Opdrachtgevers	Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Unie van Waterschappen en Interprovinciaal Overleg

Voorwoord

Het project Veiligheid Nederland in Kaart (VНК2) analyseert voor 58 dijkkringgebieden het overstromingsrisico, uitgedrukt in economische schade en aantallen slachtoffers. In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van de uitgevoerde risicoanalyse voor de categorie a-keringen van dijkkringgebied 29, Walcheren. Het detailniveau van de analyses is afgestemd op de primaire doelstelling van VНК2: het verschaffen van een beeld van het overstromingsrisico.

Hoewel dit rapport een beeld geeft van de veiligheid van dijkkringgebied 29, dient het niet te worden verward met een toetsrapport in het kader van de Waterwet. De in VНК2 berekende overstromingskansen laten zich niet zonder meer vergelijken met de wettelijk vastgelegde overschrijdingskansen van de waterstanden die de primaire keringen veilig moeten kunnen keren.

Bij het tot stand komen van de resultaten spelen de provincies en de beheerders een belangrijke rol. De provincie Zeeland heeft 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 als extern getoetst. Ten slotte heeft het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) de kwaliteit van de analyses en rapportages steekproefsgewijs gecontroleerd.

Met de inzichten van VНК2 kunnen gericht maatregelen worden getroffen om Nederland kostenefficiënt te beschermen tegen overstromingen. Op basis van de resultaten kunnen voorstellen voor maatregelen in de meerlaagsveiligheid onderling worden afgewogen, kunnen versterkingsmaatregelen uit het hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) worden geprioriteerd, aanvullende gegevens gericht worden ingewonnen en middelen en menskracht tijdens hoogwatersituaties optimaler worden ingezet. Ten slotte vormen de resultaten van VНК2 input voor het Deltaprogramma en de nieuwe normering.

VНК2 is een initiatief van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, de Unie van Waterschappen en het Interprovinciaal Overleg, uitgevoerd door Rijkswaterstaat WVL in nauwe samenwerking met waterkeringbeheerders, provincies, kennisinstituten en ingenieursbureaus.

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

Niels Roode
Projectmanager VНК2, Rijkswaterstaat WVL

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	1
Technische samenvatting	5
1 Inleiding	15
1.1 Aanleiding project Veiligheid van Nederland in Kaart	15
1.2 Projectopdracht Veiligheid van Nederland in Kaart	15
1.3 Overschrijdingskansen en overstromingskansen	16
1.4 Rekenmethode VNK2	16
1.5 Leeswijzer	19
2 Gebiedsbeschrijving en schematisatie	21
2.1 Beschrijving dijkkringgebied 29, Walcheren	21
2.1.1 Gebiedsbeschrijving	21
2.1.2 Beheerder	22
2.1.3 De primaire waterkering	22
2.2 Ontstaansgeschiedenis	23
2.3 Recente geschiedenis: bedreigingen en versterkingen	24
2.3.1 Overstromingen in Zeeland	24
2.3.2 Tweede Wereldoorlog	25
2.3.3 De Watersnood 1953	26
2.4 Recente geschiedenis: versterkingen	28
2.4.1 Deltawerken	28
2.4.2 Zwakke Schakels	29
2.4.3 Projectbureau Zeeweringen	29
2.5 Vakindeling categorie a-kering	29
2.5.1 Vakindeling dijken	30
2.5.2 Vakindeling duinen	30
2.5.3 Overzicht vakindeling	31
2.6 Kunstwerken	31
3 Overstromingskans	33
3.1 Aanpak en uitgangspunten	33
3.2 Bijzonderheden specifiek voor dijkkring	33
3.2.1 Parapetconstructie boulevard Vlissingen	33
3.2.2 Sloehavengebied	34
3.3 Beschouwde faalmechanismen	35
3.3.1 Faalmechanismen dijken	35
3.3.2 Faalmechanismen duinen	35
3.3.3 Faalmechanismen kunstwerken	36
3.4 Niet beschouwde faalmechanismen	37
3.5 Berekende overstromingskansen	37
3.5.1 Overstromingskansen en faalkansen per faalmechanisme	37
3.5.2 Faalkansen dijken	39
3.5.3 Overzicht faalkansen dijken en duinen	43
3.5.4 Faalkansen kunstwerken	44

3.6	Dominante vakken en faalmechanismen	45
4	De gevolgen van overstromingen per ringdeel	47
4.1	Aanpak en uitgangspunten	47
4.1.1	Algemeen	47
4.1.2	Ringdelen	49
4.1.3	Verhoogde lijnelementen	49
4.1.4	Evacuatie	50
4.1.5	Randvoorwaarden	51
4.2	Resultaten overstromingsberekeningen per ringdeel	52
4.2.1	Ringdelen Noordzee	52
4.3	Ringdelen Westerschelde	60
4.4	Overzicht resultaten overstromingsberekeningen	63
5	Overstromingsscenario's en scenariokansen	67
5.1	Definitie overstromingsscenario's	67
5.1.1	Aanpak	67
5.1.2	Verandering hydraulische belasting bij falen: geen ontlasten	67
5.1.3	Aantal scenario's	68
5.2	Berekende scenariokansen	68
5.3	De gevolgen van overstromingen voor een selectie van scenario's	70
5.3.1	De meest waarschijnlijke enkelvoudige doorbraak	70
5.3.2	De meest waarschijnlijke tweevoudige doorbraak	70
5.3.3	De meest waarschijnlijke drievoudige doorbraak	71
6	Overstromingsrisico	73
6.1	Aanpak berekening overstromingsrisico	73
6.2	Overstromingsrisico	74
6.2.1	Economisch risico	74
6.2.2	Ruimtelijke verdeling verwachtingswaarde economische schade	74
6.2.3	Schadefunctie (FS-curve)	75
6.2.4	Slachtofferisico	75
6.2.5	Groepsrisico (FN-curve)	78
7	Gevoeligheidsanalyses	79
7.1	Aanpak gevoeligheidsanalyse	79
7.2	Gevoeligheidsanalyse op kansniveau	79
7.2.1	Analyse I: Overstromingskans na gerichte maatregelen (hele dijkkring)	79
7.2.2	Analyse II: Overstromingskans na gerichte maatregelen (normtrajecten)	81
7.3	Gevoeligheidsanalyse op risiconiveau	84
7.3.1	Analyse III: Overstromingsrisico na gerichte maatregelen	84
7.3.2	Analyse IV: Gevoeligheidsberekening lokaal individueel risico (LIR)	87
8	Conclusies en aanbevelingen	89
8.1	Conclusies	89
8.1.1	De kans op een overstroming in dijkkringgebied 29	89
8.1.2	De gevolgen van overstromingen in dijkkringgebied 29	90

8.1.3	Het overstromingsrisico in dijkringgebied 29	90
8.2	Aanbevelingen	91

Managementsamenvatting

Wat is VNK2?

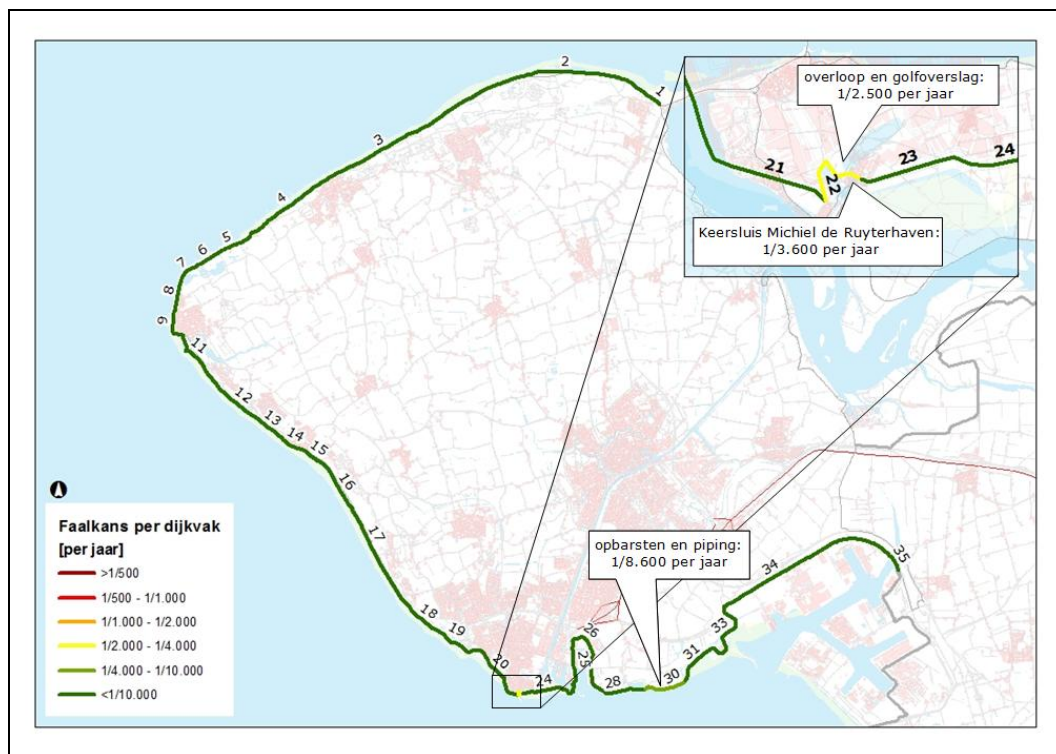
Veiligheid Nederland in Kaart 2 (VNK2) is het project dat overstromingsrisico's in Nederland in kaart brengt. De rekenmethode van VNK2 maakt het mogelijk overstromingskansen te berekenen. Door het combineren van doorbraakkansen, overstromingswijzen en gegevens omtrent bewoning en bedrijvigheid (de gevolgen), kan een beeld worden gegeven van het overstromingsrisico. Met een goed beeld van het overstromingsrisico en de effectiviteit van de maatregelen kunnen beter onderbouwde keuzes worden gemaakt ten aanzien van investeringen in de waterveiligheid. Voor u ligt de rapportage van de analyse van dijkkringgebied 29, *Walcheren*.

Resultaten

VNK2 geeft een beeld van de overstromingskansen, gevolgen en risico's voor een dijkkringgebied. De veiligheidsbenadering in VNK2 is daarmee anders dan die in de toetsing in het kader van de Waterwet. De in VNK2 berekende overstromingskansen laten zich niet zonder meer vergelijken met de wettelijk vastgelegde overschrijdingskansen van de waterstanden die de primaire keringen veilig moeten kunnen keren (zie paragraaf 1.3). VNK2 geeft een schatting van de overstromingskans van het dijkkringgebied. Een ander verschil met de toetsing is dat in VNK2 ook de economische schade en slachtoffers door overstroming en de bijbehorende risico's in beeld worden gebracht.

Overstromingskansen

De totale overstromingskans van de dijkkring bedraagt 1/1.000 per jaar. De dijkvakken en kunstwerken die het meest bijdragen aan de overstromingskansen liggen aan de zuidzijde van de dijkkring nabij Vlissingen. In Figuur 1 zijn de dijkvakken en kunstwerken die het meest bijdragen aan de overstromingskansen weergegeven.

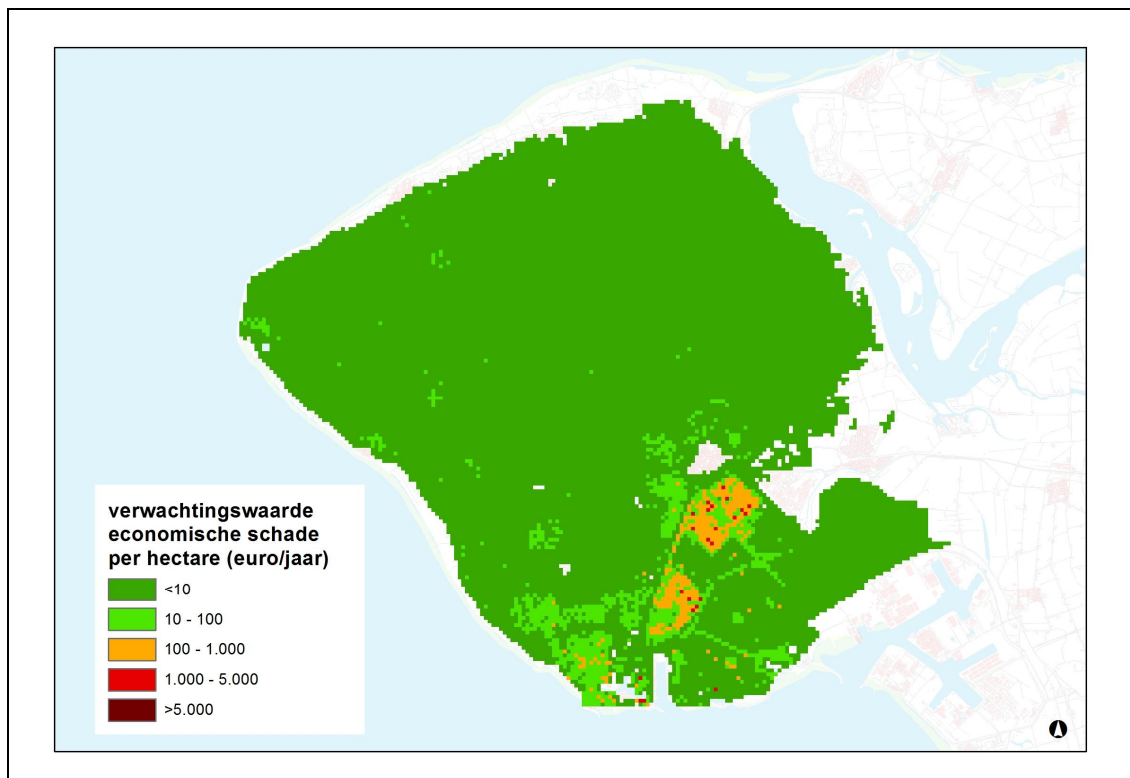


Figuur 1: Resultaat faalkansberekening

De resultaten van de overstromingskansberekeningen komen goed overeen met de resultaten van de 3^e toetsronde. Het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* is bij dijkkring 29 het dominante faalmechanisme. Het dijkvak met de grootste bijdrage aan de overstromingskans is in de toetsing afgekeurd op hoogte. De bijdrage van de overige faalmechanismen aan de overstromingskans komt eveneens sterk overeen met de resultaten van de toetsing.

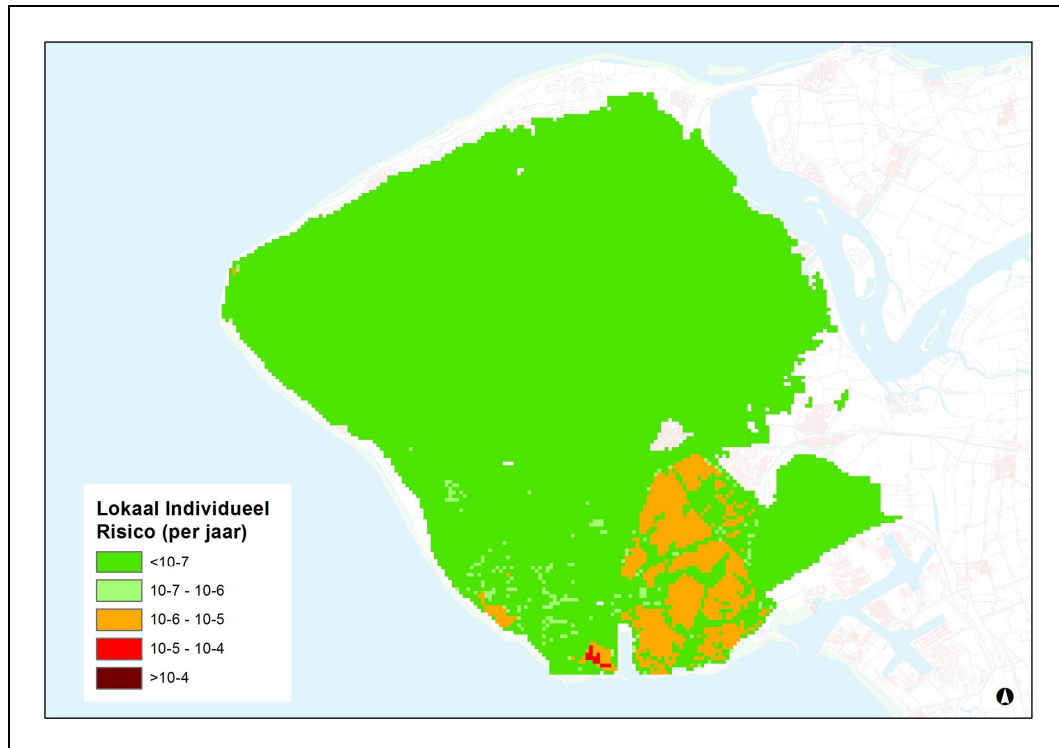
Overstromingsrisico

Het overstromingsrisico wordt uitgedrukt in verschillende risicomaten. Eén daarvan is de ruimtelijke verdeling van de verwachtingswaarde van de schade in het dijkkringgebied. Deze is weergegeven in Figuur 2. De verwachtingswaarde van de schade wordt, zoals verwacht, vooral gevonden in de woonkernen Middelburg en Vlissingen.



Figuur 2: Ruimtelijke verdeling van economische schade

Het Lokaal Individueel Risico (LIR) is vrijwel overal kleiner dan 1/100.000 per jaar (zie Figuur 3). Alleen aan de zuidzijde rondom Vlissingen zijn enkele kleine gebieden waar het lokaal individueel risico lokaal groter dan 1/100.000 per jaar is.



Figuur 3: Lokaal Individueel Risico

De overstromingskans kan worden gereduceerd door het verbeteren van de slechtste vakken. Wanneer de drie slechtste vakken/kunstwerken worden verbeterd verkleint de overstromingskans tot 1/4.300 per jaar. Het lokaal individueel risico is dan overal kleiner dan 1/100.000 per jaar.

Technische samenvatting

Dit rapport beschrijft de resultaten van de risicoanalyse die is verricht voor dijkkringgebied 29, *Walcheren* in het kader van het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK2). In deze technische samenvatting worden de berekeningsresultaten besproken en wordt op hoofdlijnen beschreven op welke uitgangspunten en aannamen deze resultaten berusten. De analyse door VNK2 omvat de volgende stappen:

De schematisatie van de dijkkring

De primaire waterkering van de dijkkring bestaat uit een aaneengesloten stelsel van dijken, duinen en kunstwerken. De primaire waterkering van dijkkringgebied 29 bestaat uit waterkeringen die behoren tot verschillende categorieën. De dijken langs het Veerse Meer en de scheidingsdijk met dijkkring 30 betreffen categorie c-keringen. De overige waterkeringen van de dijkkring zijn categorie a-keringen. In het voorliggende rapport zijn alleen de waterkeringen beschouwd die behoren tot categorie a-keringen

Een overzicht van de vakindeling voor en de kunstwerken in de categorie a-kering is gegeven in Tabel 1.

Dijken	Totale lengte	24,6 km
	Aantal dijkvakken	24
	Gemiddelde lengte dijkvak	1,0 km
Duinen	Totale lengte	22,9 km
	Aantal duinvakken	11
	Gemiddelde lengte duinvak	2,1 km
Kunstwerken	Totaal aantal kunstwerken	11
	Aantal beschouwde kunstwerken	5

Tabel 1: De vakindeling van dijkkring 29

De berekening van faalkansen

Elk dijkvak en kunstwerk is beschouwd. Echter niet van alle faalmechanismen en kunstwerken zijn de faalkansen berekend en/of zijn de berekende faalkansen meegenomen bij de bepaling van de overstromingskans. Een overzicht van de voor de berekening van de overstromingskans, de beschouwde faalmechanismen, vakken en kunstwerken is opgenomen in bijlage D.

Type waterkering	Faalmechanisme	Aantal vakken/kunstwerken
Dijken	Overloop en golfoverslag	24
	Opbarsten en piping	7
	Macrostabiliteit binnenwaarts	4
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	-
Duinen	Duinafslag	11
Kunstwerken	Overslag/overloop	4
	Betrouwbaarheid sluiting	5
	Onder- en achterloopsheid	4
	Sterkte en stabiliteit	4

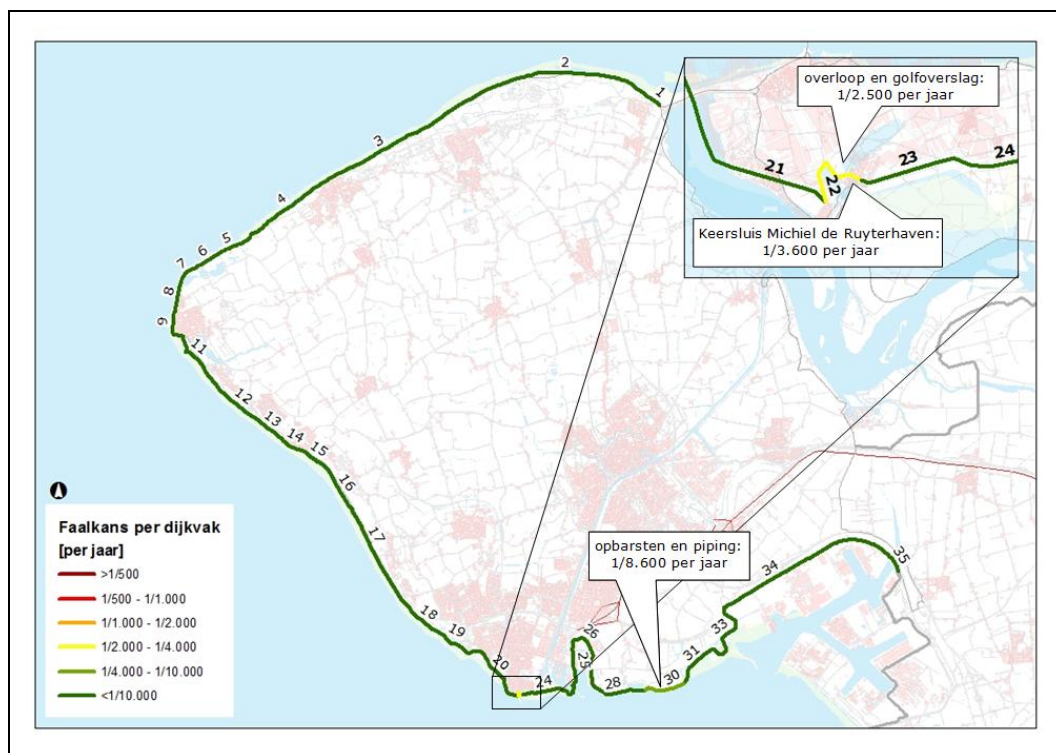
Tabel 2: Beschouwde faalmechanismen en het aantal nader beschouwde vakken / kunstwerken

De overstromingskans wordt met name bepaald door het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* en de gecombineerde bijdrage van de kunstwerken. Beiden bepalen circa 40% van de totale overstromingskans. Daarnaast levert het faalmechanisme *opbarsten en piping* ook nog een aanzienlijke bijdrage van circa 20%. Het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts heeft een kleine bijdrage aan de faalkans van de dijkkring (circa 1%). De faalkansbijdrage van het faalmechanisme *duinafslag* is verwaarloosbaar klein.

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)
Dijk	Overloop en golfoverslag	1/2.300
	Opbarsten en piping	1/5.300
	Macrostabiliteit binnenwaarts	1/140.000
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	-
Duinen	Duinafslag	1/250.000
Kunstwerk	Overslag/overloop	1/3.800
	Betrouwbaarheid sluiting	1/9.200
	Onder- en achterloopsheid	<1/1.000.000
	Sterkte en stabiliteit	1/110.000
Overstromingskans		1/1.000

Tabel 3: Berekende faalkansen per faalmechanisme

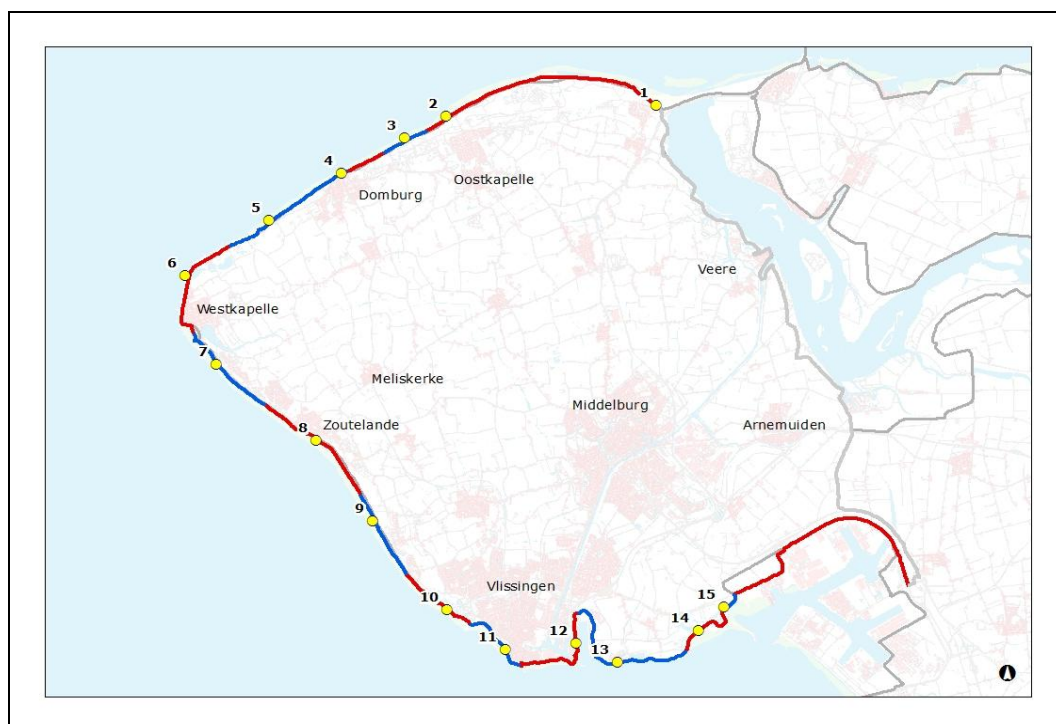
De dijkvakken die het meest bijdragen aan de overstromingskans liggen aan de zuidzijde van de dijkkring nabij Vlissingen. De locatie van de dominante vakken is goed verklaarbaar vanuit de geometrie van de dijk. Deze vakken zijn ook in de toetsing als zwakste dijkvakken naar voren gekomen en zijn volgens de beheerder de slechtste dijkvakken van de dijkkring. De meeste dijkvakken nabij Vlissingen hebben in de toetsing voor hoogte het oordeel voldoende gekregen en enkele dijkvakken het oordeel onvoldoende. Voor macrostabiliteit binnenwaarts hebben een aantal dijkvakken rond Vlissingen het oordeel voldoende gekregen. Het beeld dat is verkregen uit de resultaten van de toetsing komt goed overeen met de resultaten van de overstromingskansberekeningen. In Figuur 4 is een overzicht gegeven van de berekende faalkansen voor de dijk- en duinvakken.



Figuur 4: Resultaat faalkansberekening

De berekening van scenariokansen

Bij het berekenen van de scenariokansen is uitgegaan van 16 ringdelen (en dus 16 mogelijke doorbraaklocaties), 11 ringdelen langs de Noordzee en 5 ringdelen langs de Westerschelde. Bij de risicoberekening is er van uitgegaan dat na een doorbraak de hydraulische belastingen niet afnemen. In Figuur 5 is een overzicht opgenomen van de ligging van de verschillende ringdelen.



Figuur 5: Ringdelen dijkkring 29

De berekening van de gevolgen

Per breslocatie zijn overstromingsberekeningen uitgevoerd voor verschillende belastingcondities: toetspeil minus 1 decimeteringhoogte (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) samengesteld op basis van de overstromingsberekeningen voor de enkelvoudige doorbraken.

De grootste economische schade bij de 50 beschouwde scenario's bedraagt circa 3,4 miljard euro, het grootste aantal slachtoffers bedraagt 11.200 in de situatie zonder evacuatie.

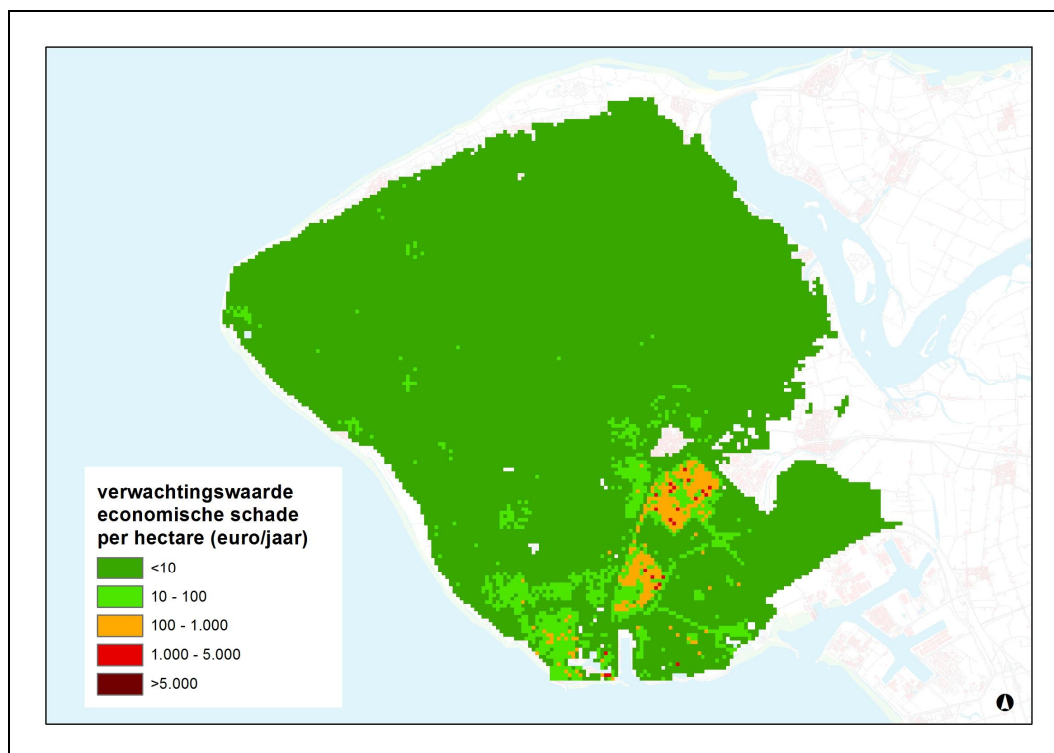
Het combineren van de scenariokansen en de gevolgen

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

De berekening van het overstromingsrisico

Schaderisico

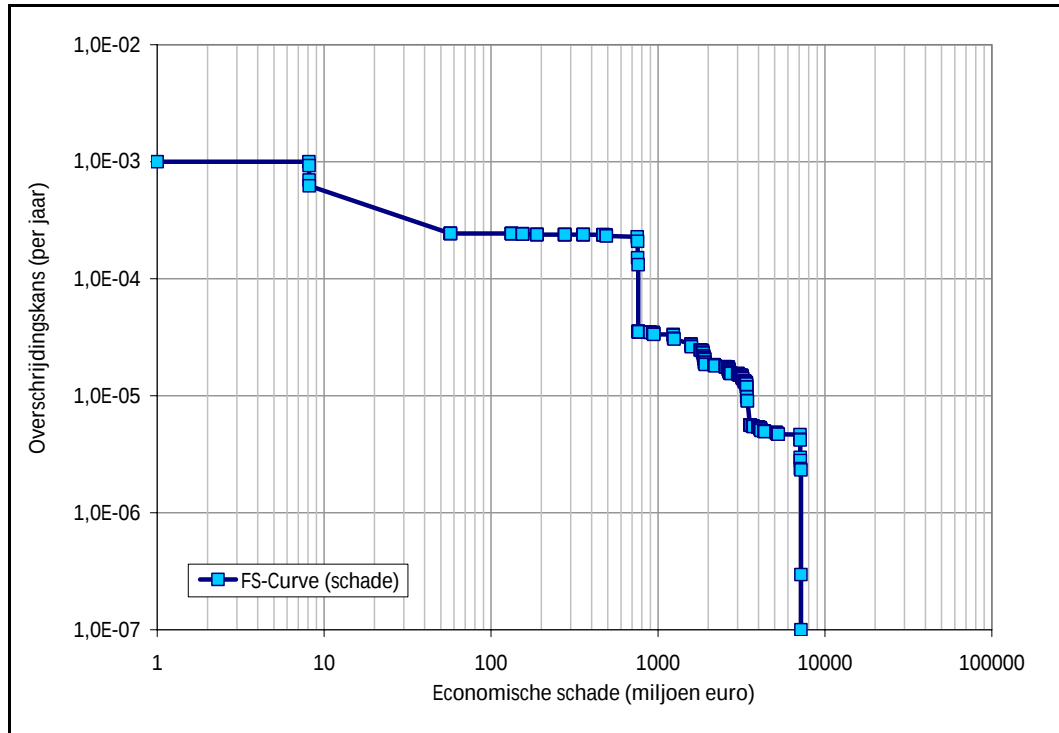
De verwachtingswaarde van de economische schade bedraagt 0,2 miljoen euro per jaar. In Figuur 6 is de verdeling van de economische schade over het dijkkringgebied weergegeven.



Figuur 6: Overschrijdingskansen van de economische schade

Schadefunctie (FS-curve)

In Figuur 7 zijn de kansen op overschrijding van bepaalde schadebedragen getoond. De kans op ten minste 1 miljard euro schade is ongeveer 1/41.000 per jaar. De maximale schade die in Figuur 7 is getoond bedraagt ongeveer 6,5 miljard euro. De kans op een grotere economische schade is verwaarloosbaar klein.



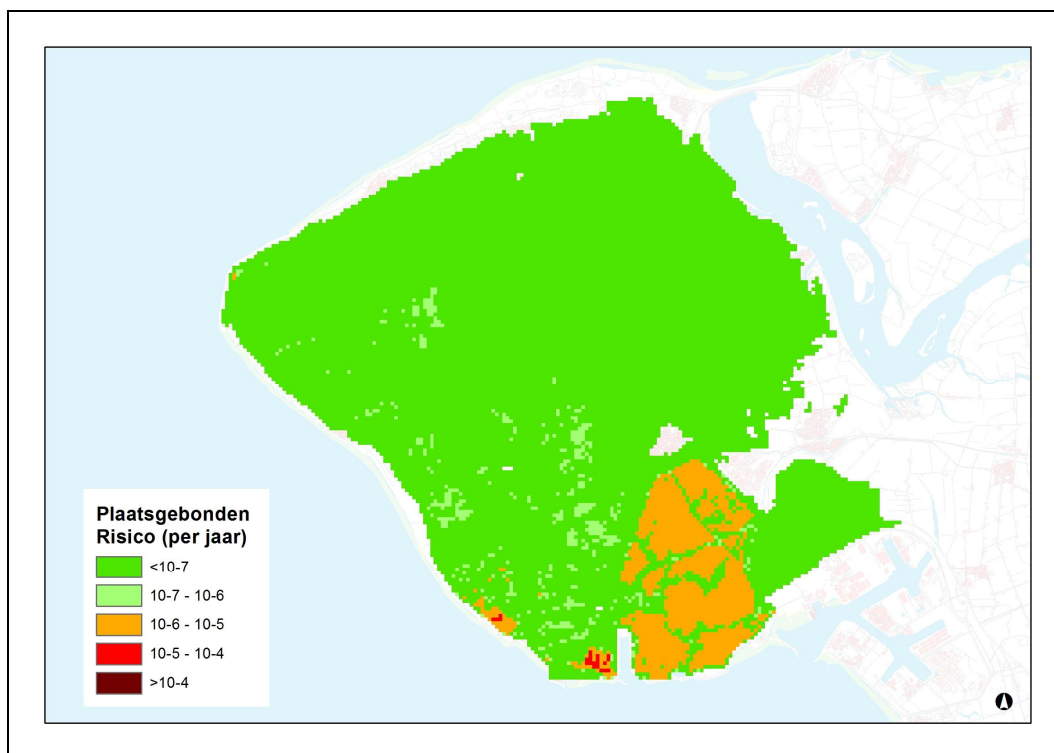
Figuur 7: FS-curve

Slachtofferrisico, plaatsgebonden risico en het lokaal individueel risico

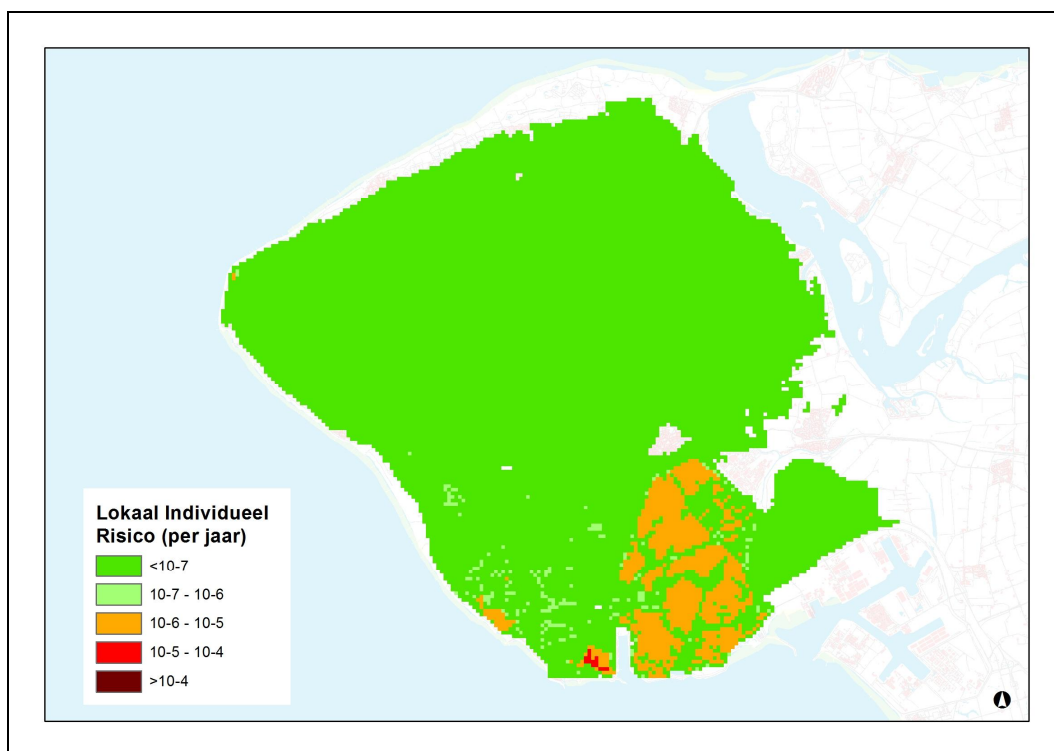
De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is voor dijkkring 29 gelijk aan 0,03 per jaar.

Het plaatsgebonden risico is de kans dat een onbeschermd persoon die zich gedurende een jaar continu op dezelfde plek bevindt, 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 8 is het plaatsgebonden risico (PR) getoond, in Figuur 9 het lokaal individueel risico (LIR). Het LIR en het PR zijn vrijwel overal kleiner dan 1/100.000 per jaar. Alleen aan de zuidzijde van het dijkkringgebied in een klein deel van Vlissingen is het LIR groter dan 1/100.000 per jaar. De rode vlekken in Figuur 8 en Figuur 9 worden veroorzaakt door de binnenwaartse plassen achter het Nollestrand en de binnenhaven van Vlissingen.

Uit Figuur 8 en Figuur 9 blijkt dat het PR en LIR qua ordegrrootte aan elkaar gelijk zijn. Dit is een gevolg van het feit dat de verwachtingswaarde van de evacuatiefractie 0,26 per overstroming is. Het verschil tussen LIR en PR bedraagt daarom slechts een factor $1/(1-0,26)=1,35$. Dit geringe verschil duidt erop dat het meenemen van de mogelijkheden voor evacuatie weinig effect heeft op de overlijdenskansen van individuen.



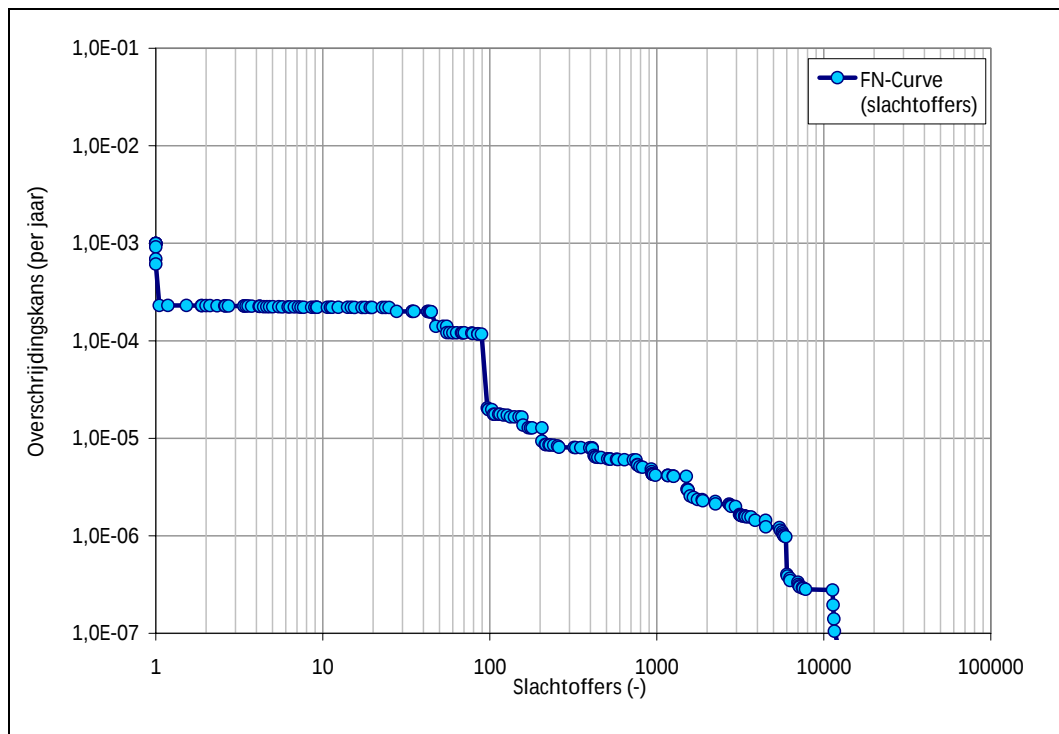
Figuur 8: Het plaatsgebonden risico (PR)



Figuur 9: Het lokaal individueel risico (LIR)

Groepsrisico (FN-curve)

Het groepsrisico geeft de kans op een ongeval met N of meer slachtoffers en wordt vaak weergegeven in een zogenaamde FN-curve (zie Figuur 10). In de berekening van het groepsrisico is het effect van evacuatie meegenomen. Figuur 10 toont dat de kans op een overstroming met meer dan 100 slachtoffers ongeveer 1/50.000 per jaar bedraagt. De kans op een overstroming met ten minste 1.000 slachtoffers bedraagt 1/240.000 per jaar. Voor de beschouwde overstromingsscenario's bedraagt het maximale aantal slachtoffers ongeveer 12.500. De kans op een groter aantal slachtoffers is verwaarloosbaar klein.



Figuur 10: FN-curve

Gevoeligheidsanalyses

De uitgevoerde gevoeligheidsanalyses geven inzicht in het effect van versterkingen, wijzigingen in de overstromingskans en het overstromingsrisico door uitgevoerde extra metingen of aanpassingen in het beheer. De gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd op dijkkringniveau. Er zijn twee gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op kansniveau (analyse I en II). Daarnaast zijn twee gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op risiconiveau (analyse III en IV).

De uitgevoerde gevoeligheidsanalyses geven de invloed weer van het verbeteren van individuele dijkvakken op de overstromingskans en het overstromingsrisico van het gehele dijkkringgebied. De volgende gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd:

- I. Overstromingskans dijkkring na gerichte maatregelen op basis van faalkansen;
- II. Overstromingskans normtraject na gerichte maatregelen op basis van faalkansen;
- III. Overstromingsrisico na gerichte maatregelen op basis van risico;
- IV. Gevoeligheidsanalyse lokaal individueel risico (LIR).

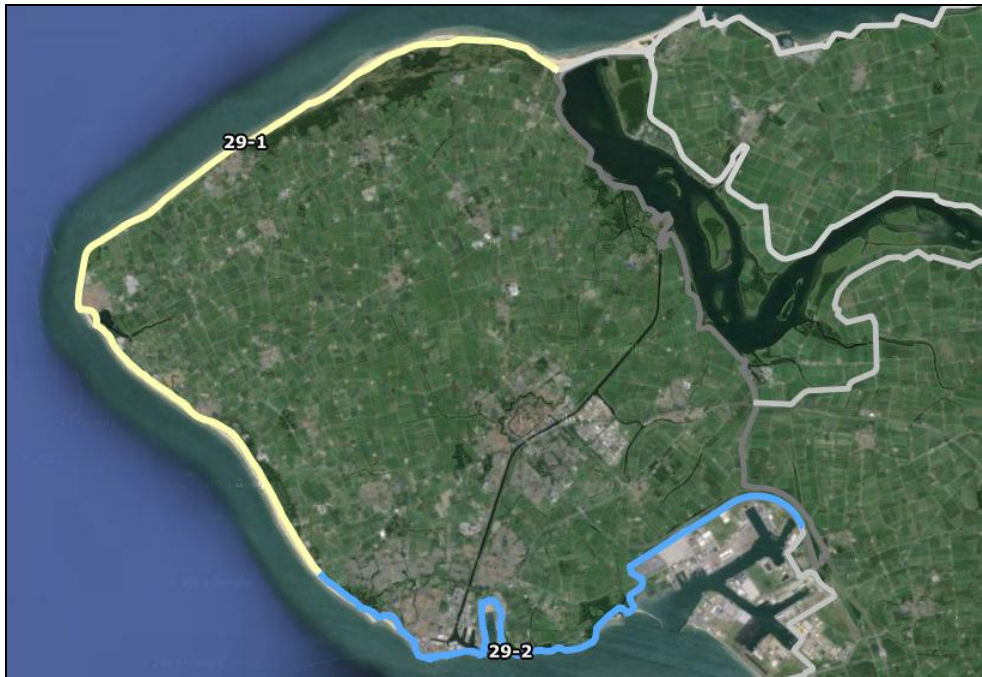
Uit de gevoeligheidsanalyses blijkt het volgende:

Gevoeligheidsanalyse I en III:

- Het meest effectief zijn maatregelen aan vakken en kunstwerken in ringdeel 12 (Buitenhaven-west) en ringdeel 13 (Buitenhaven-oost). Maatregelen in deze ringdelen leiden het meest effectief tot een reductie van zowel de overstromingskans als het overstromingsrisico.

Gevoeligheidsanalyse II:

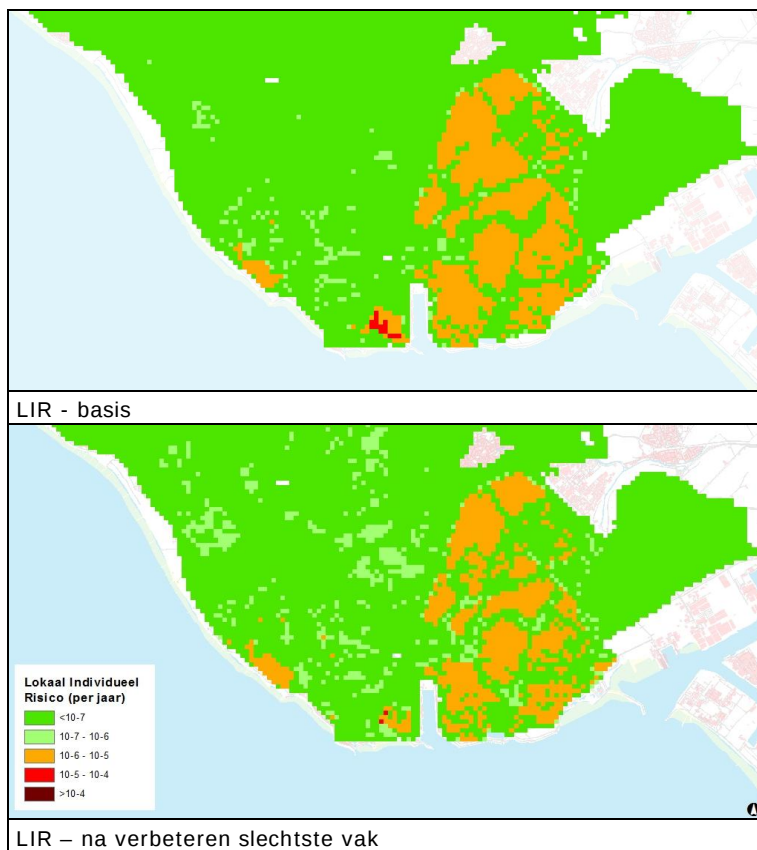
- Dijkkring 29 is opgedeeld in twee trajecten (29_1 en 29_2). De ligging van beide trajecten is weergegeven in Figuur 11. De voorgestelde overstromingskans op basis van MKBA en slachtofferrisicoanalyse is 1/10.000 voor traject 29_1 en 1/100.000 voor traject 29_2. De huidige berekende overstromingskans van het MKBA-traject 29_1 bedraagt 1/71.000 per jaar. De huidige berekende overstromingskans van MKBA-traject 29_2 bedraagt 1/1.000 per jaar. Na het verbeteren van de slechtste 10 dijkvakken en kunstwerken van dit traject is overstromingskans kleiner dan 1/30.000 per jaar. Na het verbeteren van de slechtste 20 dijkvakken en kunstwerken van dit traject is overstromingskans gelijk dan 1/70.000 per jaar.



Figuur 11: norm-trajecten

Gevoeligheidsanalyse IV:

- Na het verbeteren van het vak met de grootste faalkans neemt de overstromingskans en dus ook het risico sterk af. Het lokaal individueel risico is dan overal kleiner dan 1/100.000 per jaar (zie Figuur 12).



Figuur 12: Het lokaal individueel risico (LIR) voor en na verbeteren slechtste dijkvak

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 goed worden berekend. Tegenwoordig kan dat wel.

Door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), tegenwoordig Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) genaamd, 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 Veiligheid Nederland in Kaart (VНК1) uitgevoerd en zijn wederom verbeteringen in het instrumentarium doorgevoerd. In 2006 is vervolgens het project VНК2 van start gegaan. VНК2 brengt het overstromingsrisico in Nederland in beeld. De inzichten die zij daarbij opdoet zijn van grote waarde voor de bescherming van Nederland tegen overstromingen.

1.2 Projectopdracht Veiligheid van Nederland in Kaart

Het project VНК2 wordt uitgevoerd door RWS WVL in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, de Unie van Waterschappen (UvW) en het Interprovinciaal overleg (IPO). Voor de uitvoering van de feitelijke berekeningen is het Projectbureau VНК2 opgericht. Het Projectbureau werkt samen met waterschappen en provincies, en wordt daarbij ondersteund door ingenieursbureaus. De kennisinstituten van Nederland dragen bij aan de verdere methodiekontwikkeling en de operationalisering van het analyse-instrumentarium. Het ENW controleert steekproefsgewijs de kwaliteit van de analyses en rapportages.

Het project VНК2 berekent de kansen op en de gevolgen van overstromingen en berekent door beide te combineren het overstromingsrisico. 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 in Nederland 57 van dit type dijkkringen. Dijkkringen 23 (Biesbosch; wordt grotendeels ontpolderd) en 33 (Kreekrakpolder; uitsluitend categorie c-keringen) worden in VНК2 niet beschouwd. Daarnaast zijn er sinds de uitvoering van de Maaswerken 46 Maaskaden. Het project VНК2 voert een analyse uit voor 55 dijkkringgebieden en 3 Maaskaden. Binnen het project VНК2 worden alleen de categorie a-keringen kwantitatief geanalyseerd. De bijdrage aan de overstromingskansen en overstromingsrisico's van overige keringen (categorie b-, c- en d-keringen) worden alleen kwalitatief aangegeven.

VНК2 geeft inzicht in de betrouwbaarheid van de waterkeringen, identificeert de zwakke plekken, berekent het overstromingsrisico en geeft mogelijkheden aan om dit risico te verkleinen. VНК2 levert basisinformatie voor politiek-maatschappelijke afwegingen ten aanzien van investeringen in de waterveiligheid van Nederland.

1.3 Overschrijdingskansen en overstromingskansen

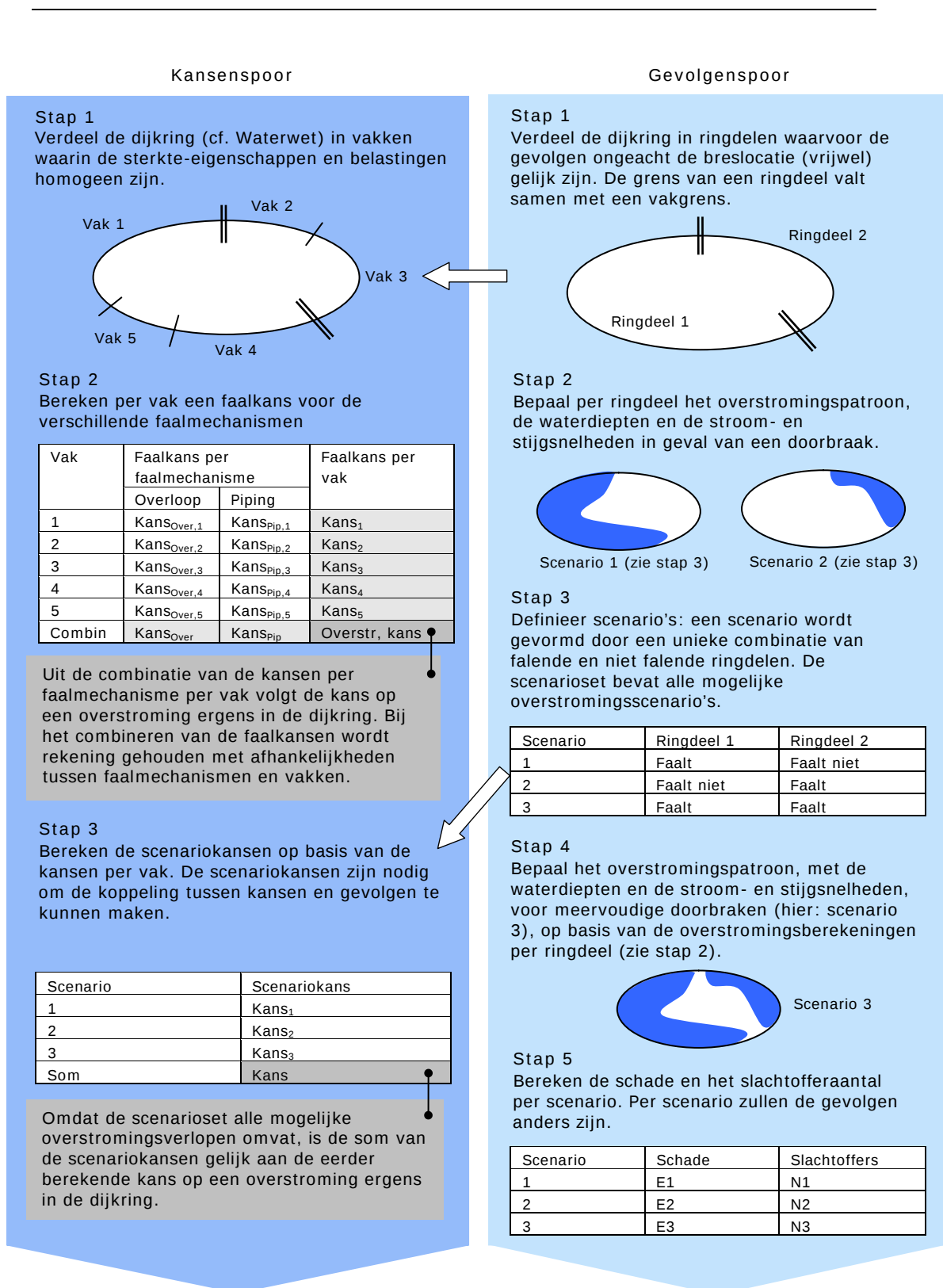
De huidige Nederlandse veiligheidsnormen zijn gedefinieerd als overschrijdingskansen. De waterstanden die horen bij deze overschrijdingskansen worden 'toetspeilen' genoemd. Deze waterstanden moeten de waterkeringen veilig kunnen keren, rekening houdend met alle factoren die het waterkerend vermogen beïnvloeden.

De wettelijk vastgelegde overschrijdingskansen zijn niet gelijk aan overstromingskansen. Een overstromingskans is de kans dat zich in een dijkkringgebied daadwerkelijk een overstroming voordoet. Er zijn verschillende redenen waarom de overschrijdingskansen uit de Waterwet niet gelijk zijn aan de overstromingskansen van dijkkringgebieden:

- Een overschrijdingskans uit de Waterwet is een normwaarde. 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*. De conditie van een waterkering kan afwijken van de norm, zowel in positieve als negatieve zin.
Een overstromingskans is de kans dat zich in een dijkkringgebied daadwerkelijk een overstroming voordoet. Een overstromingskans geeft dus een beeld van de conditie van de hele dijkkring.
- Een overschrijdingskans heeft alleen betrekking op de hydraulische belastingen (waterstanden).
Een overstromingskans heeft niet alleen betrekking op de hydraulische belasting, maar heeft ook een relatie met de sterkte-eigenschappen van het dijklichaam en de ondergrond. Voor de onzekerheden worden veiligheidsfactoren bij de berekening toegepast.
- Bij de toetsing in het kader van de Waterwet wordt per dijkvak berekend of een waterkering het toetspeil, behorend bij de overschrijdingskans, veilig kan keren. De overstromingskans heeft betrekking op de hele dijkkring. Bij het bepalen van een overstromingskans moeten de faalkansen van alle dijkvakken 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 VNK2 worden overstromingsrisico's berekend. Deze risico's worden bepaald door de kansen op de mogelijke overstromingsscenario'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 [1] en de achtergrondrapporten [2] en [3]. In Figuur 13 zijn de stappen die achtereenvolgens worden gezet om het overstromingsrisico te berekenen, schematisch weergegeven. In de daarop volgende tekst worden deze verder verduidelijkt.



Risicoberekening

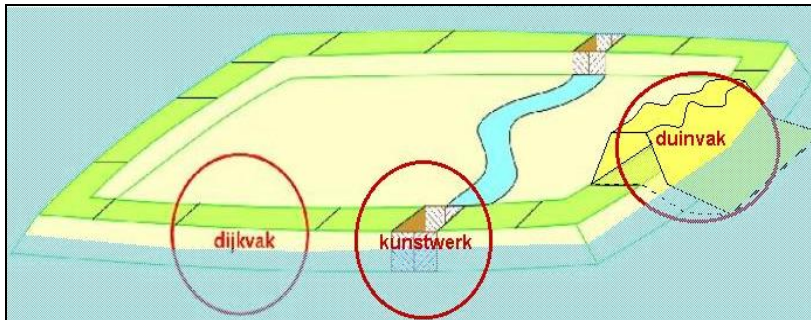
Bereken op basis van de scenariokansen en de gevolgen per scenario de verwachtingswaarden van de

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 slachtofferaantal

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

Figuur 13: 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 14). 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 faalmechanisme voor alle dijk-, duinvakken en kunstwerken.



Figuur 14: 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. In paragraaf 3.4 wordt een toelichting gegeven op de faalmechanismen die niet zijn meegenomen in de analyse.

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 situatie zal bezwijken. Anders gezegd: er is sprake van een kans dat de waterkering in dat geval bezwijkt. Onzekerheden ten aanzien van belastingen en sterkte-eigenschappen vormen dus de basis van de overstromingskansen. Zouden onzekerheden niet worden beschouwd dan is de kans dat een kering bezwijkt altijd nul of één.

Op basis van de berekende faalkansen per vak/kunstwerk en per faalmechanisme kan de kans worden berekend dat ergens een vak of kunstwerk faalt en een bres ontstaat.

Een overstroming kan ontstaan door één of meerdere bressen. Om het aantal mogelijke combinaties te beperken wordt een "ringdeel" geïntroduceerd. Een ringdeel is een deel van de dijkkring waarvoor geldt dat de gevolgen vrijwel onafhankelijk zijn van de locatie van de bres binnen dat ringdeel. Alle mogelijke combinaties van falende en niet falende ringdelen (overstromingsscenario's) vormen samen de scenario'set. Voor elk overstromingsscenario wordt de scenariokans berekend.

Door sommatie van alle scenariokansen wordt de overstromingskans berekend. Dit is de kans dat zich ergens in de dijkkring één of meerdere doorbraken voordoen.

Niet elke doorbraak heeft echter dezelfde gevolgen. Om het overstromingsrisico te bepalen is het nodig om voor alle mogelijke (combinaties van) doorbraken ook de gevolgen te bepalen.

Door de provincie Zeeland zijn onder begeleiding van VNK2 voor een aantal breslocaties en voor verschillende belastingsituaties overstromingsberekeningen gemaakt. Per overstromingsberekening zijn de gevolgen berekend in termen van economische schade en aantal te verwachten dodelijke slachtoffers. Daarbij zijn ook de (on-) mogelijkheden voor evacuatie meegenomen.

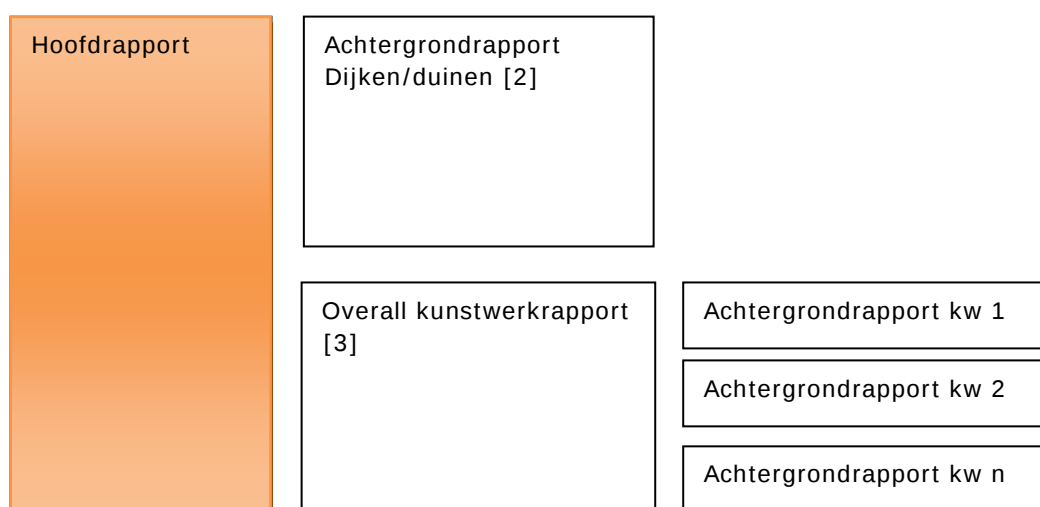
Vervolgens zijn uit het overstromingsverloop van de enkelvoudige doorbraken het overstromingsverloop van eventueel meervoudige doorbraken afgeleid.

Ook voor de meervoudige doorbraken zijn de gevolgen berekend.

Door de scenariokansen aan de bijbehorende gevolgen te koppelen kan het overstromingsrisico worden berekend. Het overstromingsrisico wordt weergegeven door de jaarlijkse verwachtingswaarden van de economische schade en het aantal slachtoffers, het groepsrisico (FN-curve), de overschrijdingskans van de schade (FS-curve), het plaatsgebonden risico (PR) en het lokaal individueel risico (LIR). In hoofdstuk 5.1.2 wordt nader op deze weergaven van het risico ingegaan.

1.5 Leeswijzer

De analyse van de dijkkring is beschreven in dit dijkkringrapport. Het dijkkringrapport is geschreven op basis van twee onderliggende rapporten, het achtergrondrapport dijken/duinen [2] en het overall kunstwerkenrapport [3]. Het overall kunstwerkenrapport is geschreven op basis van het achtergrondrapport dat voor elk kunstwerk is opgesteld (zie Figuur 8).



Figuur 15: Schematisch overzicht rapporten

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het dijkkringgebied. Dit hoofdstuk gaat onder andere in op de inrichting en de hoogteligging, het watersysteem en de ligging van de primaire waterkering. Ten slotte wordt de onderverdeling van de dijkvakken besproken en wordt een toelichting gegeven op de selectie van de kunstwerken waarvoor in VNK2 betrouwbaarheidsanalyses zijn uitgevoerd.

Hoofdstuk 3 geeft een toelichting op de berekende faalkansen per vak/kunstwerk en per faalmechanisme, na een korte toelichting van de beschouwde en niet-beschouwde faalmechanismen. De vakken met de grootste faalkansen worden uitgelicht.

Hoofdstuk 4 presenteert de resultaten van de uitgevoerde overstromingsberekeningen en de daaruit afgeleide gevolgen. Het betreft hier steeds enkelvoudige doorbraken. Per doorbraaklocatie zijn overstromingsberekeningen uitgevoerd voor verschillende belastingcondities. Voorafgaand aan de presentatie van de resultaten van de overstromingsberekeningen, wordt kort ingegaan op de gehanteerde aannamen en uitgangspunten.

Hoofdstuk 5 beschrijft de resultaten van deze scenariokansberekeningen. Ook wordt 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 wordt op verschillende wijzen weergegeven. Het economisch risico en het slachtofferisico worden afzonderlijk behandeld.

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

Hoofdstuk 8 geeft de conclusies weer van de risicoanalyse voor het dijkringgebied. Ten slotte worden aanbevelingen gedaan voor het waarborgen en verder verkleinen van het overstromingsrisico.

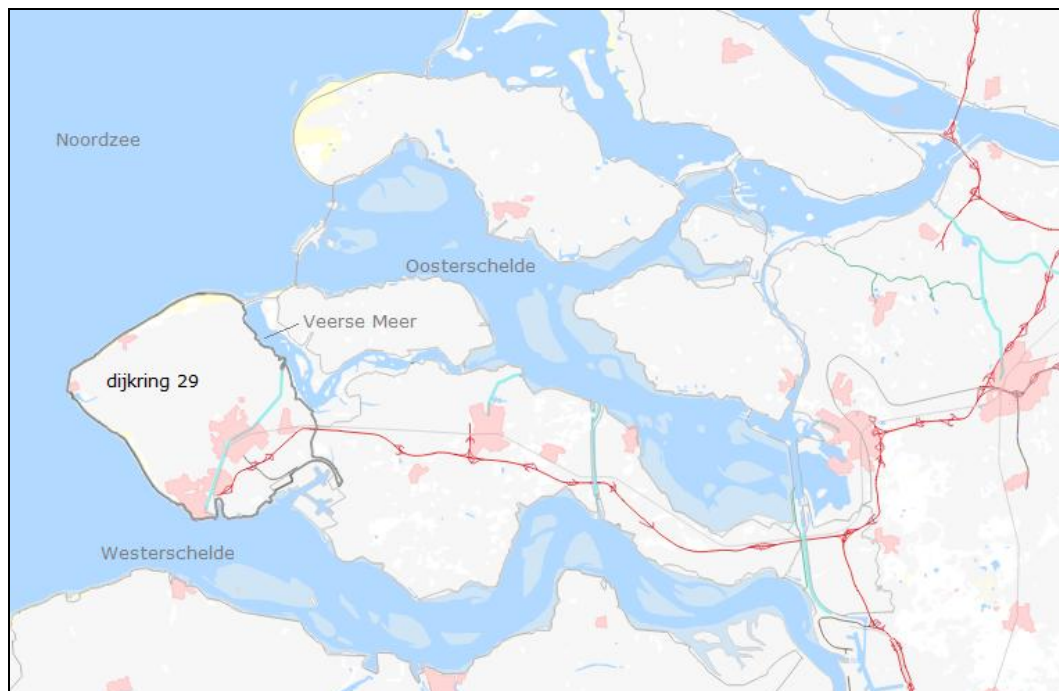
2 Gebiedsbeschrijving en schematisatie

In dit hoofdstuk worden de ligging en de kenmerken van dijkkringgebied 29 besproken. Daarnaast wordt de onderverdeling van de waterkering in vakken ten behoeve van de faalkansberekeningen toegelicht. In het achtergrondrapport [3] wordt nader ingegaan op de vakindeling.

2.1 Beschrijving dijkkringgebied 29, Walcheren

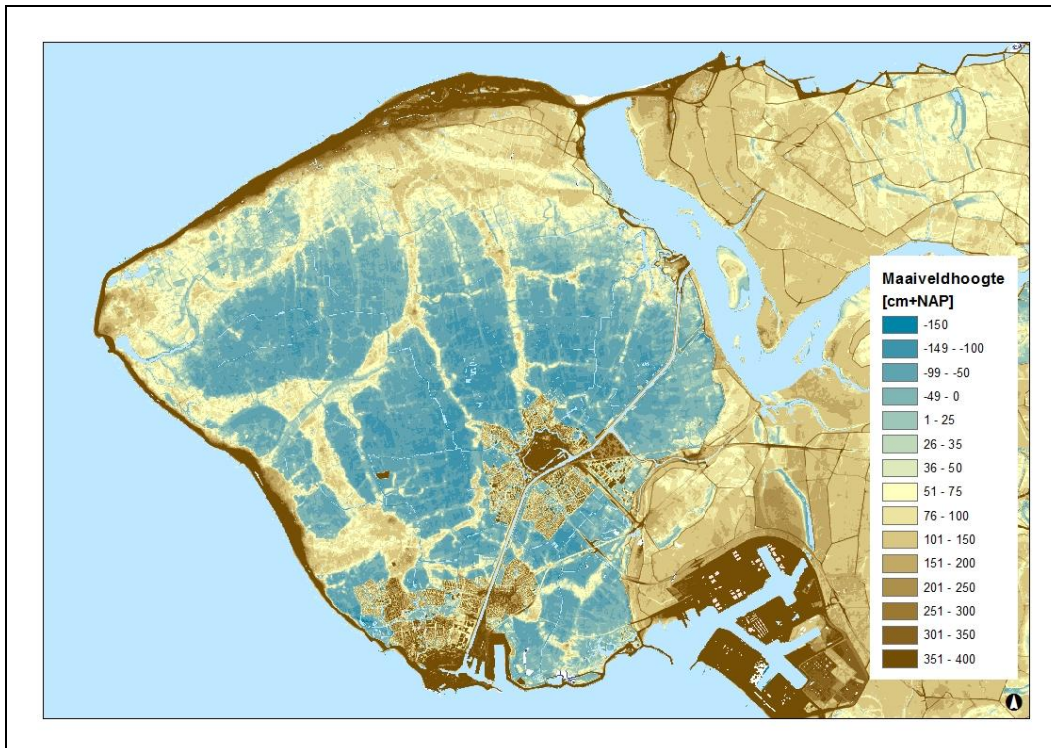
2.1.1 Gebiedsbeschrijving

Walcheren ligt aan de westzijde van de provincie Zeeland en bestaat uit de drie gemeenten Middelburg, Veere en Vlissingen. Walcheren wordt omsloten door de Noordzee, de Westerschelde, en het Veerse Meer (zie Figuur 16). Aan de oostzijde wordt de dijkkring begrenst door de scheidingsdijk met dijkkring 30.



Figuur 16: Ligging dijkkring 29

Figuur 17 toont de hoogteligging van het dijkkringgebied. Wat opvalt is dat het dijkkringgebied relatief vlak is zonder diepe polders. Verder zijn de hooggelegen duingebieden zichtbaar. Ook is goed te zien dat het buitendijks gelegen industrieterrein van het Sloegebied hoog ligt.



Figuur 17: Hoogteligging dijkringgebied

2.1.2 Beheerder

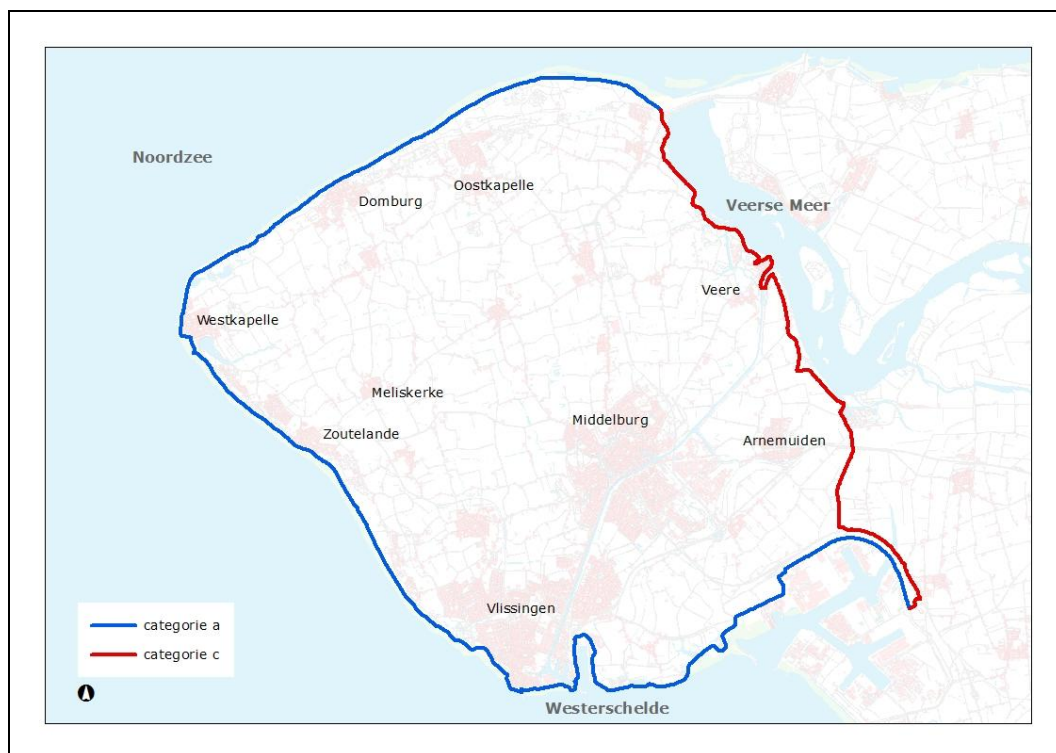
De primaire waterkering van het dijkringgebied is in beheer van het Waterschap Scheldestromen.

Per 1 januari 2014 is niet langer Gedeputeerde Staten, maar het Rijk op grond van de Waterwet verantwoordelijk voor het toezicht op de primaire waterkering, zodat de normsteller direct het toezicht houdt op de waterkeringbeheerder. Dit is een wijziging van de Waterwet op basis van het Bestuursakkoord Water. In de praktijk zal de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) namens het Rijk deze functie uitoefenen. De ILT houdt toezicht op de periodieke toetsing van de primaire waterkeringen en op de wijze waarop de beheerder de zorgplicht uitvoert. Over beide rapporteert de ILT aan de minister.

2.1.3 De primaire waterkering

De primaire waterkering van het dijkringgebied bestaat uit waterkeringen die behoren tot verschillende categorieën (zie Figuur 18). De dijken langs het Veerse Meer betreffen categorie c-keringen. Deze keringen beschermen indirect tegen buitenwater. De overige waterkeringen van de dijkring zijn zogenaamde categorie a-keringen. Dit zijn primaire waterkeringen die direct bescherming bieden tegen buitenwater. De grens met dijkring 30 wordt gevormd door "droge" binnendijken die formeel een status hebben als primaire c-kering.

In het voorliggende rapport worden alleen de waterkeringen beschouwd die behoren tot categorie a-keringen (zie ook paragraaf 2.6).



Figuur 18: Primaire waterkering dijkkring 29

2.2 Ontstaansgeschiedenis

In de Middeleeuwen werden ter bescherming tegen invallen van Noormannen in de negende eeuw ringwalburgen aangelegd bij de plaatsen Middelburg en Oost-Souburg. Boeren in het nog niet ingepolderde gebied wierpen kleine heuveltjes (vliedbergen) op ter bescherming tegen overstromingen. Vanaf de 11e eeuw werd Zeeland steeds verder ingepolderd door monniken uit Vlaanderen waardoor steeds minder land overstroomde. Na de overstroming van 1134 is men begonnen met de aanleg van een ringdijk rondom Walcheren. De vruchtbare Zeeuwse klei was zeer geschikt voor landbouw, en de welvaart in het gebied nam toe dankzij de handel overzee. Vanaf de 12e eeuw verschenen dorpen en steden. Vanwege de goede bereikbaarheid over zee nam het belang van steden als Middelburg, Veere en Vlissingen vanaf de 14e eeuw snel toe. [15]

Op Walcheren begon de landaanwinning in het midden van de 13e eeuw op gang te komen en ging door in de 14e eeuw met de inpoldering van Vrouwepolder, Beekshoekpolder en Noorder Nieuwlandpolder. Tot de latere landaanwinsten behoort het schorrengebied aan de oostkant van Walcheren. Men bedijkte in 1618 als eerste aanwas de Oranjepolder, later onder andere gevolgd door inpoldering van de opwas Oud-Sint Jooslandpolder, de Nieuw- en Sint Jooslandpolder en de Middelburgsche Polder die in 1818 door afsluiting van de Arne met Walcheren werd verbonden. In 1873 werd het eiland Walcheren compleet toen de Sloedam met spoorlijn Walcheren met Zuid-Beveland verbond. [12]

Jaar	Naam	Gevolgen
		dijkdoorbraak. Het is de grootste ramp in de 15e eeuw.
1530	Sint-Felixvloed ('Quade Saterdag')	Grote delen van Vlaanderen en Zeeland worden weggespoeld. Tijdens de vloed breekt de Westkapelse zeedijk door. Ook Sint Philipsland en Noord- en Zuid-Beveland worden ernstig getroffen.
1532	Allerheiligenvloed	De schade is nog erger dan in 1530. Er zijn dijkdoorbraken op Walcheren in het zuidwesten en noordoosten. De eilanden Schouwen en Tholen worden zwaar getroffen en het eiland Noord-Beveland verdrinkt.
1570	Allerheiligenvloed	Deze stormvloed veroorzaakte veel schade op de Zeeuwse eilanden.
1682	-	Springvloed bij noordwesterstorm. In Zeeland overstromden 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.
1944	-	Engelse en Amerikaanse bommenwerpers bombarderen de Westkapelse zeedijk. De aanval vindt plaats tijdens springvloed, zodat het water snel Walcheren binnendringt. In de dagen daarop worden ook andere dijken gebombardeerd (dijken bij Vlissingen, Veere en Ritthem). Het doel is het verdrijven van de Duitse soldaten uit hun stellingen, om zo de route naar de haven van Antwerpen vrij te maken. Tientallen mensen komen om door de bommen of verdrinking. Pas begin 1946 lukt het om Walcheren weer droog te leggen. Hierbij worden voor het eerst caissons gebruikt.
1953	Watersnoodramp	Bij deze overstroming werden grote delen van Zeeland en Zuid-Holland getroffen. Er vielen bijna 1800 slachtoffers.

Tabel 4: 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.

2.3.2 Tweede Wereldoorlog

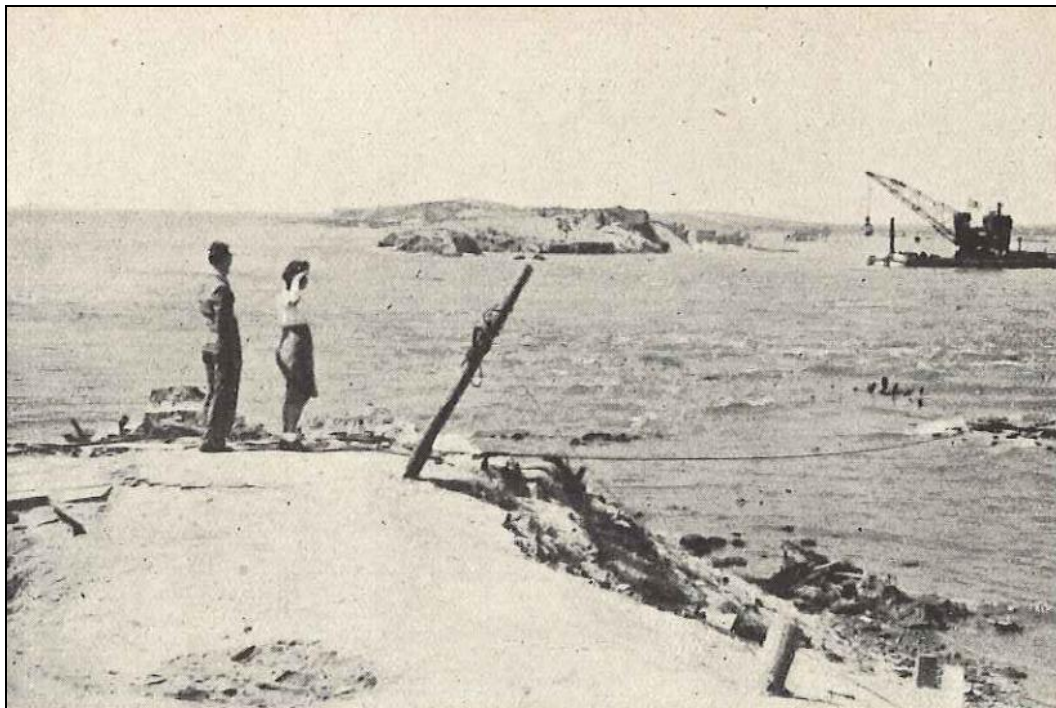
Na de landing in Normandië in juni 1944 rukten de geallieerden snel op naar de Nederlandse grens. In september worden de zuidelijke provincies bevrijd, inclusief Zeeuws-Vlaanderen. De mislukking van de Operatie Market Garden maakt echter voorlopig een einde aan de opmars.

Walcheren was nog bezet door de Duitsers en zij beheersten zo de toegangsweg tot de havenstad Antwerpen. Het geallieerde leger had echter een grote aanvoerhaven nodig. Om de route naar Antwerpen open te stellen moesten de Duitsers van Walcheren worden verdreven. De sterke Duitse verdediging maakte een landing in Walcheren nauwelijks mogelijk. Pogingen om via de Sloedam aan te vallen mislukten aanvankelijk en kostten met name de Canadezen grote verliezen. Daarom bombardeerden de geallieerden de dijken van Walcheren.

Op 3 oktober wordt de zeedijk net ten zuiden van Westkapelle gebombardeerd. Hierbij vonden 180 inwoners van Westkapelle de dood. Ook werden zeshonderd van de 650 woonhuizen vernietigd. Het bombardement resulteert in een gat van 125 m breed. Als spoedig blijkt dat hiermee niet heel Walcheren geïnundeerd kan worden. Daarom worden ook bombardementen uitgevoerd op de waterkering bij de Nolledijk, Rammekens en Veere (zie tabel 5) [12]. Hiermee raakt heel het eiland geïnundeerd. De evenwichtstoestand wordt op ongeveer 18 oktober bereikt. Ter illustratie zijn in tabel 5 de in- en uitstroomdebieten per stroomgat opgenomen (toestand bij springtij op 17 Maart 1945). Het verschil tussen het totale instroom- en uitstroomdebiet veroorzaakt die dag een stijging van de waterstand van 5 cm [12].

Breslocatie	Datum bombardement	Bresbreedte Okt. 1944 [m]	Bresbreedte Maart 1945 [m]	Instroom-debiet [m ³ /getij]	Uitstroom-debiet [m ³ /getij]	Datum breslocatie gedicht
Westkapelle	3-10-1944	125	600	5,5	3,5	12-10-1945
Nolle	7-10-1944	50	350	18	10	2-10-1945
Rammekens	7-10-1944	300	750	21,5	21,5	5-02-1946
Veere	11-10-1944	400	975	14	18	23-10-1945

Tabel 5: Breslocaties 1944 [12]



Figuur 20: Bres in de Nolledijk 1944 [12]

2.3.3 De Watersnood 1953

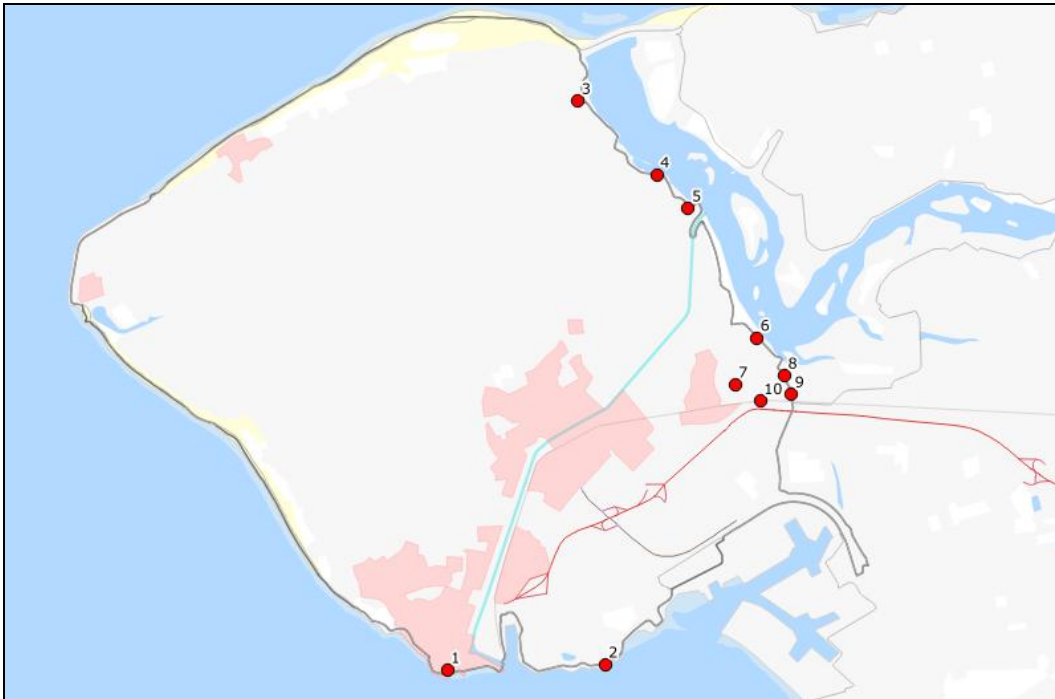
In de nacht van 31 januari op 1 februari 1953 werd Zeeland getroffen door de watersnood. Tijdens deze watersnoodramp zijn grote delen van Zeeland en Zuid-Holland overstroomd (zie Figuur 21). Op Walcheren waren een aantal dijkdoorbraken (zie Figuur 22). De gevolgen waren echter beperkt.



Figuur 21: Overstroomde gebieden 1953 [12]

Nr.	Polder	Type	Bijzonderheden
1	Vissershaven Vlissingen	binnendijk	Waterkering Vissershaven loopt over. Op sommige plaatsen in de binnenstad staat water 1.20 m in de straten.
2	Zuidwatering Vlissingen	primair	Polder loopt door 3 bressen snel vol tot 4.55 m+NAP.
3	Molenpolder	primair	Circa 15 ha overstroomt. Zeewater had zich door de buitenduinregel een weg gebaad.
4	Kattepolder	primair	Circa 10 ha overstroomt. De kruin van de zeedijk werd gedeeltelijk weggeslagen.
5	Gemeente Veere	primair	De kade langs de haven was niet hoog genoeg, zodat het water enige tijd het stadje is binnengestroomd.
6	Oranjepolder	primair	Drie bressen, resp. 110, 80 en 70 meter breed. Geïnundeerd 3,15 m+NAP
7	Polder Walcheren ten noorden van het Arnekanaal	binnendijk	Water is over binnendijk in polder gelopen nadat Oranjepolder vol was. Een duiker in deze dijk is weggeslagen.
8	Suzannapolder	primair	Deze noordelijke bres was 80 m breed. De waterstand in de polder komt tot 3,50 m+NAP.
9	Suzannapolder	primair	De zuidelijke bres heeft een stroomgat van 60 m breed. De waterstand in de polder komt tot 3,50 m+NAP.
10	Nieuwerkerkepolder	binnendijk	De coupure in de Rijksweg was niet gesloten. De waterstand in de polder komt tot 3,45 m+NAP.

Tabel 6: Doorbraaklocaties 1953



Figuur 22: Doorbraaklocaties 1953

2.4 Recente geschiedenis: versterkingen

2.4.1 Deltawerken

Naar aanleiding van de watersnoodramp in 1953 werd in de jaren '50 van de vorige eeuw gestart met de uitvoering van de Deltawerken. Het basisprincipe achter de Deltawerken was het verhogen van de veiligheid door het verkorten van de kustlijn. Dit resulteerde in de aanleg van een aantal dammen en keringen. Voor Walcheren is vooral de afsluiting van het Veerse Meer van belang geweest. De Veersedam of Veersegatdam (zie Figuur 23) werd in 1961 aangelegd om delen van Walcheren, Noord-Beveland en Zuid-Beveland tegen een mogelijke nieuwe overstroming vanuit het Veerse Meer te beschermen.



Figuur 23: Veersegatdam (met bovenin Walcheren)

2.4.2 Zwakke Schakels

Bij de toetsing van de waterkeringen in 2006 en 2011 bleek dat een aantal waterkeringen langs de Nederlandse kust niet voldeed aan de wettelijke veiligheidsnorm. Om deze keringen te verbeteren is het project Zwakke Schakels opgestart. In dijkkring 29 zijn in het kader van dit project 2 kustversterkingen uitgevoerd. In Tabel 7 zijn deze projecten weergegeven.

Van [m]	Tot [m]	Gebied	Lengte [km]	Omschrijving	Periode
dp311	dp336+50	Noordzee	2,55	Nolle-Westduin	2009-2010
dp168+50	dp194+80	Noordzee	2,63	Westkapelse Zeedijk	2008-2009

Tabel 7: Dijkversterkingen Zwakke Schakels

2.4.3 Projectbureau Zeeweringen

Begin jaren negentig bleek dat de steenbekleding van veel dijken in Zeeland niet meer aan de veiligheidseisen voldeed. Tijdens een storm met zware golfaanval zouden de basalt- of betonblokken kunnen losslaan. Dit was in 1997 de aanleiding om projectbureau Zeeweringen op te richten. In 2015 wordt het project afgerond. Er is dan 325 km dijkbekleding versterkt. In Tabel 8 zijn de projecten van Projectbureau Zeeweringen van de dijkkring weergegeven.

Van [m]	Tot [m]	Gebied	Lengte [km]	Omschrijving	Periode
16.900	19.000	Noordzee	2,10	Westkapelse Zeedijk fase 2	2008
19.000	21.100	Noordzee	2,10	Westkapelse Zeedijk fase 1	2006-2007
21.100	22.500	Noordzee	1,42	Westkapelse Zeedijk fase 2	2011
25.400	26.350	Noordzee	0,90	Zoutelande	2009
32.200	33.250	Noordzee	1,75	Vijgheter/Zwanenburg	2009
33.500	35.000	Noordzee	1,50	Boulevard Bankert en Evertsen	2009
36.400	37.500	Noordzee	1,10	Eilanddijk	2005
0	1.050	Westerschelde	1,05	Westelijke Sloehavendam, Schorerpolder	2007
71.750	76.500	Westerschelde	4,37	Zuidwatering	2002-2003
76.500	76.600	Westerschelde	0,09	Zuidwatering-Buitenhaven	2005-2006
79.150	79.300	Westerschelde	0,14	Buitenhaven-Eilanddijk	2005-2006
71.100	71.750	Westerschelde	0,65	Schorepolder	2009-2013

Tabel 8: Dijkversterkingen Projectbureau Zeeweringen

2.5 Vakindeling categorie a-kering

Ten behoeve van de faalkansberekeningen is de waterkering van het dijkkringgebied onderverdeeld in dijk- en duinvakken. Een dijk- of duinvak is een deel van een waterkering waarvoor de sterkte-eigenschappen en belastingen nagenoeg homogeen zijn. Er zijn in totaal 35 dijk- en duinvakken gedefinieerd. In Figuur 24 is weergegeven waar dijken en waar duinen zijn gelegen.



Figuur 24: Categorie a-keringen (dijken en duinen)

2.5.1 Vakindeling dijken

Een grens van een dijkvak kan op verschillende manieren worden gekozen. Daarbij wordt rekening gehouden met:

- Een overgang van de categorie waartoe de waterkering behoort;
- Een verandering van het type waterkering;
- Een verandering van de gevolgen bij een doorbraak;
- Een 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 24 dijkvakken gedefinieerd. Niet alle mechanismen zijn voor elk dijkvak doorgerekend. De dijken langs het Veerse Meer en langs het Kanaal door Walcheren vallen geheel buiten de berekeningen omdat dit categorie c-keringen zijn. 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.

2.5.2 Vakindeling duinen

Een grens van een duinvak kan op verschillende manieren worden gekozen. Daarbij wordt rekening gehouden met:

- Verandering van de belastingparameters;
- Verandering van de oriëntatie van de duinen;
- Verandering van de korreldiameters;
- Verandering van de mate van aanzanding en/of erosie;
- Verandering van de vorm van het duinprofiel;
- Aanwezigheid van constructieve elementen;
- Grens van een ringdeel;
- Grens van het beheersgebied van het hoogheemraadschap.

Op basis van bovenstaande criteria zijn in totaal 11 dijkvakken gedefinieerd.

2.5.3 Overzicht vakindeling

Een overzicht van de indeling in dijkvakken is gegeven in Figuur 25. Een compleet overzicht van de vakgrenzen, locatieaanduidingen en bijbehorende ringdelen is opgenomen in bijlage C.



Figuur 25: Indeling dijk- en duinvakken

2.6 Kunstwerken

In dijkkring 29 bevinden zich 11 kunstwerken, waarvan 8 in de categorie a-kering. 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.

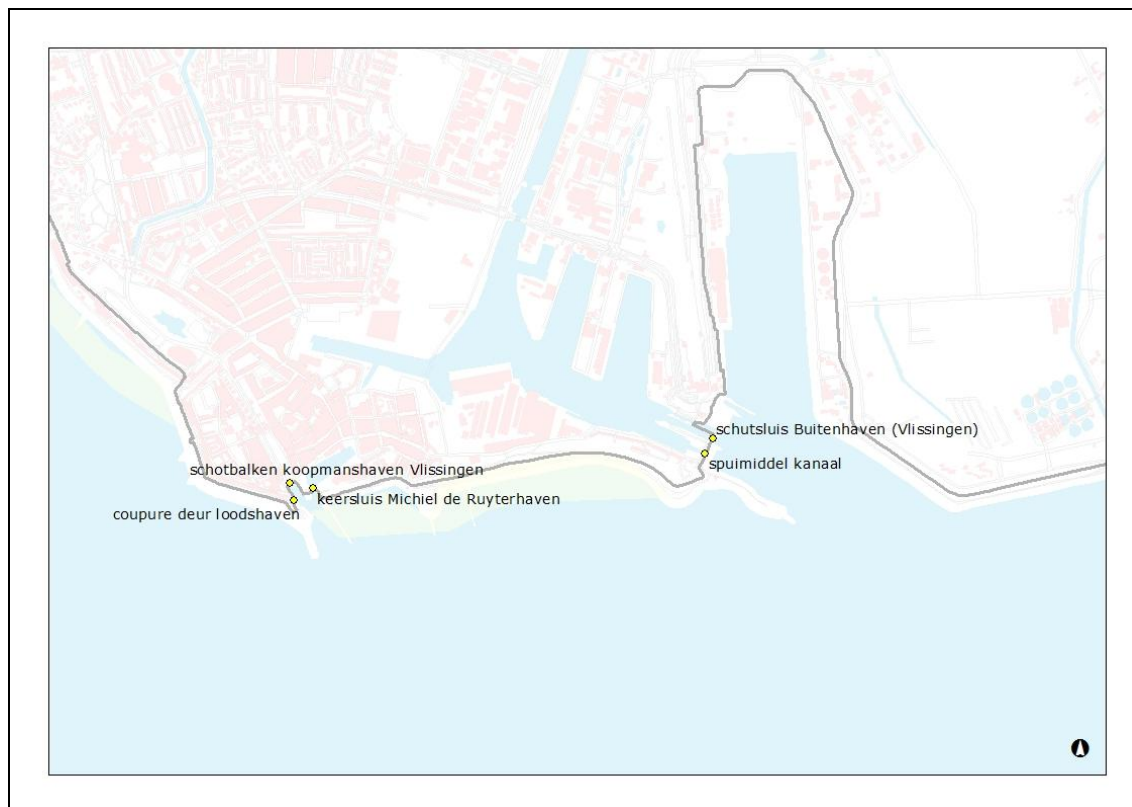
Kunstwerk naam en type	Type	Hm	Dijkvak	Ringdeel
coupure veerstoep Vlissingen	coupure	79.400	WS01	12
coupure deur loodshaven	coupure	35.700	NZ21	12
schotbalken koopmanshaven Vlissingen	keermuur	35.800	NZ21	12
gemaal Oostwatering	gemaal	-	-	-
gemaal Kleverskerke	gemaal	-	-	-
gemaal Quarlespolder	gemaal	64.900	WS11	16
keersluis Michiel de Ruyterhaven	keersluis	35.900	NZ21	12
schutsluis Buitenhaven (Vlissingen)	schutsluis	79.600	WS01	12
schutsluis kanaal door Walcheren	schutsluis	-	-	-
suatiesluis Ritthem	uitwateringsluis	75.100	WS05	13
spuimiddel kanaal	uitwateringsluis	79.700	WS01	12

Tabel 9: Kunstwerken in dijkkring 29

In de screeningfase zijn alle kunstwerken in de dijkkring beschouwd. Op basis van de specifieke kenmerken per kunstwerk en een bovengrensbepijdering van de faalkans per faalmechanisme is uiteindelijk gekozen om 5 kunstwerken nader te analyseren ten aanzien van de aangegeven faalmechanismen (zie Figuur 19 en tabel 8). Een nadere beschrijving van de screening van de kunstwerken staat in het Overall kunstwerkenrapport [11].

Kunstwerk	Kunstwerk ID VNK2	Overslag/overloop	Betrouwbaarheid sluiting	Onder- en achterloopsheid	Sterkte en Stabiliteit
coupure deur loodshaven	VNK.29.01.002	X	X		
schotbalken koopmanshaven Vlissingen	VNK.29.01.003	X			X
keersluis Michiel de Ruyterhaven	VNK.29.04.001		X	X	
schutsluis Buitenhaven (Vlissingen)	VNK.29.06.001	X	X		X
spuimiddel kanaal	VNK.29.08.002		X		

Tabel 10: Geselecteerde faalmechanismen voor nadere uitwerking



Figuur 26: Nader geanalyseerde kunstwerken

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 faalkansen van de dijk- en duinvakken en kunstwerken en de overstromingskans van het dijkkringgebied zijn uitgevoerd met behulp van het programma PC-Ring [4] [5] [6]. 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 Noordzee en de 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 dijkvak vastgesteld welke faalmechanismen op welke locaties relevant zijn. Daarbij is gebruik gemaakt van de resultaten en onderliggende gegevens uit de tweede en derde toetsronde en het oordeel van de beheerder. Per faalmechanisme is per vak een schematisatie van de waterkering opgesteld (bepaling hoogte, intrede- en uittredepunt, gemiddelden, spreidingen, enz.).

In VNK2 wordt als richtlijn gehanteerd dat alle geplande verbeteringswerken, waarvan het bestek gereed is, worden meegenomen zoals in het bestek is beschreven. Indien de verbeteringswerken zich nog in een eerder stadium bevinden worden deze in principe niet meegenomen.

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, de selectie van faalmechanismen en de opgestelde schematisaties per faalmechanisme en per vak, wordt verwezen naar het achtergrondrapport [3].

3.2 Bijzonderheden specifiek voor dijkkring

3.2.1 *Parapetconstructie boulevard Vlissingen*

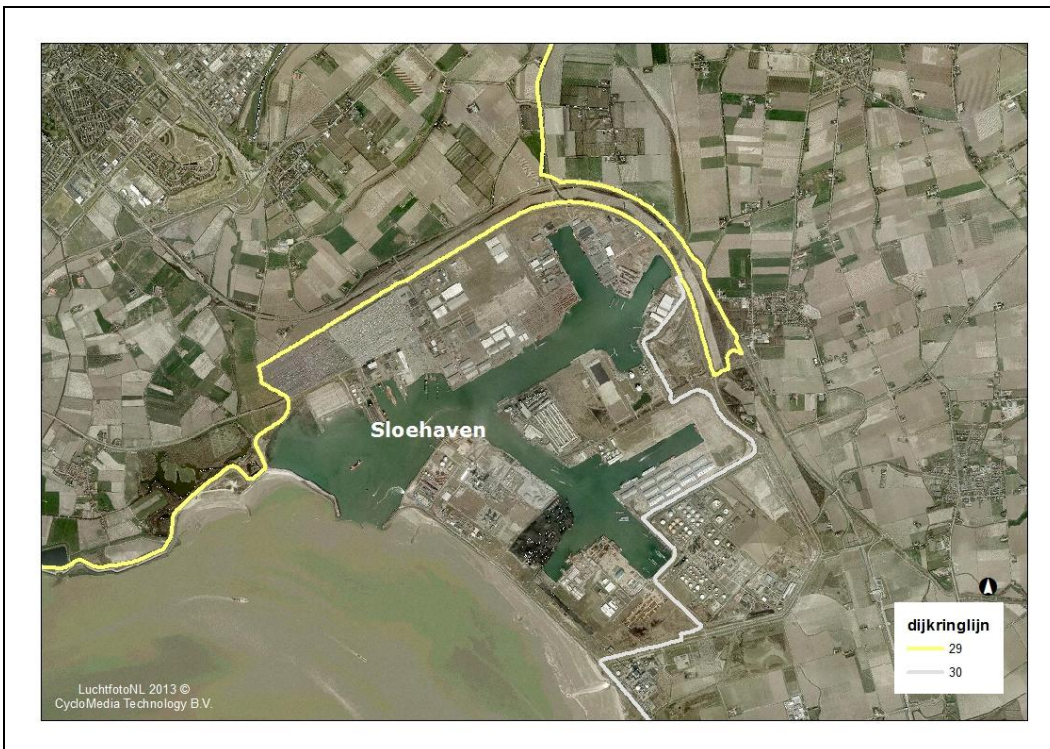
Aan de zeezijde bevindt zich langs de boulevard een keermuur. Op de keermuur is een parapet (driehoekige neus) aangebracht om de golfoverslag te reduceren (zie Figuur 27). Achter de bebouwing van de boulevard ligt een tweede, hogere kade. De faalkans van deze constructie kan niet met PC-Ring worden berekend en is daarom bepaald met behulp van de Wave Overtopping Manual [14].



Figuur 27: Keermuur met parapet boulevard Vlissingen

3.2.2 Sloehavengebied

Aan de zuidzijde van de dijkring is het industriegebied van de Sloehaven gelegen. Dit industriegebied ligt buitendijks (zie Figuur 28) en is daarom geen onderdeel van de risicoberekening van dijkringgebied 29.



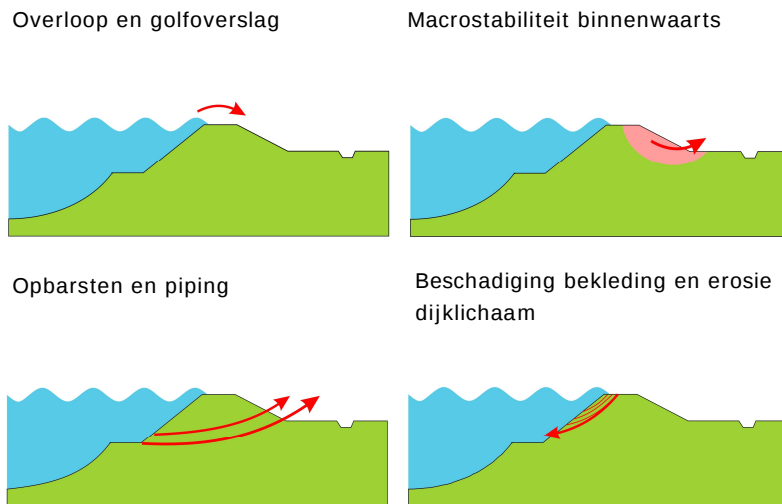
Figuur 28: Sloehaven

3.3 Beschouwde faalmechanismen

3.3.1 Faalmechanismen dijken

Bij de bepaling van de faalkans van de dijken zijn de volgende faalmechanismen beschouwd (zie Figuur 29):

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



Figuur 29: Beschouwde faalmechanismen dijken

Overloop en golfoverslag

Bij dit faalmechanisme bezwijkt de dijk doordat grote hoeveelheden water over de dijk stromen. Bij afluende wind of bij kleine golfhoogten wordt het bezwijken beschreven door het faalmechanisme *overloop*. In andere gevallen door het faalmechanisme *golfoverslag*.

Macrostabiliteit binnenwaarts

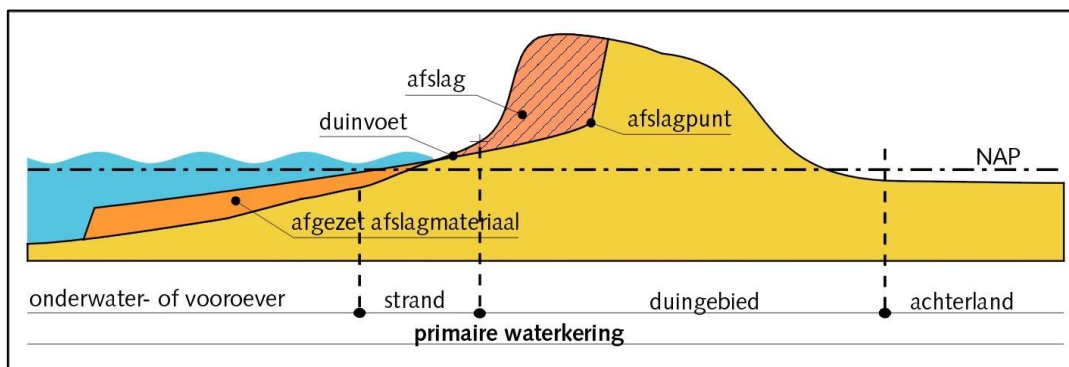
Bij dit faalmechanisme bezwijkt de dijk doordat een deel van de dijk ten gevolge van langdurig hoge waterstanden instabiel wordt en daarna aan de binnenzijde afschuift of opdrijft.

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 bezwijkt.

3.3.2 Faalmechanismen duinen

Bij de duinen wordt het faalmechanisme duinafslag beschouwd. Door het afslaan van een duin tijdens storm kan een bres ontstaan (Figuur 30). Het kritieke afslagpunt wordt bepaald op basis van het grensvolume dat bij de beschouwde condities aanwezig dient te zijn. Zoals in het Technisch Rapport Duinafslag [9] staat beschreven wordt aangenomen dat er een doorbraak van het duin zal optreden als het afslagpunt landwaarts van het kritieke afslagpunt komt te liggen.



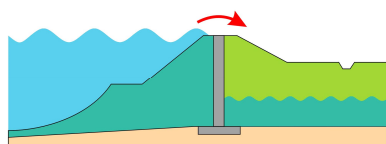
Figuur 30: Het faalmechanisme duinafslag

3.3.3 Faalmechanismen kunstwerken

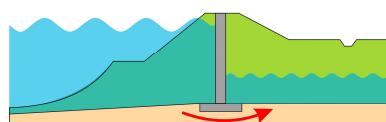
Voor de bepaling van de faalkans van een kunstwerk wordt rekening gehouden met de volgende faalmechanismen (zie Figuur 31):

- *Overslag/overloop*;
- *Betrouwbaarheid sluiting*;
- *Onder- en achterloopsheid*;
- *Sterkte en stabiliteit*.

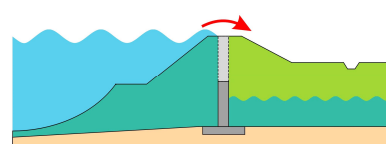
Overslag/overloop



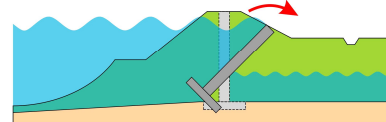
Onder- en achterloopsheid



Betrouwbaarheid sluiting



Sterkte en stabiliteit



Figuur 31: Beschouwde faalmechanismen kunstwerken

Overslag/overloop

Bij dit faalmechanisme bezwijkt het kunstwerk doordat grote hoeveelheden water over het gesloten kunstwerk stroomt. De hoeveelheid instromend water tast uiteindelijk de stabiliteit van het object dan wel het achterliggende watersysteem dusdanig aan dat sprake is van bresvorming en daarmee grote gevolgen.

Betrouwbaarheid sluiting

Bij dit faalmechanisme bezwijkt het kunstwerk doordat grote hoeveelheden water over of door het geopende kunstwerk stroomt. De hoeveelheid instromend water tast uiteindelijk de stabiliteit van het object dan wel het achterliggende watersysteem dusdanig aan dat sprake is van bresvorming en daarmee grote gevolgen.

Onder- en achterloopsheid

Bij dit faalmechanisme bezwijkt het kunstwerk doordat de grond achter en onder het kunstwerk wegspoelt. Deze vorm van erosie kan uiteindelijk leiden tot instabiliteit en vervolgens het bezwijken van het gehele object. Dit kan uiteindelijk leiden tot bresvorming in de dijk.

Sterkte en stabiliteit

Bij dit faalmechanisme bezwijkt het kunstwerk als gevolg van te grote horizontale belastingen. Dit kunnen vervalbelastingen zijn op (onderdelen van) het kunstwerk, maar ook aanvaarbelastingen kunnen uiteindelijk leiden tot het bezwijken van het gehele kunstwerk, met bresvorming als gevolg.

3.4 Niet beschouwde faalmechanismen

Niet alle faalmechanismen kunnen met het VNK2-instrumentarium worden doorgerekend. De faalmechanismen zettingsvloeiing, afschuiven voorland, afschuiven buitentalud, micro-instabiliteit en verweking, worden binnen VNK2 niet meegenomen. Uit de toetsing (3^e ronde) blijkt dat deze faalmechanismen voor dit dijkkringgebied 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.

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 bezwijkt.

Tot 2015 wordt de bekleding van de dijken de langs de Noordzee, Westerschelde en Oosterschelde verbeterd in het kader van het project Zeeweringen. Een deel van de dijken is reeds verbeterd. De (geplande) werkzaamheden bestaan uit de verbetering van de harde bekleding van het buitentalud. Aangezien de harde bekledingen zijn of worden verbeterd conform vigerende leidraden en normen en op basis van de geldende ontwerpbelastingen, is de verwachting dat de bijdrage van het mechanisme *bezwijken bekleding en erosie dijklichaam* aan de overstromingskansen beperkt zal zijn. Voor dit faalmechanisme zijn daarom geen faalkansberekeningen uitgevoerd. Voor Walcheren is in 2013 het laatste traject versterkt.

3.5 Berekende overstromingskansen

VNK2 geeft een beeld van de overstromingskansen voor een dijkkringgebied. De veiligheidsbenadering in VNK2 is daarmee anders dan die in de 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 (zie ook paragraaf 1.3).

3.5.1 Overstromingskansen en faalkansen per faalmechanisme

De berekende overstromingskansen (voor de categorie a-kering) van het dijkkringgebied is 1/1.000 per jaar.

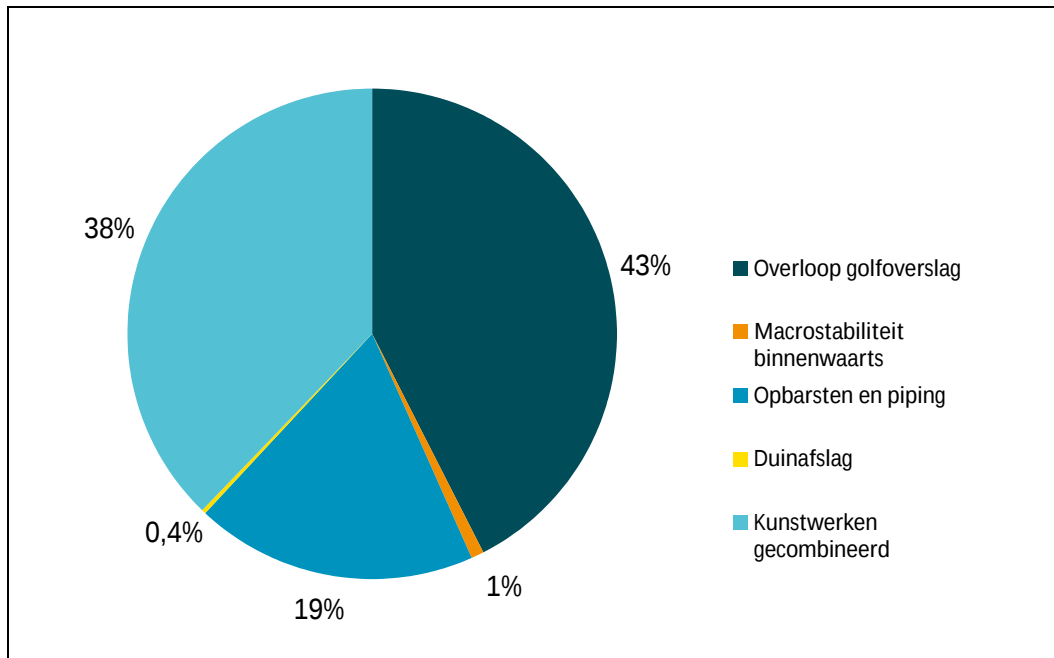
Deze berekende overstromingskansen heeft betrekking op de kans dat er ergens in het dijkkringgebied een overstroming plaatsvindt. In Tabel 11 zijn de faalkansen (kans per jaar) voor de verschillende faalmechanismen weergegeven.

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)
Dijk	Overloop en golfoverslag	1/2.300
	Opbarsten en piping	1/5.300
	Macrostabiliteit binnenwaarts	1/140.000
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	-
Duinen	Duinafslag	1/250.000
Kunstwerk	Overslag/overloop	1/3.800
	Betrouwbaarheid sluiting	1/9.200
	Onder- en achterloopsheid	<1/1.000.000
	Sterkte en stabiliteit	1/110.000
Overstromingskans		1/1.000

Tabel 11: Berekende faalkansen per faalmechanisme

In Figuur 32 is een overzicht opgenomen van de procentuele bijdragen van verschillende faalmechanismen aan de som van de faalkansen per faalmechanisme.

Uit deze figuur blijkt dat de overstromingskans voor het grootste deel wordt bepaald door *overloop en golfoverslag* en de gecombineerde bijdrage van de kunstwerken. Beiden bepalen circa 40% van de totale faalkans. Daarnaast levert het faalmechanisme *opbarsten en piping* ook nog een aanzienlijke bijdrage van circa 20%. De faalkansbijdragen van het faalmechanismen *duinafslag* en *macrostabiliteit binnenwaarts* zijn verwaarloosbaar klein.



Figuur 32: Procentuele bijdragen faalmechanismen

3.5.2 Faalkansen dijken

De berekende faalkansen zijn per faalmechanisme en per vak weergegeven in Tabel 12. Daarnaast is ook de totale vakkans in deze tabellen opgenomen en is deze grafisch weergegeven in Figuur 37.

Vak nr.	Faalkans (per jaar) per faalmechanisme				
	Overloop en golfoverslag	Macrostabiliteit binnenwaarts	Opbarsten en piping	Duinafslag	Gecombineerd
1	-	-	-	<1/1.000.000	<1/1.000.000
2	-	-	-	<1/1.000.000	<1/1.000.000
3	-	-	-	<1/1.000.000	<1/1.000.000
4	-	-	-	1/780.000	1/780.000
5	1/240.000	-	-	-	1/240.000
6	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
7	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
8	1/390.000	-	-	-	1/390.000
9	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
10	1/150.000	-	-	-	1/150.000
11	-	-	-	1/590.000	1/590.000
12	-	-	-	<1/1.000.000	<1/1.000.000
13	-	-	-	<1/1.000.000	<1/1.000.000
14	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
15	-	-	-	<1/1.000.000	<1/1.000.000
16	-	-	-	<1/1.000.000	<1/1.000.000
17	-	-	-	<1/1.000.000	<1/1.000.000
18	-	-	-	1/330.000	1/330.000
19	1/260.000	1/450.000	<1/1.000.000	-	1/160.000
20	1/630.000	-	-	-	1/630.000
21	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
22	1/2.500	-	-	-	1/2.500
23	1/220.000	-	-	-	1/220.000
24	1/39.000	-	-	-	1/39.000
25	1/310.000	-	-	-	1/310.000
26	1/97.000	1/330.000	-	-	1/75.000
27	1/930.000	-	1/240.000	-	1/190.000
28	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
29	<1/1.000.000	<1/1.000.000	1/15.000	-	1/15.000
30	<1/1.000.000	-	1/8.600	-	1/8.600
31	<1/1.000.000	-	1/530.000	-	1/510.000
32	<1/1.000.000	-	1/420.000	-	370.000
33	1/450.000	-	-	-	1/450.000
34	1/140.000	-	-	-	1/140.000
35	1/56.000	1/840.000	<1/1.000.000	-	1/53.000
Totaal	1 / 2.300	1 / 140.000	1 / 5.300	1 / 250.000	1 / 1.000

Tabel 12: Berekende faalkansen

Overloop en golfoverslag

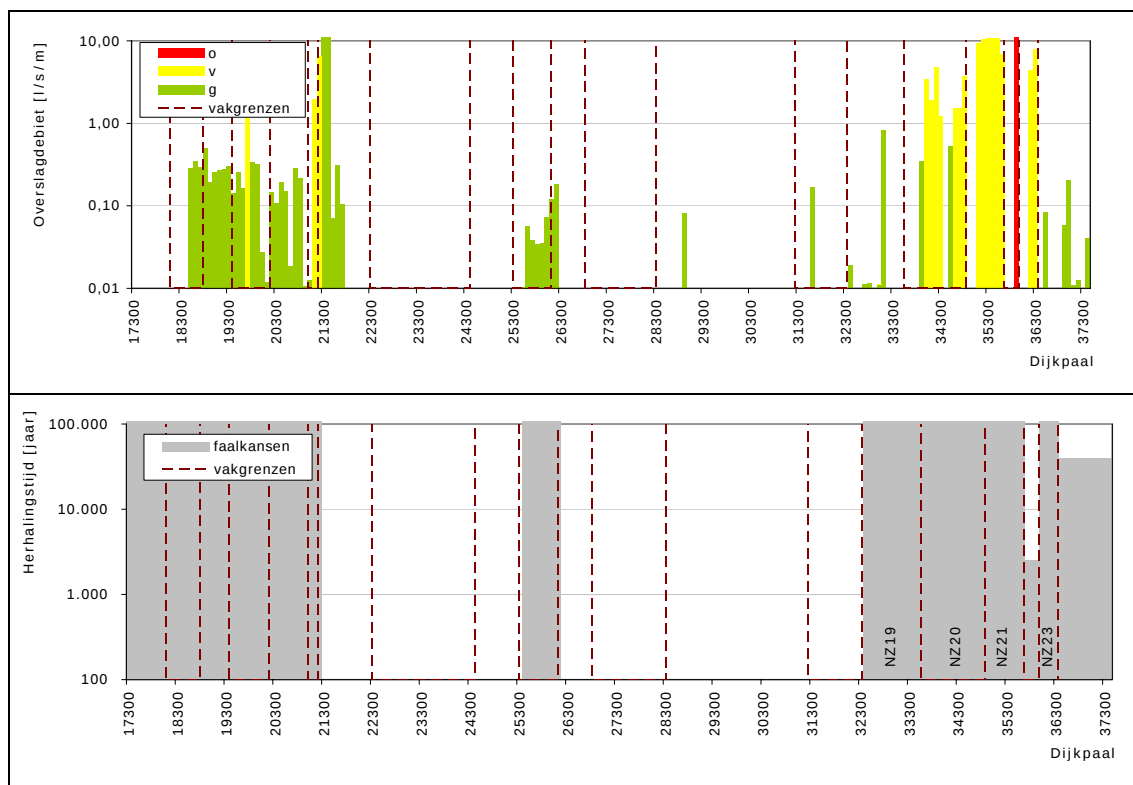
De berekende faalkansen liggen voor alle dijkvakken in de orde 10^{-4} tot 10^{-9} per jaar. De grootste berekende faalkans voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* bedraagt 1/2.500 per jaar voor dijkvak 22. De op één na grootste berekende faalkans voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* bedraagt 1/39.000 per jaar voor dijkvak 24. In het totaal zijn er vier dijkvakken waarbij er voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* faalkansen zijn berekend die groter zijn dan 1/100.000 per jaar.

Voor de vakken langs de Westerschelde zijn in vergelijking met de vakken langs de Noordzee relatief lage faalkansen berekend. De faalkansen van de vakken langs de Westerschelde voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* hebben allen een faalkans kleiner dan 1/50.000 per jaar. Langs de Noordzee bedraagt de grootste faalkans 1/2.500 per jaar. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de scheiding tussen de Noordzee en de Westerschelde bij VNK2 in de buitenhaven van Vlissingen ligt. Alle dijkvakken met relatief grote faalkansen voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* liggen in het zuiden en zuidoosten van Vlissingen en vallen hierdoor onder de Noordzee. Alle dijkvakken in het westen van dijkkring 29, waaronder alle duingebieden, hebben relatief lage faalkansen.

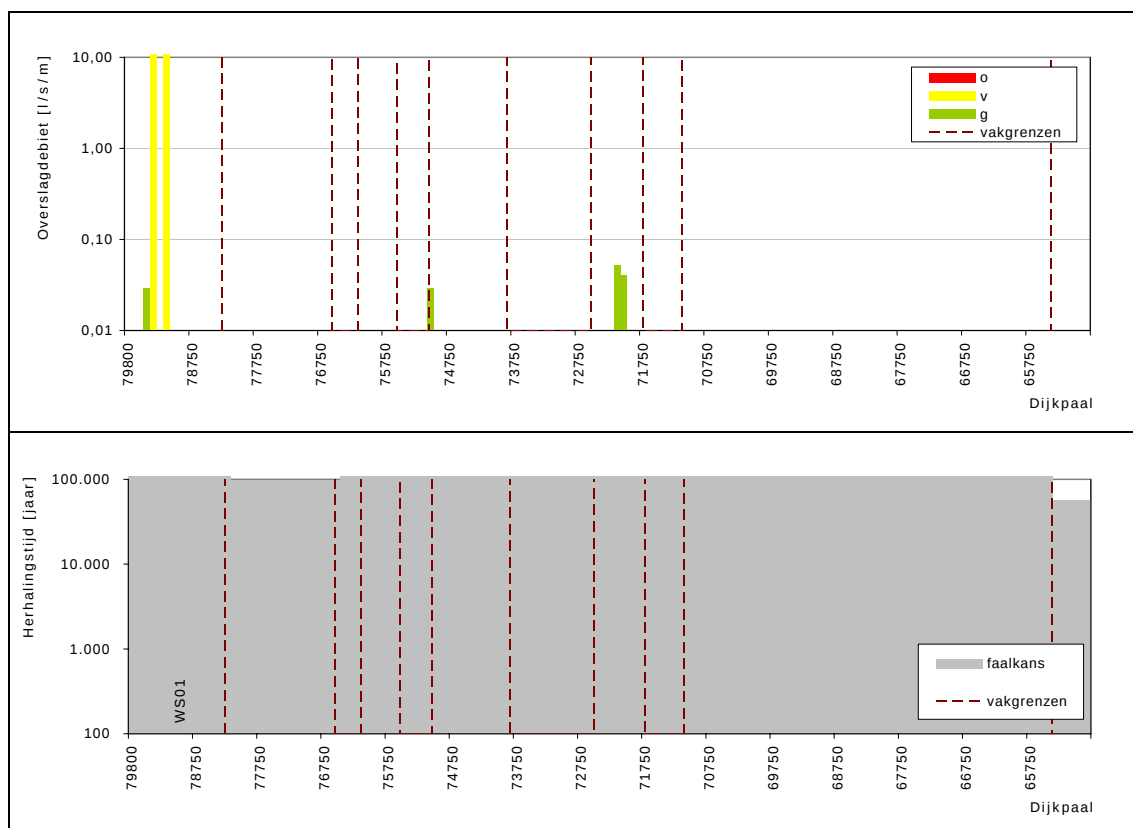
De berekende faalkansen zijn vergeleken met de resultaten van de 3^e toetsronde. Dit is gedaan door de in de toetsing berekende overslagdebieten te vergelijken met de berekende faalkansen. Deze vergelijking is weergegeven in Figuur 33 en Figuur 34. Hierin is te zien dat waar de overslagdebieten klein zijn ook de berekende faalkansen klein zijn en vice versa.

Voor dijk 25(vak WS01) is in de toetsing een relatief hoog overslagdebiet berekend terwijl er voor dit dijkvak kleine faalkansen zijn berekend (zie Figuur 34). Dit betreft een dijkvak in de buitenhaven van Vlissingen. Er is hier een keermuur aanwezig die niet in de AHN2 data is weergegeven. In de berekening van de toetsing is de hoogte van de keermuur bij deze profielen niet meegenomen. Voor de faalkansberekening is de hoogte van de keermuur wel meegenomen.

Voor het dijkvak 22 (vak NZ22) is de grootste faalkans berekend (1/2.500 per jaar). In dit dijkvak ligt het enige traject dat in de toetsing is afgekeurd op hoogte. Opgemerkt wordt dat bij de afleiding van de faalkansen conservatieve erosiemodellen zijn gebruikt. Het verdient aanbeveling om nader onderzoek te doen na de erosiebestendigheid van bekleding (bestrating).



Figuur 33: Vergelijking resultaten met toetsing 3e ronde - Noordzee

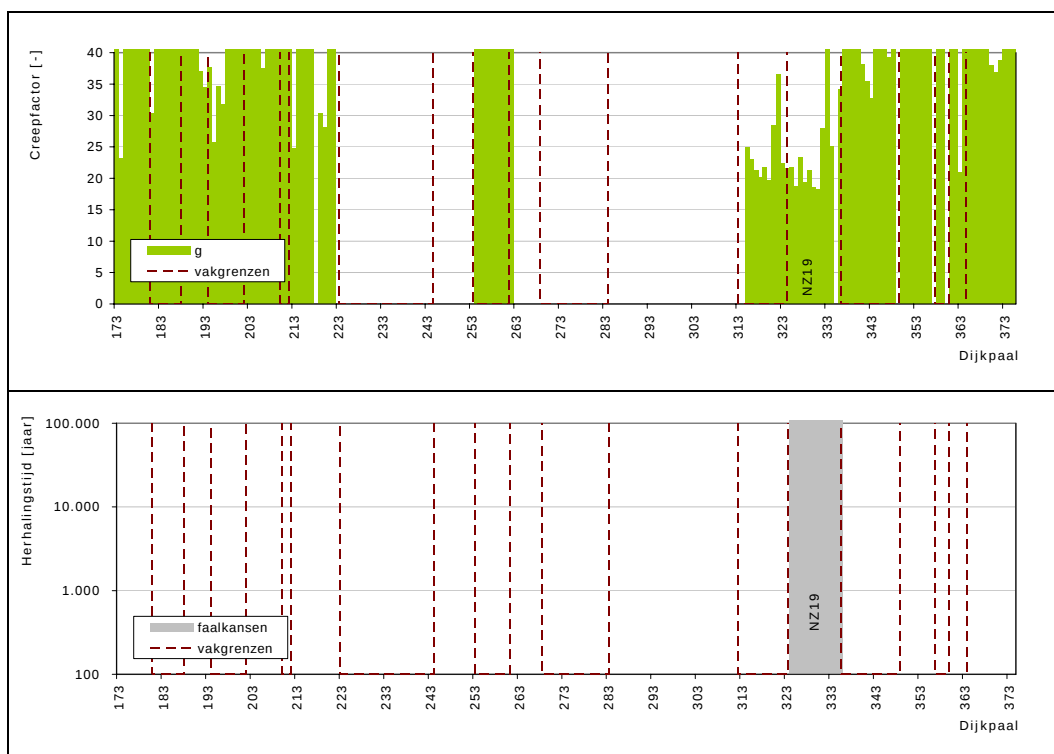


Figuur 34: Vergelijking resultaten met toetsing 3e ronde - Westerschelde

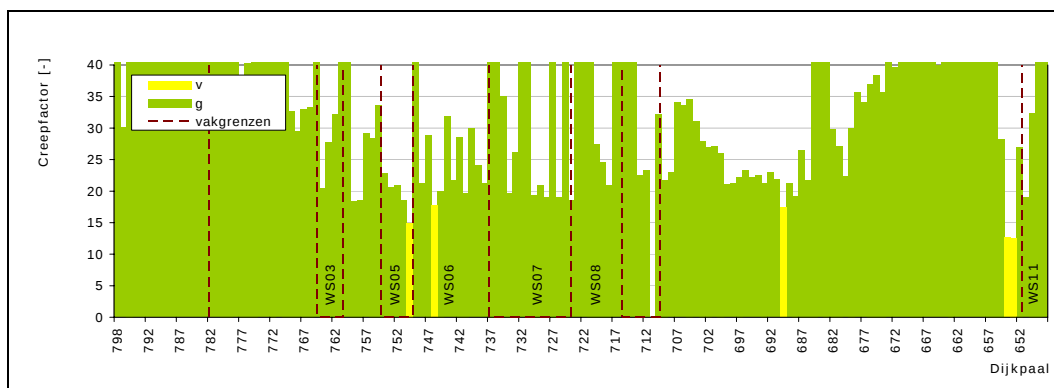
Opbarsten en piping

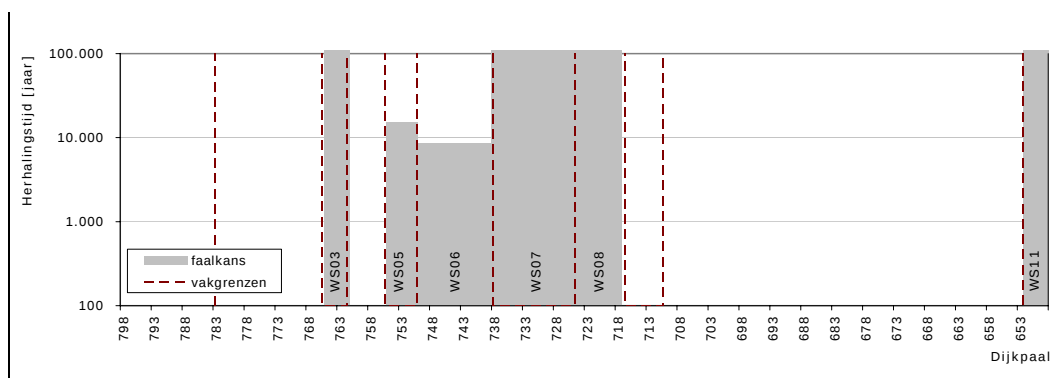
De berekende faalkansen liggen voor alle dijkvakken in de orde 10^{-4} tot 10^{-9} per jaar. De grootste berekende faalkans voor het faalmechanisme *opbarsten en piping* bedraagt 1/8.600 per jaar. De op één na grootste berekende faalkans voor het faalmechanisme *opbarsten en piping* bedraagt 1/15.000 per jaar. De overige berekende faalkansen voor het faalmechanisme *opbarsten en piping* zijn allemaal kleiner dan 1/100.000 per jaar.

De berekende faalkansen zijn vergeleken met de resultaten van de 3e toetsronde. Dit is gedaan door de in de toetsing berekende creepfactoren (de verhouding tussen de aanwezige kwelweglengte en het verval) te vergelijken met de berekende faalkansen. Deze vergelijking is weergegeven in Figuur 35 en Figuur 36. Hierin is te zien dat overal in de toetsing een score 'goed' of 'voldoende' is toegekend. Dit komt goed overeen met de relatief kleine berekende faalkansen.



Figuur 35: Vergelijking resultaten met toetsing 3e ronde - Noordzee





Figuur 36: Vergelijking resultaten met toetsing 3e ronde - Westerschelde

Macrostabieleit binnenwaarts

De berekende faalkansen liggen voor alle dijkvakken in de orde 10^{-6} tot 10^{-7} per jaar. De grootste berekende faalkans voor het faalmechanisme *macrostabieleit binnenwaarts* bedraagt 1/330.000 per jaar.

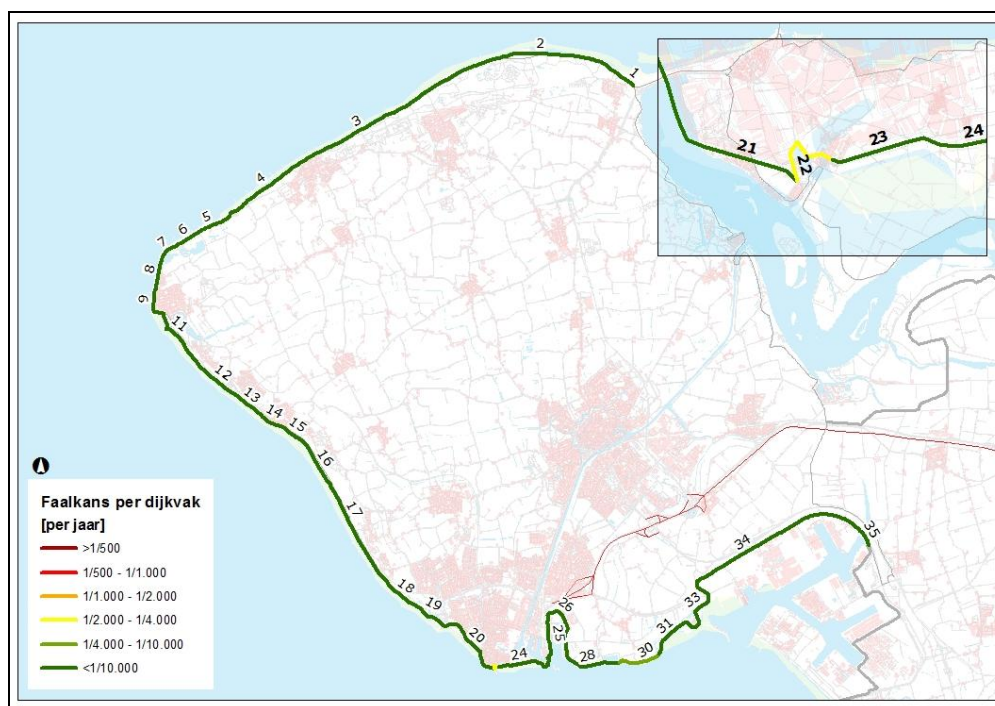
De berekende faalkansen zijn vergeleken met de resultaten van de 3e toetsronde. In de toetsing hebben alle dijkvakken in de toetsing het oordeel 'goed' of 'voldoende' gekregen. De berekende faalkansen komen dus goed overeen met de resultaten van de toetsing (3e ronde).

Duinafslag

De berekende faalkansen voor het faalmechanisme *duinafslag* zijn in de orde 10^{-5} tot 10^{-7} per jaar. Alle duinvakken hebben in de toetsing het oordeel 'goed' gekregen. Dit beeld komt goed overeen met de kleine berekende faalkansen.

3.5.3 Overzicht faalkansen dijken en duinen

In Figuur 37 is door middel van kleurtinten een overzicht gegeven van de berekende faalkansen voor de dijk- en duinvakken.



Figuur 37: Resultaat faalkansberekening

3.5.4 Faalkansen kunstwerken

De resultaten van de faalkansberekeningen voor de kunstwerken zijn weergegeven in Tabel 13. Indien tijdens de screening bepaald is dat de faalkans van een faalmechanisme voor een bepaald kunstwerk verwaarloosbaar is, is voor het bewuste faalmechanisme geen nadere analyse gedaan en geen faalkans berekend.

Kunstwerk	Faalkans (per jaar) per faalmechanisme				
	Overslag/ overloop	Betrouwbaar- heid sluiting	Onder- en achterloopsheid	Sterkte en stabiliteit	Gecom- bineerd
Coupure Deur loodshaven Vlissingen	<1/1.000.000	1/770.000	<1/400.000	<1/400.000	1/700.000
Coupure Schotbalken Koopmanshaven Vlissingen	<1/1.000.000	1/12.000	<1/400.000	<1/400.000	1/12.000
Keersluis Michiel de Ruyterhaven Vlissingen	1/3.800	1/80.000	-	-	1/3.600
Schutsluis buitenhaven Vlissingen	1/230.000	<1/1.000.000	<1/400.000	1/110.000	1/72.000
Uitwateringssluiss spuimiddel kanaal	-	1/50.000	<1/400.000	<1/400.000	1/50.000

Tabel 13: Berekende faalkansen voor de kunstwerken

Uit bovenstaande tabel blijkt dat keersluis Michiel de Ruyterhaven in Vlissingen de grootste bijdrage levert aan de totale faalkans van de kunstwerken. Dit wordt veroorzaakt door de faalkans voor *overslag/overloop*. Uit de analyse is gebleken dat er bij het overlopen van de keermuur een aanzienlijk debiet langs de binnentee van het dijklichaam gaat stromen waardoor het dijklichaam gaat eroderen en er uiteindelijk een bres kan ontstaan. Opgemerkt wordt dat hiervoor conservatieve erosiemodellen zijn gebruikt. Het verdient aanbeveling om nader onderzoek te doen na de erosiebestendigheid van bekleding (bestrating). In de toetsing is het faalmechanisme *overslag/overloop* beoordeeld als onvoldoende.

Ook coupure schotbalken Koopmanshaven Vlissingen levert een relatief grote bijdrage aan de overstromingskans. Dit is toe te schrijven aan het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting*. Dit komt voornamelijk door het feit dat er geen informatie beschikbaar is dat erop duidt dat er formeel iets geregeld is in de haven ten aanzien van een sluiting buiten het stormseizoen. In de toetsing is het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting* beoordeeld als goed Het aanpassen/opstellen van een goed sluitingsprotocol zal voor dit kunstwerk leiden tot een faalkansreductie.

3.6 Dominante vakken en faalmechanismen

In Tabel 14 is de top tien van vakken en kunstwerken weergegeven die de grootste bijdrage leveren aan de overstromingskans.

Volgnr.	Vak of kunstwerk	Faalkans dominant mechanisme [per jaar]	Dominant mechanisme
1	NZ22.35700.36000	1/2.500	Overloop/golfoverslag
2	VNK.29.04.001 (Keersluis Michiel de Ruyterhaven)	1/3.800	Overloop/golfoverslag
3	WS06.75000.73800	1/8.600	Opbarsten en piping
4	VNK.29.01.003 (Coupure Schotbalken Koopmanshaven)	1/12.000	Niet sluiten
5	WS05.75500.75000	1/15.000	Opbarsten en piping
6	NZ24.36400.37500	1/39.000	Overloop/golfoverslag
7	VNK.29.08.002 (Uitwateringssluis spuimiddel kanaal)	1/50.000	Niet sluiten
8	WS11.65400.64900	1/56.000	Overloop/golfoverslag
9	VNK.29.06.001 (Schutsluis buitenhaven)	1/110.000	Constructief falen
10	WS02.78200.76500	1/97.000	Overloop/golfoverslag

Tabel 14: Overzicht van de vakken en met de grootste berekende faalkansen

4 De gevolgen van overstromingen per ringdeel

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de gevolgen van een overstroming per ringdeel. Paragraaf 4.1 beschrijft de aanpak en uitgangspunten die bij de overstromingssimulaties en de berekeningen van de schade en de aantallen slachtoffers zijn gehanteerd. Paragraaf 4.2 geeft per ringdeel een overzicht van de overstromingspatronen met de maximale waterdiepten die optreden en de daarbij behorende gevolgen bij verschillende buitenwaterstanden (de zogenaamde basismatrix) en het maximaal scenario. Paragraaf 4.3 geeft een totaaloverzicht van de gevolgen zoals beschreven in paragraaf 4.4 in een samenvattende tabel en grafieken.

4.1 Aanpak en uitgangspunten

4.1.1 Algemeen

De gevolgen van een overstroming worden bepaald door de mate waarin een dijkkringgebied overstroomt en de kwetsbaarheid van de getroffen objecten of personen. In VNK2 wordt de wijze waarop het dijkkringgebied overstroomt, berekend door middel van overstromingssimulaties. Deze simulaties zijn voor dijkkring 29 uitgevoerd met SOBEK1D2D (2.13.002). Met behulp van de overstromingskenmerken (waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid) uit de overstromingssimulaties worden de gevolgen berekend met behulp van HIS-SSM v2.5, uitgedrukt in schade en slachtoffers [11].

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, beschouwt VNK2 meerdere mogelijke belastingcombinaties per ringdeel. In theorie zouden oneindig veel combinaties moeten worden beschouwd, maar in de praktijk is dat onmogelijk. Daarom worden per ringdeel alleen overstromingsberekeningen gemaakt voor belastingcombinaties bij toetspeil (tp), toetspeil minus één decimeringshoogte (tp-1d), toetspeil plus één decimeringshoogte (tp+1d) en toetspeil plus twee decimeringshoogten (tp+2d). Voor de duinvakken is uitgegaan van rekenpeil (rp) in plaats van toetspeil.

Voor de dijkvakken (ringdelen 6, 8 en 11 t/m 16) zijn de overstromingsberekeningen bij buitenwaterstanden met de volgende overschrijdingsfrequenties gemaakt:

- | | | |
|----------------------|--|-----------|
| – 1/400 per jaar | – toetspeil min één decimeringshoogte | (tp - 1d) |
| – 1/4.000 per jaar | – toetspeil | (tp) |
| – 1/40.000 per jaar | – toetspeil plus één decimeringshoogte | (tp + 1d) |
| – 1/400.000 per jaar | – toetspeil plus twee decimeringshoogten | (tp + 2d) |

Voor de duinvakken (ringdelen 1 t/m 5, 7 en 9 t/m 10) zijn de overstromingsberekeningen bij buitenwaterstanden met de volgende overschrijdingsfrequenties gemaakt:

- | | | |
|------------------------|--------------------------------------|-----------|
| – 1/1.860 per jaar | - rekenpeil min 1 decimeringshoogte | (rp - 1d) |
| – 1/18.600 per jaar | - rekenpeil | (rp) |
| – 1/186.000 per jaar | - rekenpeil plus 1 decimeringshoogte | (rp + 1d) |
| – 1/1.860.000 per jaar | - rekenpeil plus 2 decimeringshoogte | (rp + 2d) |

In *Tabel 15* is een overzicht gegeven van de toetspeilen of rekenpeilen (afhankelijk of het een dijk- of duingebied betreft) en decimeringshoogten per ringdeel.

Voor sommige breslocaties zijn geen nieuwe overstromingssimulaties gemaakt. Deze oude simulaties zijn met SOBEK1D2D versie 2.11.002 gemaakt.

Breslocatie	Toetspeil [m + NAP]	Rekenpeil [m + NAP]	Decimeringshoogte [m]
1_Vrouwenpolder	-	5,5	0,59
2_Oranjezon	-	5,4	0,50
3_Oostkapelle	-	5,4	0,50
4_Domburg	-	5,3	0,49
5_Noordduin	-	5,3	0,49
6_Westkapelle	4,9	-	0,48
7_Boudewijnskerke	-	5,4	0,49
8_Zoutelande	5,1	-	0,51
9_Dishoek	-	5,5	0,52
10_Vlissingen-Zwanenburg	5,2	-	0,53
11_Vlissingen Stad	5,3	-	0,54
12_Buitenhaven-west	5,3	-	0,55
13_Buitenhaven-oost	5,3	-	0,55
14_Ritthem	5,4	-	0,56
15_Rammekens	5,4	-	0,56

Tabel 15: Toets- of rekenpeil en decimeringshoogte per ringdeel

In de overstromingsberekeningen is onderscheid gemaakt tussen de opbouw van waterkeringen, namelijk waterkeringen bestaande uit zand (duinen) of waterkeringen bestaande uit een zandkern met een afdeklaag van klei (harde keringen).

De samenstelling van een dijklichaam heeft invloed op de bresgroei (snelheid van de bresvorming) en daarmee op de gevolgen. Voor de dijkring geldt dat de berekeningen van ringdelen 1 tot en met 5 en 7 tot en met 9 gemaakt zijn met het uitgangspunt dat de keringen een zandkern hebben. Voor de overige ringdelen (6 en 10 tot en met 15) zijn in de berekeningen de uitgangspunten gehanteerd voor keringen bestaande uit een zandkern met klei afdeklaag. Voor alle overstromingsscenario's is een kritieke stroomsnelheid (U_c) bij de bres van 0,2 m/s gehanteerd.

Ten aanzien van de schadegegevens gaat VNK2 uit van de situatie in 2006. De slachtofferberekeningen zijn gebaseerd op bevolkingsgegevens uit het jaar 2000 zoals opgenomen in de HIS-SSM versie 2.5. Uit vergelijking met bevolkingsgegevens van het CBS uit het jaar 2010 blijkt dat de bevolkingstoename in het dijkringgebied met 1% zeer beperkt is (ruim 1.000 inwoners). Deze bevolkingsgroei heeft een verwaarloosbaar effect op het berekende aantal slachtoffers.

Daarnaast bevinden zich in dijkring 29 twee grotere vakantieparken (Hof Domburg en Park Reygersbergh) tussen Oostkapelle en Domburg. Deze zijn niet opgenomen in de database van HIS-SSM. Hof Domburg is een recreatief vakantiepark. Park Reygersberg is een permanent bewoond vakantiepark. Aangenomen wordt dat er maximaal 700 personen aanwezig zullen zijn in Hof Domburg. Dit betekent dat het aantal inwoners in Walcheren met minder dan 1% toeneemt.

Ten slotte staat de ontwikkeling van een nieuwbouwwijk tussen Middelburg en Ritthem gepland. Hierdoor komen er orde grootte 5.000 mensen extra te wonen in Walcheren. Ten opzichte van het totaal aantal inwoners gaat het hier om een toename van 5%.

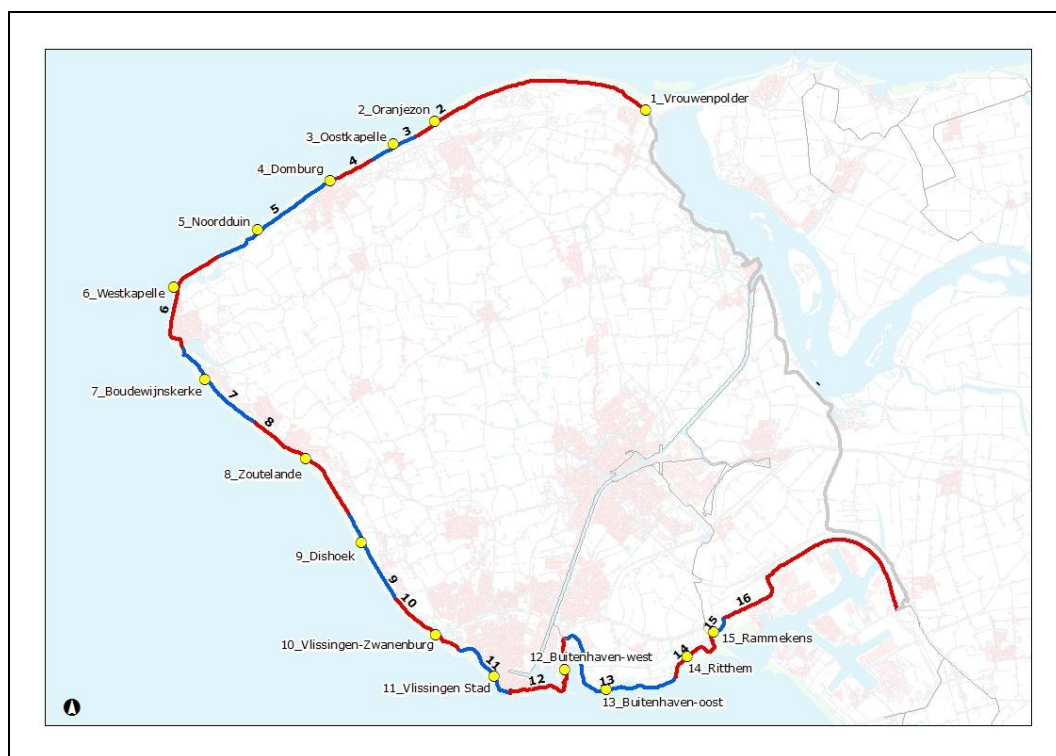
Bresgroei parameter $f_1 = 1,2$ [-] en bres groeit in 10 minuten tot het maaiveld
 Bresgroei parameter $f_1 = 1,3$ [-] en bres groeit in 1 uur tot het maaiveld

4.1.2 Ringdelen

Een ringdeel omvat een gedeelte van de dijkkring waarvoor geldt dat het overstromingsverloop vrijwel onafhankelijk is van de exacte doorbraaklocatie binnen dat ringdeel. De overstromingsberekeningen per ringdeel vormen de basis voor de beschrijving van de overstromingsscenario's. Er zijn voor de dijkkring 16 ringdelen en 16 breslocaties (ringdeel 11 is een ringdeel met twee breslocaties) gedefinieerd, zoals weergegeven in Figuur 38:

- Ringdeel 1 tot en met 11 liggen aan de Noordzee;
- Ringdeel 12 tot en met 15 liggen met hun breslocatie aan de Westerschelde;
- Ringdeel 16 bestaat uit het industriegebied van de Sloehaven. Hier is een breed en hoog voorland aanwezig. Een doorbraak lijkt hier zeer onwaarschijnlijk, met uitzondering van een klein deel bij de laatste insteekhaven. Hier is nauwelijks voorland aanwezig. Dit is de enige locatie in dit ringdeel waar een stroomgat zou kunnen ontstaan. Een doorbraak op deze locatie resulteert echter in een overstroming in dijkkringgebied 30 (Figuur 57). Voor de risicoberekening van dijkkringgebied 29 is daarom voor dit ringdeel geen overstromingsberekening gemaakt.

Een exacte beschrijving van het ringdeel en een overzicht van de vakken die in het ringdeel zijn gelegen is gegeven in bijlage C.



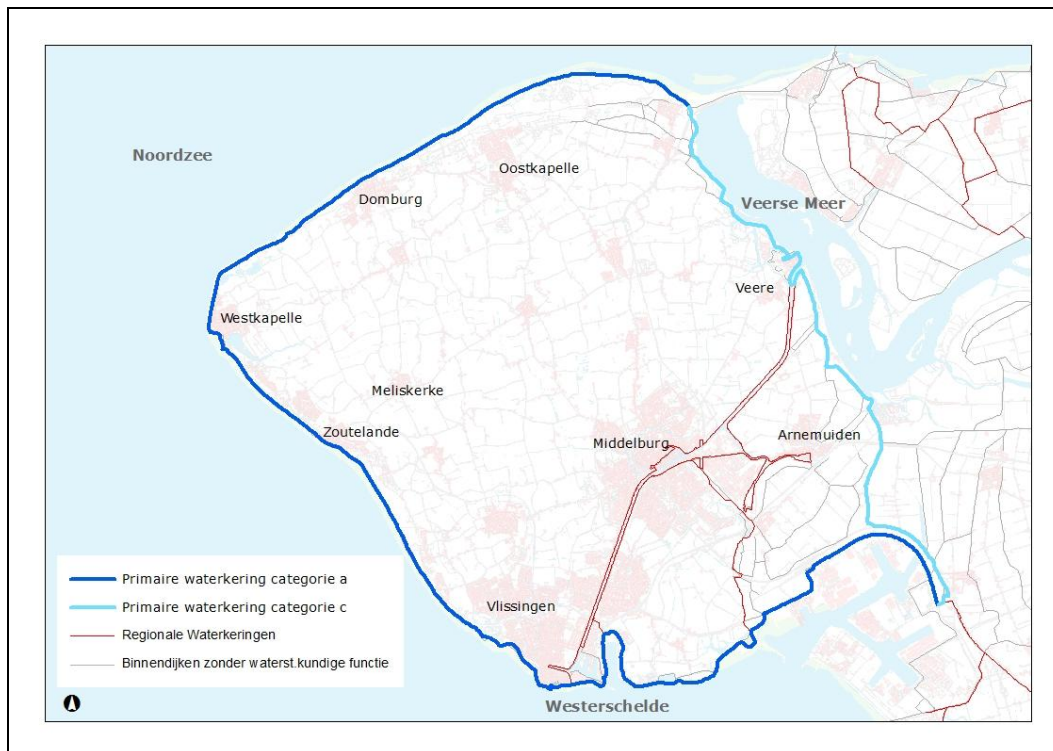
Figuur 38: Ringdelen met bijbehorende breslocaties

4.1.3 Verhoogde lijnelementen

Bij de overstromingsberekeningen is er van uitgegaan dat regionale keringen met waterstaatkundige functie standzeker zijn. In de overstromingsberekeningen zijn de coupures in regionale keringen met een waterstaatkundige functie gesloten (rode keringen in Figuur 39). Hiermee is gesimuleerd dat deze regionale keringen alleen overlopen en niet zullen doorbreken. Het aantal hooggelegen lijnelementen dat het overstromingspatroon beïnvloed is relatief beperkt. De belangrijkste regionale keringen liggen aan weersijden van het Kanaal door Walcheren. Het maaiveld van

Walcheren is heel vlak en door de grote hoeveelheid interne waterlopen verspreidt het water zich snel.

Figuur 39 geeft een overzicht van de regionale keringen met of zonder waterstaatkundige functie gelegen in dijkkring 29.



Figuur 39: Regionale keringen met waterstaatkundige functie (rode keringen)

4.1.4 Evacuatie

Voor het bepalen van het aantal slachtoffers als gevolg van een overstroming zijn de mogelijkheden voor (preventieve) evacuatie van belang. In de praktijk wordt de effectiviteit van preventieve evacuaties echter beperkt door de geringe voorspelbaarheid van overstromingen, de capaciteit van de aanwezige infrastructuur en de condities waaronder een evacuatie moet worden uitgevoerd, zoals hoge windsnelheden en sociale onrust [7].

In VNK2 wordt rekening gehouden met preventieve evacuatie door het aantal slachtoffers te berekenen voor vier evacuatie-deelscenario's [8]. In Tabel 16 is een overzicht gegeven van de evacuatie-deelscenario's met de bijbehorende ingeschatte kansen van voorkomen voor de dijkkring. De evacuatiefracties drukken het deel van de bevolking uit dat preventief geëvacueerd kan worden. De conditionele kans is de kans dat bij een overstroming dat deel van de bevolking daadwerkelijk geëvacueerd wordt. Op basis van de evacuatiefracties en de conditionele kansen kan de verwachtingswaarde van de evacuatie worden berekend. Uit Tabel 16 kan worden afgeleid dat de verwachtingswaarde voor evacuatie voor de dijkkring 0,26 per overstroming is. Dat betekent dat bij een overstroming gemiddeld 26% van de bevolking preventief is geëvacueerd.

Nadat een bres is opgetreden kunnen mensen ook nog vluchten of worden geëvacueerd. Dit gedrag is echter onderdeel van de functies waarmee slachtofferkansen worden bepaald. Er wordt daarom in deze paragraaf alleen gesproken over preventieve evacuatie.

Evacuatie-deelscenario		Evacuatiefractie (-)	Conditionele kans (-)	Evacuatie per deelscenario (-)
Overstroming kort van tevooren verwacht of onverwacht	1. Geen evacuatie	0,00	0,50	0,00
	2. Ongeorganiseerde evacuatie	0,38	0,10	0,038
Overstroming ruim van tevooren verwacht	3. Ongeorganiseerde evacuatie	0,50	0,30	0,15
	4. Georganiseerde evacuatie	0,72	0,10	0,072
Verwachtingswaarde voor de evacuatie:				0,26

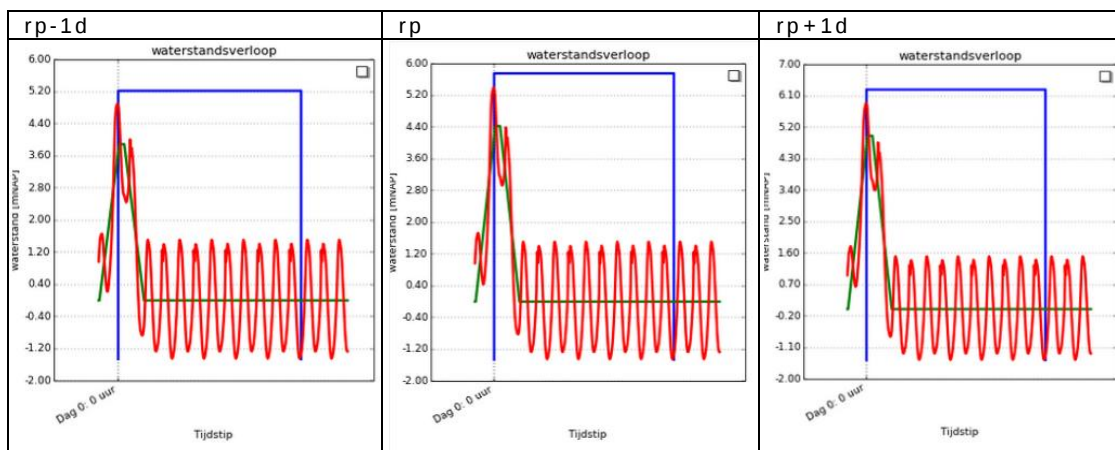
Tabel 16: Evacuatiefracties en conditionele kans voor vier verschillende evacuatie-deelscenario's

De evacuatie-deelscenario's hebben effect op het aantal te verwachten slachtoffers bij een overstroming, maar (in beperkte mate) ook op de berekende schade. Voertuigen en goederen worden immers naar veilig gebied verplaatst.

4.1.5 Randvoorwaarden

Voor de doorbraaklocaties bij ringdelen 1 tot en met 11 is een overstromingssimulatie gemaakt bij de randvoorwaarden die voor die de Noordzee van toepassing zijn. Voor de ringdelen 12 tot en met 15 is een overstromingssimulatie gemaakt bij de randvoorwaarden die voor de Westerschelde van toepassing zijn. Alle overstromingsberekeningen zijn gemaakt voor een stormduur van 35 uur met een bijbehorende piekwaterstand van 4 uur (zie Figuur 40).

Onderstaande grafieken geven een beeld van de gebruikte randvoorwaarden voor de overstromingsberekeningen (als voorbeeld de locatie Oranjezon – ringdeel 2).



Figuur 40: Randvoorwaarden doorbraaklocatie Oranjezon (ringdeel 2) aan de Noordzee (blauw is simulatieduur, rood is de buitenwaterstand en groen de stormopzet)

4.2 Resultaten overstromingsberekeningen per ringdeel

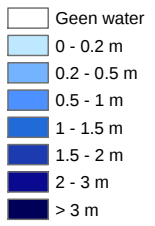
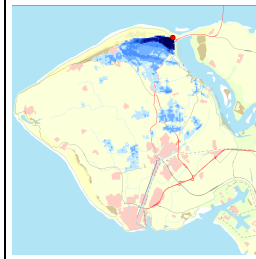
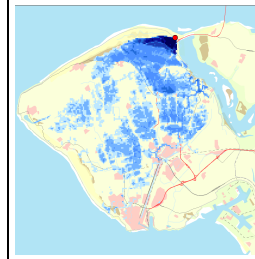
De volgende subparagrafen beschrijven per ringdeel de overstromingsverlopen en de gevolgen van de overstromingen uitgedrukt in schade en slachtoffers. Per ringdeel is één doorbraaklocatie bepaald waarvoor de verschillende overstromingsberekeningen zijn uitgevoerd. Per ringdeel zijn figuren weergegeven van de maximale waterdiepten die optreden. Deze figuren geven naast een indicatie van de waterdiepten ook inzicht in het overstroomd oppervlak van het dijkkringgebied. De gevolgen uitgedrukt in verwachte schade zijn afgerond op vijf miljoen euro en de gevolgen uitgedrukt in slachtoffers op vijf personen. Voor elke overstromingsberekening wordt een range in slachtofferaantallen genoemd. Dit is het effect van de doorgerkende evacuatie-deelscenario's. Het minimum van de range is het verwachte slachtofferaantal bij een optimaal georganiseerde evacuatie (deelscenario 4). Het maximum van de range is het verwachte slachtofferaantal wanneer geen evacuatie plaatsvindt (deelscenario 1).

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 bressen ontstaan op meerdere locaties (bijvoorbeeld ringdeel 1 en ringdeel 2). De kenmerken van een overstromingsscenario met meervoudige doorbraken worden afgeleid uit die van de enkelvoudige doorbraken.

4.2.1 Ringdelen Noordzee

Ringdeel 1: Doorbraaklocatie Vrouwenpolder

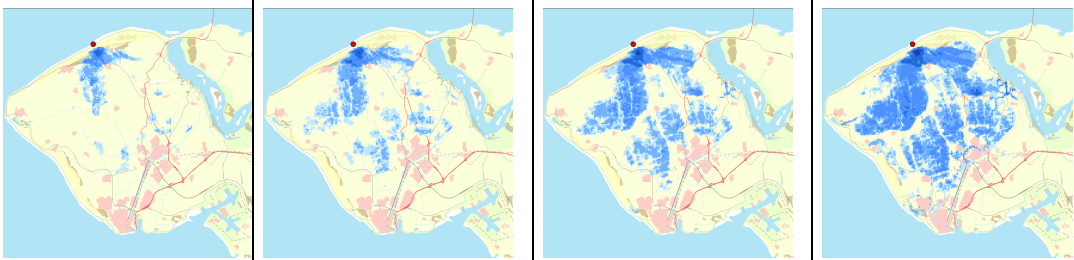
Ringdeel 1 is een kort ringdeel van ongeveer 1 km. Een doorbraak langs ringdeel 1 treedt op ter hoogte van Vrouwenpolder. Bij een doorbraak bij rp-1d en rp stroomt het water niet over de Noorddijk, waardoor het overstroomde gebied klein is. De maximale waterdiepten zijn hier 3,0 - 3,5 m. Bij een overstroming bij rp+1d of rp+2d stroomt het water over de Noorddijk. Bij een doorbraak bij rp+1d stroomt het water richting Serooskerke en Middelburg, maar zijn de maximale waterdiepten aan de zuidzijde van de Noorddijk beperkt tot 1,0 - 1,5 m. Bij rp+2d overstroomt een groot deel van de dijkkring en komt het water tot aan Middelburg (Middelburg zelf blijft grotendeels droog). De verwachte schade varieert van 10 miljoen euro bij rp-1d tot 175 miljoen euro bij een doorbraak bij rp+2d.

	rp-1d	rp	rp+1d	rp+2d
Waterdiepte (m) 				
Schade [M€]	10	15	65	175
Slachtoffers	0 - 5	0 - 10	5 - 15	5 - 20

Figuur 41: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Vrouwenpolder voor vier buitenwaterstanden

Ringdeel 2: Doorbraaklocaties Oranjezon

Ringdeel 2 is een lang en breed duintraject, dat loopt tussen Oranjezon en Oostkapelle. De maximale waterdiepten treden op in Oostkapelle, namelijk 1,0 - 1,8 m. Het water stroomt bij een doorbraak bij rp-1d, rp en rp+1d vanuit Oostkapelle in zuidoostelijke richting ten westen van de lijn Oostkapelle - Grijskerke en ten oosten van de lijn Oostkapelle – Serooskerke. Bij een doorbraak bij rp+2d stroomt het water tot aan Middelburg (dat slechts beperkt overstroomt). Woonkernen zoals Grijskerke en Serooskerke overstroomden niet. Het grootste gedeelte van de schade treedt op in Oostkapelle. Er worden maximaal 10 slachtoffers verwacht en er treedt een schade van 230 miljoen euro op bij een overstroming bij rp+2d.

	rp-1d	rp	rp+1d	rp+2d
Waterdiepte (m)				
Schade [M€]	55	85	120	230
Slachtoffers	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 10

Figuur 42: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Oranjezon voor vier buitenwaterstanden

Ringdeel 3: Doorbraaklocatie Oostkapelle

Een doorbraak langs ringdeel 3 zorgt voor een overstroming ten westen van Oostkapelle. Bij een doorbraak stroomt het water richting Grijskerke tot aan Middelburg. Domburg overstroomt gedeeltelijk bij een buitenwaterstand bij rp+1d en rp+2d. Het zuidelijke deel van het vakantiepark Hof Domburg overstroomt bij een doorbraak bij rp+2d.

Het overstromingspatroon is vergelijkbaar met een doorbraak bij ringdeel 2. De schade is iets kleiner dan bij een doorbraak bij ringdeel 2 (van 10% bij rp+2d tot 40% bij rp-1d). Dat komt hoofdzakelijk doordat de maximale waterdiepte in Oostkapelle lager is dan bij een doorbraak bij ringdeel 2, waardoor de schade in Oostkapelle ook kleiner is. Bij deze doorbraak worden maximaal 10 slachtoffers verwacht bij een doorbraak bij rp+2d.

	rp-1d	rp	rp+1d	rp+2d
Waterdiepte (m) Geen water 0 - 0.2 m 0.2 - 0.5 m 0.5 - 1 m 1 - 1.5 m 1.5 - 2 m 2 - 3 m > 3 m				
Schade [M€]	35	60	90	215
Slachtoffers	0 – 5	0 – 5	0 – 5	0 – 5

Figuur 43: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Oostkapelle voor vier buitenwaterstanden

Ringdeel 4: Doorbraaklocatie Domburg

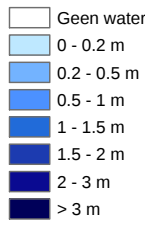
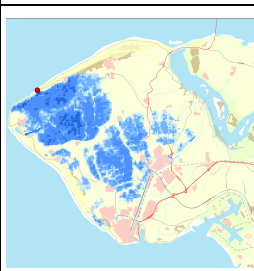
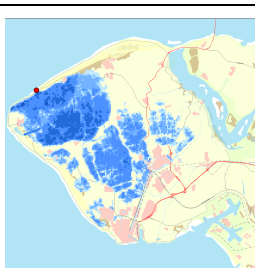
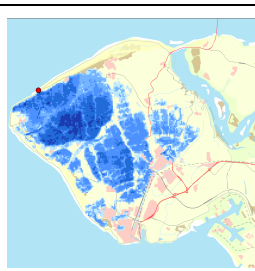
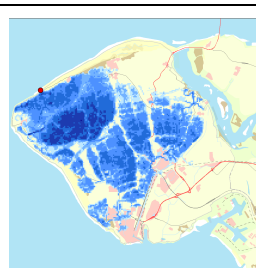
Bij een doorbraak langs ringdeel 4 overstroomt Domburg en stroomt het water vervolgens richting Westkapelle en Middelburg, maar beide plaatsen blijven droog. Ter plaatse van Domburg treden de grootste maximale waterdiepten op van orde grootte 2,5 - 3,0 m bij rp+2d. Het grootste gedeelte van de schade wordt bepaald in Domburg en Aagtekerke (iets ten zuiden van Domburg gelegen). Het vakantiepark Hof Domburg overstroomt ook gedeeltelijk (alleen zuidelijke deel), maar de maximale waterdiepten blijven hier beperkt tot 0,50 m bij rp+2d. De schade wordt hier naar verwachting onderschat door HIS-SSM. De extra schade zal orde grootte 5 miljoen euro zijn, waarbij is verondersteld dat de helft van de in totaal 350 bungalows met 0,50 m water overstroomt. Het vakantiepark Hof Domburg overstroomt ook bij een doorbraak van ringdelen 5 tot en met 10. De maximale waterdiepte varieert van 0,5 - 1,5 m bij rp+2d. Bij een overstroming met een maximale waterdiepte van 1,5 m ter plaatse van het vakantiepark bedraagt de extra schade ongeveer 8 miljoen euro. Bij deze waterdiepte (kleiner dan 1,5 m) is de mortaliteit zeer klein. Een toename van het aantal slachtoffers is dus verwaarloosbaar.

	rp-1d	rp	rp+1d	rp+2d
Waterdiepte (m) Geen water 0 - 0.2 m 0.2 - 0.5 m 0.5 - 1 m 1 - 1.5 m 1.5 - 2 m 2 - 3 m > 3 m				
Schade [M€]	45	65	100	140
Slachtoffers	0 – 5	0 - 10	5 - 10	5 - 10

Figuur 44: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Domburg voor vier buitenwaterstanden

Ringdeel 5: Doorbraaklocatie Noordduin

Bij een doorbraak langs ringdeel 5 overstroomt een groot deel van het westen en zuiden van de dijkkring. Het overstromingspatroon bij een doorbraak bij rp-1d is qua orde grootte vergelijkbaar met een doorbraak van ringdeel 4 bij Domburg bij rp+2d (dit geldt ook voor de schade). De gevolgen bij een doorbraak van ringdeel 5 zijn groter dan bij een doorbraak van ringdelen 1 tot en met 4, omdat de duinenrij hier een stuk smaller is. Het maaiveld net achter de bres ligt een stuk lager, met als gevolg dat er meer water het gebied in stroomt. De schade is ongeveer vier keer groter dan bij een doorbraak bij ringdeel 4 ongeacht de terugkeertijd van de buitenwaterstand. Het aantal slachtoffers varieert van 5 tot 25 bij rp+2d. De schade neemt met ongeveer 5 - 10 miljoen euro toe door de overstroming van vakantiepark Hof Domburg (zie toelichting ringdeel 4: Doorbraaklocatie Domburg).

	rp-1d	rp	rp+1d	rp+2d
Waterdiepte (m) 				
Schade [M€]	155	230	385	535
Slachtoffers	0 – 5	0 - 10	5 - 15	5 - 25

Figuur 45: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Noordduin voor vier buitenwaterstanden

Ringdeel 6: Doorbraaklocatie Westkapelle

Een doorbraak langs ringdeel 6 zorgt voor een overstroming van Westkapelle. Vervolgens stroomt het water in zuidoostelijke richting naar Middelburg en Vlissingen. Het overstromingspatroon komt overeen met een doorbraak bij ringdeel 5, met uitzondering dat Westkapelle nu wel overstroomt. De maximale waterdiepten zijn qua orde grootte 0,1 – 0,5 m groter dan bij een doorbraak van ringdeel 5. Bij Westkapelle is de maximale waterdiepte ongeveer 0,5 m bij een doorbraak bij tp-1d tot 1,50 m bij tp+2d. Het verschil in schade ten opzichte van een doorbraak bij ringdeel 5 is extra schade in Westkapelle en een grotere schadepost in Middelburg en Vlissingen. Het verwachte aantal slachtoffers loopt uiteen van 5 – 20 bij tp+1d tot 20 - 70 bij tp+2d. De sterke toename van het aantal slachtoffers wordt veroorzaakt doordat bij een doorbraak bij tp+2d een groter deel van de stedelijke kernen van Vlissingen en Middelburg overstroomt. De verwachte schade neemt met ongeveer 5 - 10 miljoen euro toe door de overstroming van vakantiepark Hof Domburg (zie toelichting ringdeel 4: Doorbraaklocatie Domburg).

	tp-1d	tp	tp+1d	tp+2d
Waterdiepte (m) Geen water 0 - 0.2 m 0.2 - 0.5 m 0.5 - 1 m 1 - 1.5 m 1.5 - 2 m 2 - 3 m > 3 m				
Schade [M€]	200	335	470	1.145
Slachtoffers	0 – 5	5 - 15	5 - 20	20 - 70

Figuur 46: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Westkapelle voor vier buitenwaterstanden

Ringdeel 7: Doorbraaklocatie Boudewijnskerke

Ringdeel 7 is het traject tussen Westkapelle en Zoutelande. Bij een doorbraak bij ringdeel 7 is het overstroomde gebied vergelijkbaar met het overstroomde gebied bij een doorbraak van ringdeel 6. De maximale waterdiepte is bij een doorbraak bij ringdeel 7 kleiner dan bij ringdeel 6, omdat er bij een doorbraak van ringdeel 7 minder water het dijkkringgebied instroomt (minder groot verval over de bres, waardoor de bres minder snel groeit). Zodoende overstroomt een minder groot gedeelte van het stedelijke gebied van Middelburg en Vlissingen.

Hierdoor is de verwachte schade 1,5 - 2 maal kleiner dan bij een doorbraak van ringdeel 6. Er worden maximaal 20 slachtoffers verwacht bij een doorbraak bij rp+2d.

De verwachte schade neemt met ongeveer 5 – 10 miljoen euro toe door de overstroming van vakantiepark Hof Domburg bij een doorbraak bij rp+1d en rp+2d (zie toelichting ringdeel 4: Doorbraaklocatie Domburg).

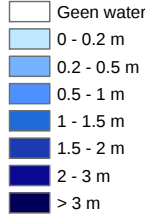
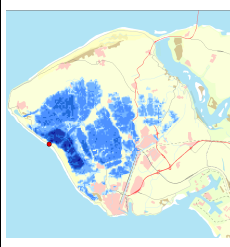
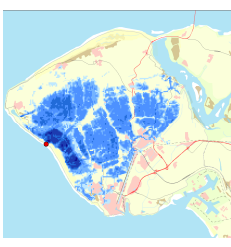
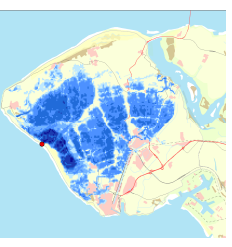
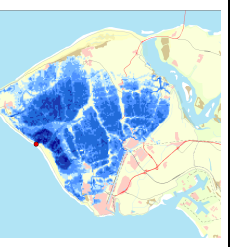
	rp-1d	rp	rp+1d	rp+2d
Waterdiepte (m) Geen water 0 - 0.2 m 0.2 - 0.5 m 0.5 - 1 m 1 - 1.5 m 1.5 - 2 m 2 - 3 m > 3 m				
Schade [M€]	135	205	330	520
Slachtoffers	0 - 5	0 – 5	5 – 10	5 - 20

Figuur 47: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Boudewijnskerke voor vier buitenwaterstanden

Ringdeel 8: Doorbraaklocatie Zoutelande

Bij een doorbraak langs ringdeel 8 primaire kering van ringdeel 7 ligt tussen Westkapelle en Zoutelande. Na de doorbraak stroomt het water in noordelijke richting naar Domburg (water bereikt alleen Domburg bij een doorbraak bij rp+2d) en in zuidoostelijke richting Middelburg en Vlissingen. Het maaiveld net achter de bres bij Zoutelande ligt lager dan het maaiveld net achter de bres bij ringdeel 7, waardoor er bij een doorbraak bij ringdeel 8 meer water het gebied instroomt. Bij een doorbraak bij ringdeel 8 blijft Westkapelle grotendeels droog. De totale schade is bij een doorbraak bij rp-1d, rp en rp+1d qua orde grootte vergelijkbaar met de schade bij een doorbraak bij ringdeel 6. Bij een doorbraak bij rp+2d is de schade bij ringdeel 8 ongeveer 1,5 keer kleiner dan de schade bij ringdeel 6, omdat een kleiner gebied van Vlissingen en Middelburg overstroomt met lagere maximale waterdiepten.

De verwachte schade neemt met ongeveer 5 – 10 miljoen euro toe door de overstroming van vakantiepark Hof Domburg bij een doorbraak bij rp+2d (zie toelichting ringdeel 4: Doorbraaklocatie Domburg).

	rp-1d	rp	rp+1d	rp+2d
Waterdiepte (m) 				
Schade [M€]	275	360	490	720
Slachtoffers	5 - 10	5 - 15	5 - 25	10 - 40

Figuur 48: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Zoutelande voor vier buitenwaterstanden

Ringdeel 9: Doorbraaklocatie Dishoek

Een doorbraak bij Dishoek (ringdeel 9) zorgt ervoor dat bijna het hele dijkringgebied overstroomt. De maximale waterdiepte treedt net achter de bres op en is maximaal 2,5 m bij rp+2d. Het grootste deel van de schade treedt op in Vlissingen in Middelburg. De verwachte schade varieert van 775 miljoen euro bij rp-1d tot ruim 2,3 miljard euro bij een doorbraak bij rp-2d. Er worden maximaal 60 - 220 slachtoffers verwacht bij een overstroming bij rp+2d. Het aantal slachtoffers is het grootst in de steden Vlissingen en Middelburg.

De verwachte schade neemt met ongeveer 5 – 10 miljoen euro toe door de overstroming van vakantiepark Hof Domburg bij een doorbraak (zie toelichting ringdeel 4: Doorbraaklocatie Domburg).

	rp-1d	rp	rp+1d	rp+2d
Waterdiepte (m) Geen water 0 - 0.2 m 0.2 - 0.5 m 0.5 - 1 m 1 - 1.5 m 1.5 - 2 m 2 - 3 m > 3 m				
Schade [M€]	775	1.160	2.160	2.320
Slachtoffers	15 – 45	20 – 75	50 – 185	60 – 220

Figuur 49: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Dishoek voor vier buitenwaterstanden

Ringdeel 10: Doorbraaklocatie Vlissingen-Zwanenburg

Een doorbraak ter plaatse van Vlissingen – Zwanenburg leidt tot de grootste gevolgen in schade en slachtoffers van heel de dijkkring. De maximale waterdiepten zijn net achter de bres bij Vlissingen het grootst. Hier treden maximale waterdiepten op van 2,5 meter bij een doorbraak bij rp-1d tot wel 4,0 m bij rp+2d. Het maaiveld net achter de bres ligt laag (ongeveer 1 meter lager dan ter plaatse van de breslocatie van ringdeel 9), waardoor er veel water het gebied in blijft stromen. Het overstroomd gebied is vergelijkbaar met het gebied dat onderloopt bij een doorbraak bij ringdeel 9. Doordat de maximale waterdiepten bij een doorbraak van ringdeel 10 groter zijn, is de verwachte schade ongeveer 1,5 - 2,0 keer zo groot. Het aantal slachtoffers is 3 – 5 keer zo groot bij een doorbraak bij rp-1d, rp en rp+1d. Bij een doorbraak bij rp+2d is het verwachte aantal slachtoffers acht keer groter dan bij een doorbraak bij ringdeel 9. Dit wordt veroorzaakt door stijgsnelheden groter dan 4,0 m/h ter plaatse van Vlissingen bij ringdeel 10 bij rp+2d.

De verwachte schade neemt met ongeveer 5 – 10 miljoen euro toe door de overstrooming van vakantiepark Hof Domburg bij een doorbraak bij rp, rp+1d en rp+2d (zie toelichting ringdeel 4: Doorbraaklocatie Domburg)

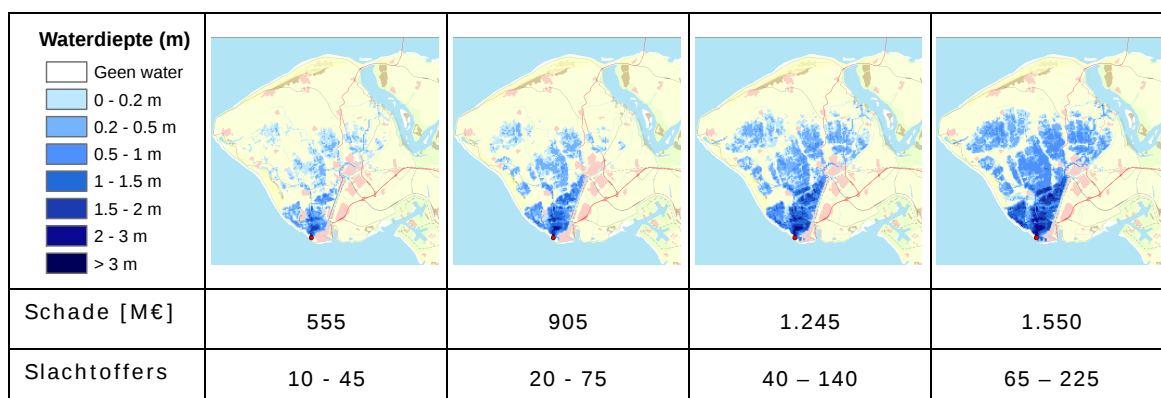
	rp-1d	rp	rp+1d	rp+2d
Waterdiepte (m) Geen water 0 - 0.2 m 0.2 - 0.5 m 0.5 - 1 m 1 - 1.5 m 1.5 - 2 m 2 - 3 m > 3 m				
Schade [M€]	1.685	2.140	2.710	3.420
Slachtoffers	60 – 205	95 – 340	175 – 630	510 – 1.820

Figuur 50: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Vlissingen-Zwanenburg voor vier buitenwaterstanden

Ringdeel 11: Doorbraaklocatie Vlissingen-Stad

Bij een doorbraak van ringdeel 11 ter plaatse van Vlissingen-Stad is het overstroomde oppervlak relatief klein in vergelijking met ringdeel 9. Het maaiveld net achter de bres ligt 1,5 m hoger (NAP +0,10 m) dan ter plaatse van ringdeel 10 Vlissingen-Zwanenburg (NAP -1,30 m). De schade is echter relatief hoog, omdat de grootste maximale waterdiepten (2,5 – 3,0 meter bij tp+2d) optreden ter plaatse van het stedelijk gebied van Vlissingen en in iets minder mate in Middelburg.

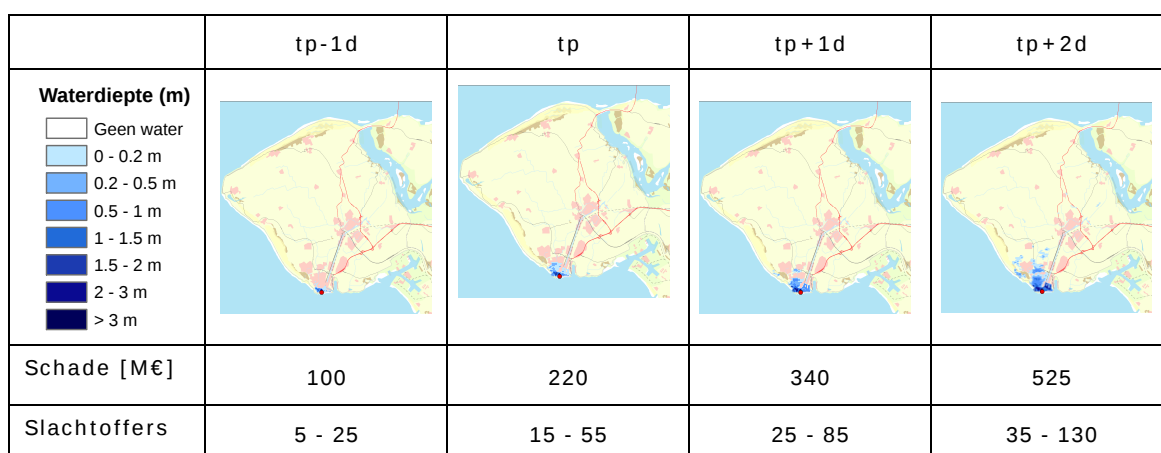
De verwachte gevolgen zijn 555 miljoen euro bij tp-1d en ruim 1,5 miljard euro bij tp+2d en er vallen maximaal 65 - 225 slachtoffers bij tp+2d. Het aantal slachtoffers is vergelijkbaar met het aantal slachtoffers bij bijvoorbeeld een doorbraak bij Dishoek. Het verschil hierbij is dat bij een doorbraak bij ringdeel 11 het grootste gedeelte van de slachtoffers in de stad Vlissingen valt en bij ringdeel 9 er ook slachtoffers in de overige kernen van het dijkringgebied vallen.



Figuur 51: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Vlissingen-Stad voor vier buitenwaterstanden

Ringdeel 11: Doorbraaklocatie Vlissingen-Stad Arsenaal

Voor ringdeel 11 is tevens een overstromingsscenario voor een doorbraak ter hoogte van het Arsenaal beschouwd. Bij een doorbraak bij alle buitenwaterstanden geldt dat de gevolgen groter zijn dan bij een doorbraak van Vlissingen-Stad. De schade bij tp is ongeveer 3 à 4 keer kleiner en het aantal slachtoffers is ongeveer 1,5 keer zo klein.

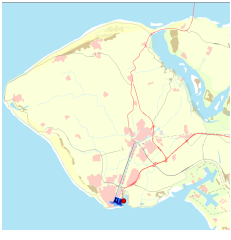
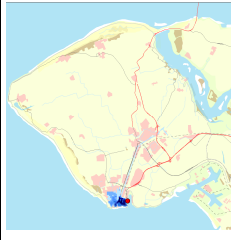
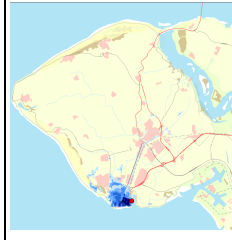
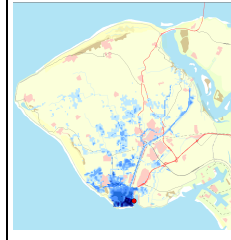


Figuur 52: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Vlissingen-Stad Extra voor vier buitenwaterstanden

4.3 Ringdelen Westerschelde

Ringdeel 12: Doorbraaklocatie Buitenhaven-west

Een doorbraak langs ringdeel 12 zorgt ervoor dat de Buitenhaven-west en een gedeelte van de achtergelegen stad Vlissingen overstroomt. Het water stroomt over de spoorlijn Vlissingen - Middelburg richting het industriegebied rondom Buitenhaven naar het bewoonde gebied van Vlissingen. Water stroomt ook in het Kanaal van Walcheren en verplaatst zich zo naar de rest van het dijkkringgebied. Het maaiveld net achter de bres ligt vrij hoog (NAP +0,90 m) dus er stroomt maar voor een korte tijdsperiode water het dijkkringgebied in. De maximale waterdiepten zijn lokaal hoog (qua orde grootte 2,0 – 2,5 m bij tp+2d), maar in het grootste deel van het overstroomd gebied gering (< 0,5 m). De schade is maximaal 765 miljoen euro en er worden maximaal 25 - 85 slachtoffers verwacht bij tp+2d.

	tp-1d	tp	tp+1d	tp+2d
Waterdiepte (m) Geen water 0 - 0.2 m 0.2 - 0.5 m 0.5 - 1 m 1 - 1.5 m 1.5 - 2 m 2 - 3 m > 3 m				
Schade [M€]	10	200	490	765
Slachtoffers	0	5 - 10	10 – 45	25 – 85

Figuur 53: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Buitenhaven-west voor vier buitenwaterstanden

Ringdeel 13: Doorbraaklocatie Buitenhaven-oost

De doorbraaklocatie van ringdeel 13 ligt ter plaatse van de Buitenhaven-oost. Bij een doorbraak loopt het gebied tussen Vlissingen en Middelburg ten oosten van het Kanaal door Walcheren onder. Het overstroomde oppervlak wordt begrensd door de stad Vlissingen en de provinciale weg N57 (de provinciale weg N662 en snelweg A58 hebben geen verhoogde ligging).

Zowel bij een doorbraak bij tp-1d als bij een doorbraak bij tp+2d komt er het water hoog te staan (4,0 - 5,0 m); bij tp-1d treedt deze waterdiepte lokaal op, bij tp+2d bijna in het hele compartiment.

De gevolgen bij een doorbraak bij tp+2d zijn ongeveer 2,5 miljard euro schade en tussen de 1.500 – 5.335 slachtoffers. Het grote aantal slachtoffers is het gevolg van grote waterdiepten in combinatie met de hoge stijgsnelheden ter plaatse van het stedelijke gebied.

Ten zuiden van de stad Middelburg is de nieuwbouwwijk Mortiere in ontwikkeling, waardoor het aantal inwoners en dus het aantal slachtoffers zal toenemen. Het aantal bewoners van de nieuwbouwwijk zal ongeveer 5.000 bedragen. Bij een doorbraak van ringdeel 13 is er een gemiddelde mortaliteit van 0,5% bij tp tot 20% bij tp+2d. Bij een doorbraak bij toetspeil is de maximale waterdiepte ter plaatse van de nieuwbouwwijk ongeveer 2,0 – 2,5 m en een stijgsnelheid van 3,0 – 4,0 m/h kan optreden. Dit betekent een mortaliteit van 2,5%. Hierdoor neemt het aantal slachtoffers toe met 20 - 125 (afhankelijk van de evacuatiestrategie).

	tp-1d	tp	tp+1d	tp+2d
Waterdiepte (m) Geen water 0 - 0.2 m 0.2 - 0.5 m 0.5 - 1 m 1 - 1.5 m 1.5 - 2 m 2 - 3 m > 3 m				
Schade [M€]	760	1.040	1.495	2.550
Slachtoffers	25 - 90	40 - 145	145 - 510	1.495 - 5.335

Figuur 54: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Buitenhaven-oost voor vier buitenwaterstanden

Ringdeel 14: Doorbraaklocatie Ritthem

Bij een doorbraak langs ringdeel 14 stroomt hetzelfde gebied onder als bij een doorbraak langs ringdeel 13. Net achter de primaire kering ligt natuureservaat Rammekenshoek. Het maaiveld net achter de bres ligt een 0,50 m lager dan ter plaatse van de breslocatie Buitenhaven-Oost, waardoor er meer water het gebied instroomt. Bij een doorbraak bij tp+1d treden maximale waterdiepten op van meer dan 5,0 m. De waterdiepte bij een doorbraak langs ringdeel 14 bij tp of tp+1d is 1,30 - 1,50 m groter dan bij een doorbraak langs ringdeel 13 bij dezelfde terugkeertijden. Deze grotere maximale waterdiepten leiden tot een schade die ongeveer 1,8 keer groter is dan bij een doorbraak van ringdeel 13. Er worden maximaal 3.140-11.200 slachtoffers verwacht bij een doorbraak bij tp+1d.

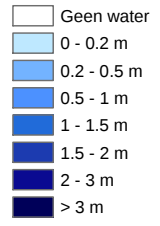
Evenals bij ringdeel 13 geldt dat ten zuiden van de stad Middelburg de ontwikkeling van een nieuwbouwwijk gaande is, waardoor het aantal inwoners en dus het aantal slachtoffers zal toenemen. Het aantal bewoners van de nieuwbouwwijk zal ongeveer 5.000 bedragen. Bij een doorbraak van ringdeel 14 is er een gemiddelde mortaliteit van iets meer dan 5% bij tp tot 20% bij tp+1d. De nieuwbouwwijk wordt ontwikkeld op een ongunstig lagergelegen locatie, waar de grootste waterdieptes van meer dan 4 m en hoge stijgsnelheden van meer dan 4 m/h kunnen optreden. Dit betekent een mortaliteit van 40%. Bij een gemiddelde mortaliteit van 30% betekent het dat het aantal slachtoffers toeneemt van 300 - 1.500 (afhankelijk van de evacuatiestrategie).

	tp-1d	tp	tp+1d	tp+2d
Waterdiepte (m) Geen water 0 - 0.2 m 0.2 - 0.5 m 0.5 - 1 m 1 - 1.5 m 1.5 - 2 m 2 - 3 m > 3 m				
Schade [M€]	1.280	1.890	2.715	2.715
Slachtoffers	70 - 255	420 - 1.505	1.645 - 5.880	3.140 - 11.200

Figuur 55: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Ritthem voor drie buitenwaterstanden

Ringdeel 15: Doorbraaklocatie Rammekens

Bij een doorbraak langs ringdeel 15 zijn de gevolgen relatief beperkt. Het overstromde oppervlak wordt aan de linkerzijde door het Natuurreservaat Rammekenshoek begrensd, aan de noordzijde door de N254 en aan de oostzijde door de Koedijk. Ten zuiden van de N662 komen maximale waterdiepten te staan van 3,0 m bij tp-1d tot 4,5 m bij tp+1d. Het overstromde gebied is onbewoond, waardoor de schade kleiner is dan 1,0 miljoen euro en er geen slachtoffers vallen.

	tp-1d	tp	tp+1d
Waterdiepte (m) 			
Schade [M€]	< 1	< 1	< 1
Slachtoffers	0	0	0

Figuur 56: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Rammekens voor drie buitenwaterstanden

Ringdeel 16: Doorbraaklocatie Quarlespolder

Ringdeel 16 bestaat uit het industriegebied van de Sloehaven. Hier is een breed en hoog voorland aanwezig. Behalve bij de laatste insteekhaven in dijkvak WS11. Hier is nauwelijks voorland aanwezig. Dit is de enige locatie in dit ringdeel waar een stroomgat zou kunnen ontstaan. Bovendien is de faalkans hier relatief groot (1/51.000 per jaar). Een doorbraak op deze locatie resulteert echter in een overstrooming in dijkkringgebied 30 (zie Figuur 57). Voor de risicoberekening is daarom dit dijkvak meegenomen bij de risicoberekening van dijkkringgebied 30.

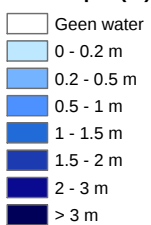
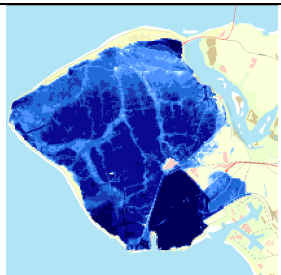


Figuur 57: Waterdiepte bij een doorbraak in ringdeel 16 bij toetspeil

Maximaal scenario

Figuur 58 geeft de maximale waterdiepte voor het maximaal scenario, waarbij een overstroming optreedt waarbij alle breslocaties doorbreken. Voor dijkkring 29 is het maximaal scenario samengesteld op basis van de maximale waterdiepten van de breslocaties van ringdeel 1 tot en met 5 en 7 tot en met 10 bij een overstroming bij situatie rp+2d en alle breslocaties van ringdeel 6 en 11 tot en met 13 bij tp+2d (met uitzondering van ringdeel 14 en 15 waarvoor de gevolgen bij een doorbraak bij tp+1d zijn gebruikt). Het maximale scenario is grotendeels een samenstelling van een doorbraak bij ringdeel 10 (Vlissingen-Zwanenburg) en ringdeel 14 (Ritthem). De maximale waterdiepten zijn het grootst in het gebied tussen Vlissingen en Middelburg ten oosten van het Kanaal door Walcheren.

Als het maximaal scenario in het dijkkringgebied optreedt, bedraagt de economische schade ruim 7 miljard euro en vallen er tussen de 3.700 en 13.300 slachtoffers; afhankelijk van de evacuatiestrategie.

	tp + 2d
Waterdiepte (m) 	
Schade [M€]	7.155
Slachtoffers	3.735 – 13.330

Figuur 58: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij het maximale scenario

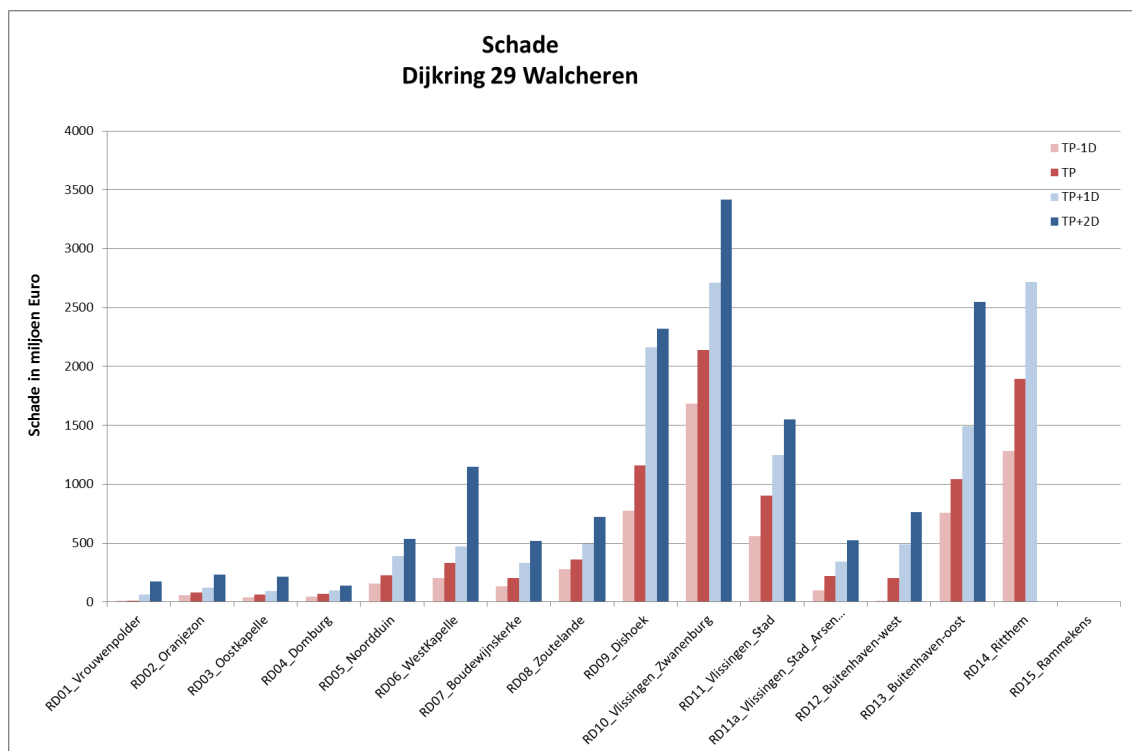
4.4 Overzicht resultaten overstromingsberekeningen

De resultaten van de overstromingsberekeningen voor dijkkring 29 zijn per doorbraaklocatie samengevat in Tabel 17.

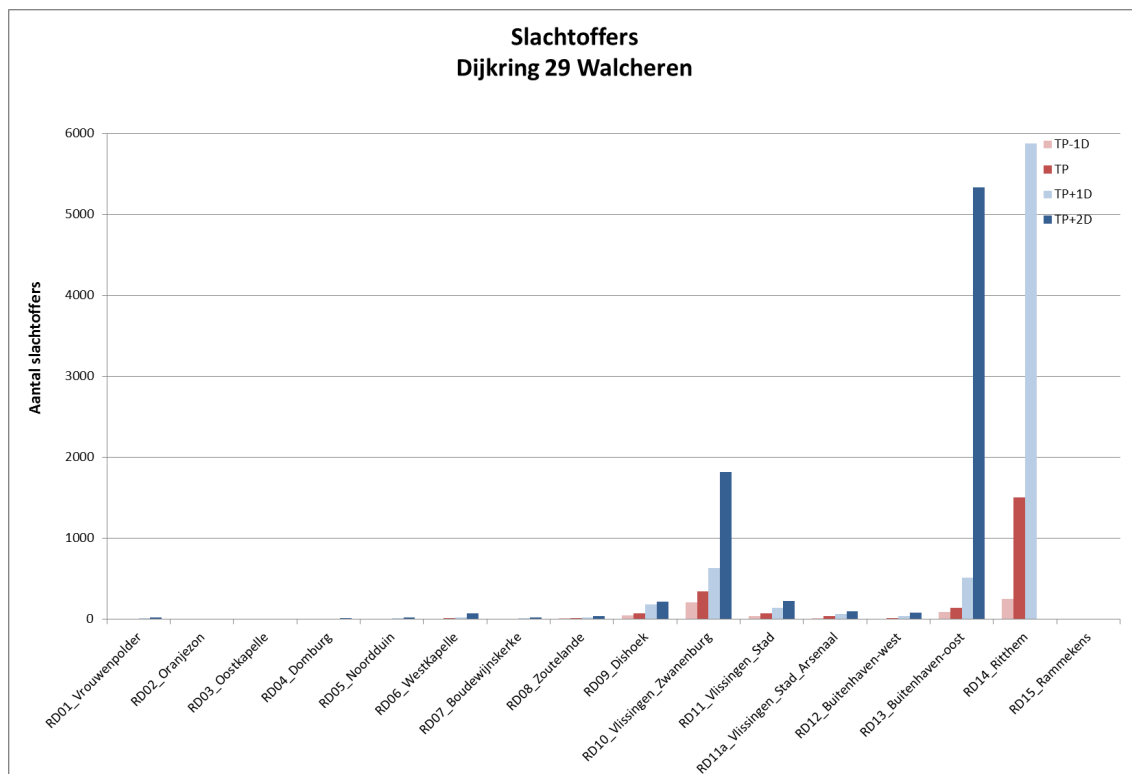
Ring-deel	Breslocatie	Buitenwaterstand							
		tp-1d	rp-1d	tp	rp	tp+1d	rp+1d	tp+2d	rp+2d
RD01	Vrouwenpolder								
	schade (miljoen €)	-	10	-	15	-	65	-	175
	aantal slachtoffers	-	0- 5	-	0-10	-	5-15	-	5-20
RD02	Oranjezon								
	schade (miljoen €)	-	55	-	85	-	120	-	230
	aantal slachtoffers	-	0-5	-	0-5	-	0-5	-	0-10
RD03	Oostkapelle								
	schade (miljoen €)	-	35	-	60	-	90	-	215
	aantal slachtoffers	-	0- 5	-	0-5	-	0-5	-	0-5
RD04	Domburg								
	schade (miljoen €)	-	45	-	65	-	100	-	140
	aantal slachtoffers	-	0-5	-	0-10	-	5-10	-	5-10
RD05	Noordduin								
	schade (miljoen €)	-	155	-	230	-	385	-	535
	aantal slachtoffers	-	0- 5	-	0-10	-	5-15	-	5-25
RD06	Westkapelle								
	schade (miljoen €)	200	-	335	-	470	-	1145	-
	aantal slachtoffers	0-5	-	5-15	-	5-20	-	20-70	-
RD07	Boudewijnskerke								
	schade (miljoen €)	-	135	-	205	-	330	-	520
	aantal slachtoffers	-	0-5	-	0-5	-	5-10	-	5-20
RD08	Zoutelande								
	schade (miljoen €)	-	275	-	360	-	490	-	720
	aantal slachtoffers	-	5-10	-	5-15	-	5-25	-	10-40
RD09	Dishoek								
	schade (miljoen €)	-	775	-	1.160	-	2.160	-	2.320
	aantal slachtoffers	-	15-45	-	20-75	-	50-185	-	60-220
RD10	Vlissingen-Zwan.burg								
	schade (miljoen €)	-	1.685	-	2.140	-	2.710	-	3.420
	aantal slachtoffers	-	60-205	-	95-340	-	175-630	-	510-1.820
RD11	Vlissingen-Stad								
	schade (miljoen €)	555	-	905	-	1.245	-	1.550	-
	aantal slachtoffers	10-45	-	20-75	-	40-140	-	65-225	-
RD11	Vlissingen-Stad Arsenaal								
	schade (miljoen €)	100	-	220	-	340	-	525	-
	aantal slachtoffers	5 - 25	-	15 - 55	-	25 - 85	-	35 - 130	-
RD12	Buitenhaven-west								
	schade (miljoen €)	10	-	200	-	490	-	765	-
	aantal slachtoffers	0	-	5-10	-	10-45	-	25-85	-
RD13	Buitenhaven-oost								
	schade (miljoen €)	760	-	1.040	-	1.495	-	2.550	-
	aantal slachtoffers	25-90	-	40-145	-	145-510	-	1.495-5.335	-
RD14	Ritthem								
	schade (miljoen €)	1.280	-	1.890	-	2.715	-	3.005	-
	aantal slachtoffers	70-255	-	420-1.505	-	1.645-5.880	-	3.140-11.200	-
RD15	Rammekens								
	schade (miljoen €)	< 1	-	< 1	-	<1	-	-	-
	aantal slachtoffers	0	-	0	-	0	-	-	-
Maximaal Scenario									
	schade (miljoen €)	-		-	-	-	-	7.155	
	aantal slachtoffers	-		-	-	-	-	3.735 – 13.330	

Tabel 17: Overzicht schade en slachtoffers voor alle ringdelen

A: Schade



B: Slachtoffers



Figuur 59: Gevolgen uitgedrukt in schade en slachtoffers voor evacuatiestrategie 1 bij verschillende doorbraaklocaties

5 Overstromingsscenario's en scenariokansen

Dit hoofdstuk beschrijft de scenariokansen voor de verschillende overstromingsscenario's van de dijkkring. De scenariokans is de kans dat een bepaald overstromingsverloop optreedt. De overstromingsscenario's worden gebruikt bij de koppeling van de berekende faalkansen (hoofdstuk 3) met de gevolgen van een overstroming (hoofdstuk 4), voor het berekenen van de overstromingsrisico's (hoofdstuk 6).

5.1 Definitie overstromingsscenario's

5.1.1 Aanpak

Elk overstromingsscenario wordt gevormd door een unieke combinatie van falende en niet-falende ringdelen. In werkelijkheid is het aantal mogelijke scenario's nagenoeg oneindig. In VNK2 wordt een scenarioset samengesteld die representatief is voor alle mogelijke scenario's.

De definitie van overstromingsscenario's berust op de volgende aspecten:

- De onderverdeling van de dijkkring in ringdelen (zie hoofdstuk 4).
- De vraag of, en in welke mate, sprake is van een daling van de buitenwaterstand na het ontstaan van een bres ergens in de dijkkring (ontlasten).
- De afhankelijkheid tussen de betrouwbaarheden van de verschillende ringdelen: bij grotere afhankelijkheden (en afwezigheid van ontlasten) neemt de kans op een meervoudige doorbraak toe.

5.1.2 Verandering hydraulische belasting bij falen: geen ontlasten

Een scenariokans is de kans op het optreden van een bepaald overstromingsverloop. 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.

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 als eerste faalt.

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 29 bepaald wordt door de Noordzee en de Westerschelde verandert het hydraulisch belasting niveau niet of nauwelijks bij een dijkdoorbraak.

5.1.3 Aantal scenario's

Het aantal ringdelen binnen de dijkkring bedraagt 16. Dit resulteert in $(2^{16}-1) = 65.535$ verschillende doorbraken. Vanwege extreem lange rekentijden die een dergelijke hoeveelheid scenario's met zich mee brengt wordt binnen VNK2 met maximaal 13 ringdelen gerekend.

Voor de duinvakken binnen ringdeel RD01 tot en met RD04 zijn zeer kleine faalkansen berekend. Deze ringdelen zijn daarom beschouwd als 1 ringdeel met als doorbraaklocatie Oranjezon. Bij een doorbraak in RD16 overstroomt een gebied dat in dijkkringgebied 30 ligt en geen gevolgen heeft voor dijkkringgebied 29. Om deze rede is RD16 meegenomen in de risicoberekening van dijkkring 30. Aan dit ringdeel is daarom de overstromingsberekening van Rammekens gekoppeld. De ringdelen met de gekozen doorbraaklocaties zijn weergegeven in Tabel 18.

Ringdeel	Doorbraaklocatie	Doorbraaklocatie risicoberekening
RD01	Vrouwenpolder	Oranjezon
RD02	Oranjezon	
RD03	Oostkapelle	
RD04	Domburg	
RD05	Noordduin	Noordduin
RD06	Westkapelle	Westkapelle
RD07	Boudewijnskerke	Boudewijnskerke
RD08	Zoutelande	Zoutelande
RD09	Dishoek	Dishoek
RD10	Vlissingen-Zwanenburg	Vlissingen-Zwanenburg
RD11	Vlissingen-Stad	Vlissingen-Stad
RD12	Buitenhaven-west	Buitenhaven-west
RD13	Buitenhaven-oost	Buitenhaven-oost
RD14	Ritthem	Ritthem
RD15	Rammekens	Rammekens
RD16*	-	

Tabel 18: Ringdelen met gekozen doorbraaklocaties

5.2 Berekende scenariokansen

Er zijn scenario's waarbij sprake is van een enkelvoudige doorbraak (1 falend ringdeel), scenario's waarbij sprake is van een tweevoudige doorbraak (2 falende ringdelen) et cetera. In Tabel 19 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 samen (de 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).

Voor alle scenario's zijn scenariokansen berekend. Uit Tabel 19 blijkt dat het risico voor verreweg het grootste deel bepaald wordt door enkelvoudige doorbraken. Scenario's waarbij 3 of meer bressen ontstaan, dragen voor minder dan 1% bij. In Tabel 20 is te zien dat er tot de 10 meest waarschijnlijke scenario's geen scenario's behoren waarbij 6 of meer doorbraken ontstaan. Dit geldt eveneens voor de 50 meest waarschijnlijke scenario's (zie bijlage E).

Aantal bressen per scenario (x)	Aantal scenario's waarbij sprake is van x aantal bressen	Totale kans [per jaar]	Percentage van overstromingskans [%]
1	12	9,71E-04	97,67
2	66	1,73E-05	1,74
3	220	4,04E-06	0,41
4	495	1,40E-06	0,14
5	792	3,46E-07	0,03
6	924	6,81E-08	0,01
7	792	6,98E-09	0,00
8	495	4,38E-10	0,00
9	220	6,24E-11	0,00
10	66	1,05E-11	0,00
11	12	1,16E-12	0,00
12	1	2,41E-14	0,00
Totaal	4095	9,94E-04	100

Tabel 19: Resultaten scenarioberekening

In VNK2 is het aantal door te rekenen scenario's vanwege van de rekentijd standaard beperkt tot 50 scenario's. De scenariodefinitie voor de 50 scenario's met de grootste kansen is opgenomen in bijlage E. In Tabel 20 zijn hiervan de 10 scenario's met de grootste scenariokans weergegeven.

Scenario	Scenario-kans [per jaar]	Cumulatief aandeel [%]	RD01-04	RD05	RD06	RD07	RD08	RD09	RD10	RD11	RD12	RD13	RD14	RD15	Doorbraken
1	7,63E-04	76,7									x				1
2	1,92E-04	96,1										x			1
3	6,82E-06	96,8							x						1
4	5,74E-06	97,3									x	x			2
5	3,76E-06	97,7		x											1
6	2,81E-06	98,0			x						x				2
7	2,79E-06	98,3									x			x	2
8	2,39E-06	98,5							x		x				2
9	2,12E-06	98,7											x		1
10	1,62E-06	98,9			x						x			x	3

Tabel 20: Scenariokansen voor de 10 scenario's met de grootste scenariokansen

Op basis van de 50 geselecteerde scenario's kan een nauwkeurige berekening van het overstromingsrisico gemaakt worden. Het is voor een voldoende nauwkeurigheid niet nodig om meer scenario's te beschouwen, vanwege de volgende twee redenen.

1. De som van de scenariokansen van de 50 beschouwde scenario's is vrijwel gelijk aan de berekende overstromingskans (overstromingskans). De som van de scenariokansen van de 50 scenario's bedraagt 9,9E-04 per jaar. De som van alle 8.191 scenario's bedraagt 9,8E-04 per jaar.
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.

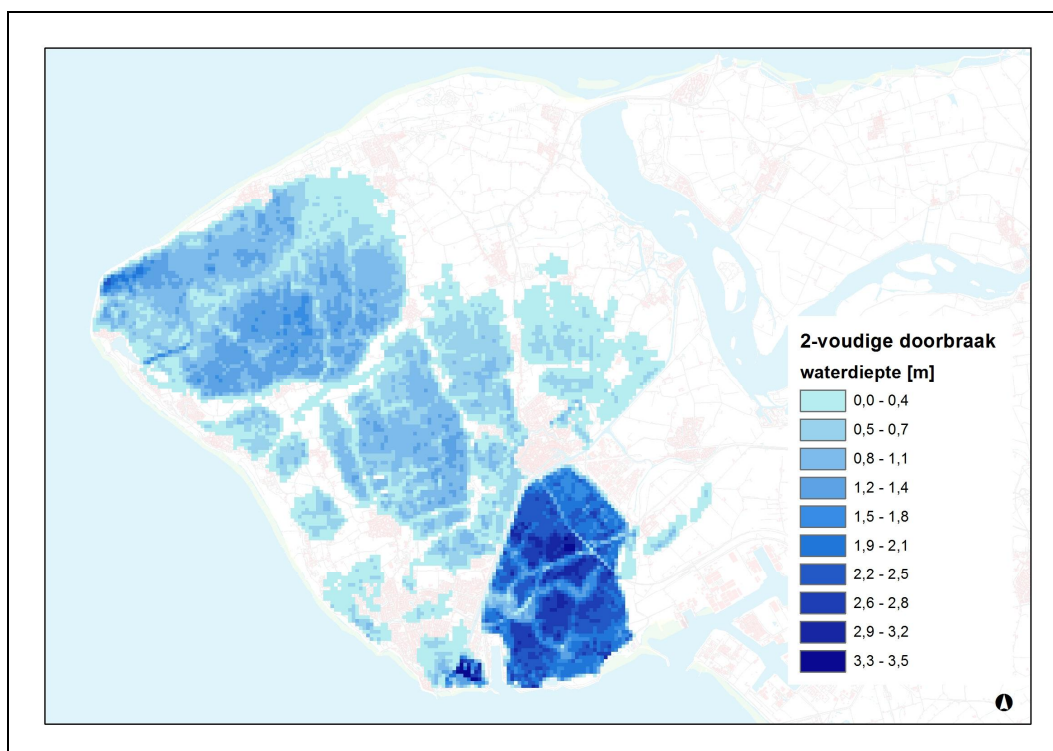
5.3 De gevolgen van overstromingen voor een selectie van scenario's

5.3.1 De meest waarschijnlijke enkelvoudige doorbraak

De meest waarschijnlijke enkelvoudige doorbraak treedt op bij een doorbraak in ringdeel 12 (Buitenhaven-west). De scenariokans is 1/2.500 per jaar. Voor een beschrijving van de gevolgen van een overstroming bij dit overstromingsscenario wordt verwezen naar hoofdstuk 4.

5.3.2 De meest waarschijnlijke tweevoudige doorbraak

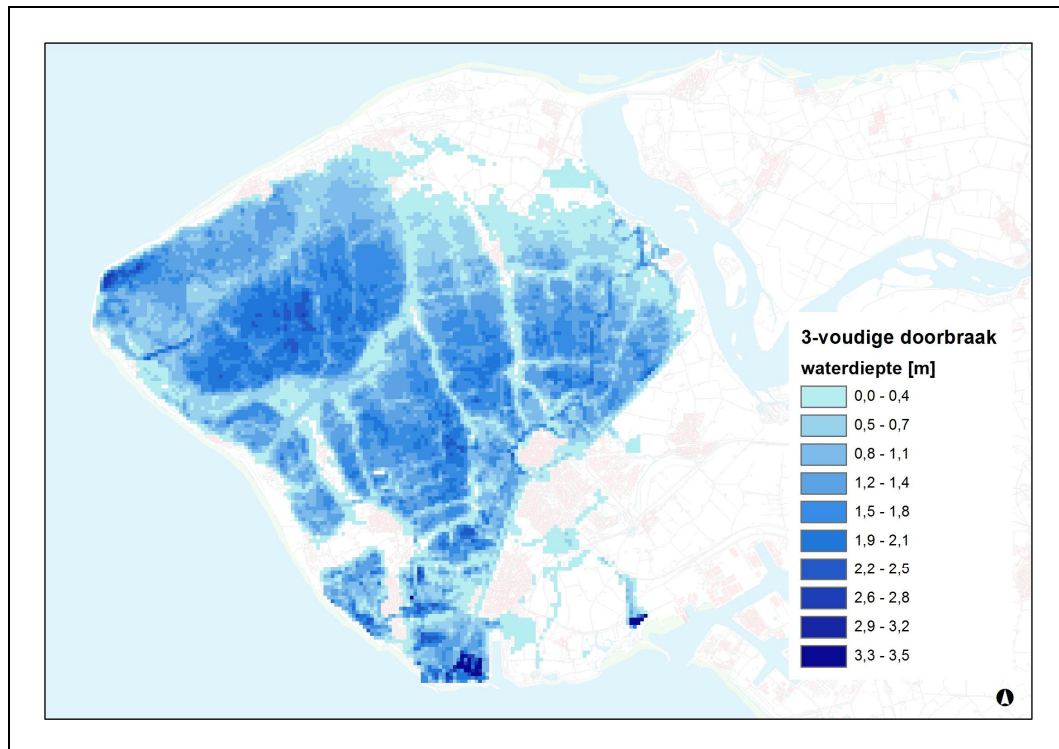
De meest waarschijnlijke tweevoudige doorbraak betreft doorbraken in ringdelen 12 (Buitenhaven-west) en 13 (Buitenhaven-oost). De scenariokans is 1/180.000 per jaar. De schade bij dit scenario bedraagt ongeveer 1,2 miljard euro, het aantal slachtoffers bedraagt 45-160.



Figuur 60: Maximale waterdiepte bij de meest waarschijnlijke tweevoudige doorbraak

5.3.3 De meest waarschijnlijke drievoudige doorbraak

De meest waarschijnlijke drievoudige doorbraak betreft doorbraken in ringdelen 6 (Westkapelle), 12 (Buitenhaven-west) en 15 (Rammekens). De scenariokans is 1/620.000 per jaar. De schade bij dit scenario bedraagt ongeveer 1,6 miljard euro, het aantal slachtoffers bedraagt 45-160.



Figuur 61: Maximale waterdiepte bij de meest waarschijnlijke drievoudige doorbraak

6 Overstromingsrisico

Het overstromingsrisico van de categorie a-kering is bepaald door de berekende kans op de verschillende overstromingsscenario's te koppelen aan de gevolgen van deze scenario's. Het risico wordt uitgedrukt in het economisch risico en het slachtoffer risico.

6.1 Aanpak berekening overstromingsrisico

Conform de standaardaanpak binnen VNK2 zijn voor de 50 meest waarschijnlijke scenario's overstromingsberekeningen geselecteerd. Er zijn, met uitzondering van het worst case scenario, geen aparte overstromingsberekeningen uitgevoerd voor meervoudige doorbraken. In geval van meervoudige doorbraken zijn de overstromingspatronen bepaald op basis van de overstromingsberekeningen voor de enkelvoudige doorbraken.

De waarden van de belastingvariabelen in het ontwerppunt zijn gebruikt om de koppeling te maken met de gevolgen van overstromingsscenario's. Steeds is de overstromingsberekening geselecteerd die hoort bij het eerstvolgende, hoger gelegen peil. Het ontwerppunt beschrijft de meest waarschijnlijke combinatie van waarden van de belastingvariabelen (cq. stochasten) waarbij het overstromingsscenario optreedt. Voor elk ontwerppunt is de gevolgberekening geselecteerd die hoort bij het eerstvolgende, ongunstiger gelegen peil. Deze aanpak is niet per definitie conservatief. Benadrukt wordt dat het onterecht is 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 gunstigere of ongunstigere (maar beide wel minder waarschijnlijke) omstandigheden.

De overstromingsberekeningen voor de dijken zijn gemaakt bij:

- toetspeil minus de decimeringshoogte ($tp-1d$);
- het toetspeil (tp);
- toetspeil plus één maal de decimeringshoogte ($tp+1d$);
- toetspeil plus twee maal de decimeringshoogte ($tp+2d$).

de overstromingsberekeningen voor de duinen zijn gemaakt bij:

- rekenpeil minus de decimeringshoogte ($rp-1d$);
- rekenpeil (rp);
- rekenpeil plus één maal de decimeringshoogte ($rp+1d$);
- rekenpeil plus twee maal de decimeringshoogte ($rp+2d$).

6.2 Overstromingsrisico

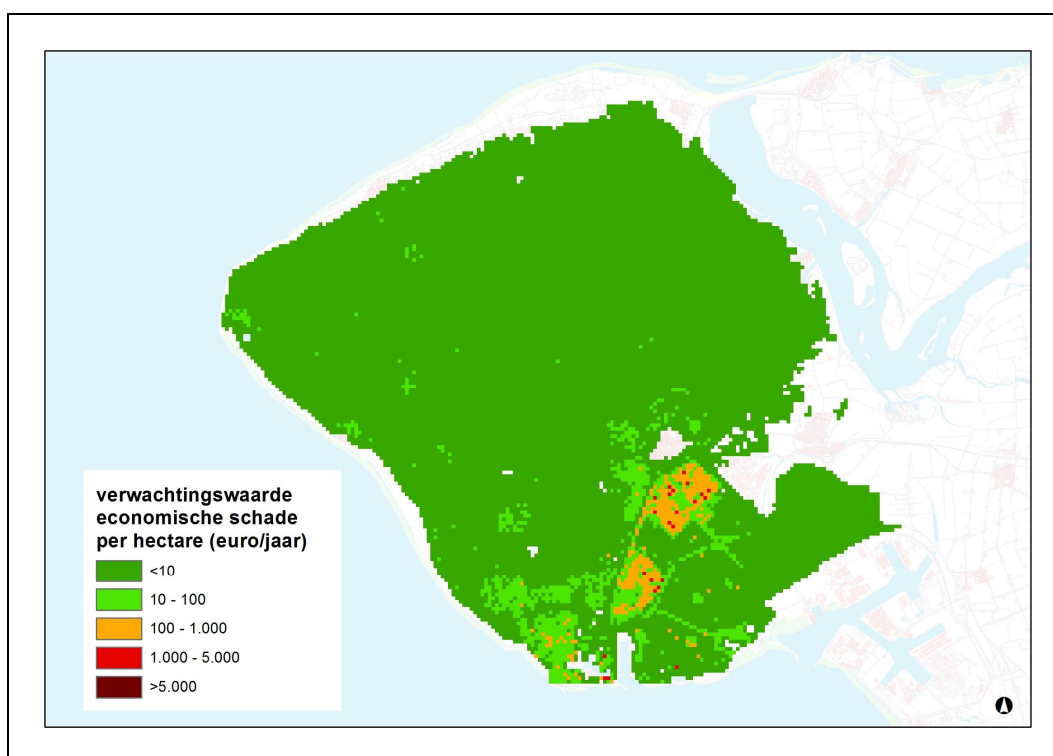
Het overstromingsrisico bestaat niet uit één getal, maar wordt beschreven in de vorm van diverse risicomaten. Deze zijn hieronder beschreven.

6.2.1 Economisch risico

De verwachtingswaarde van de economische schade bedraagt 0,2 miljoen euro per jaar. 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.

6.2.2 Ruimtelijke verdeling verwachtingswaarde economische schade

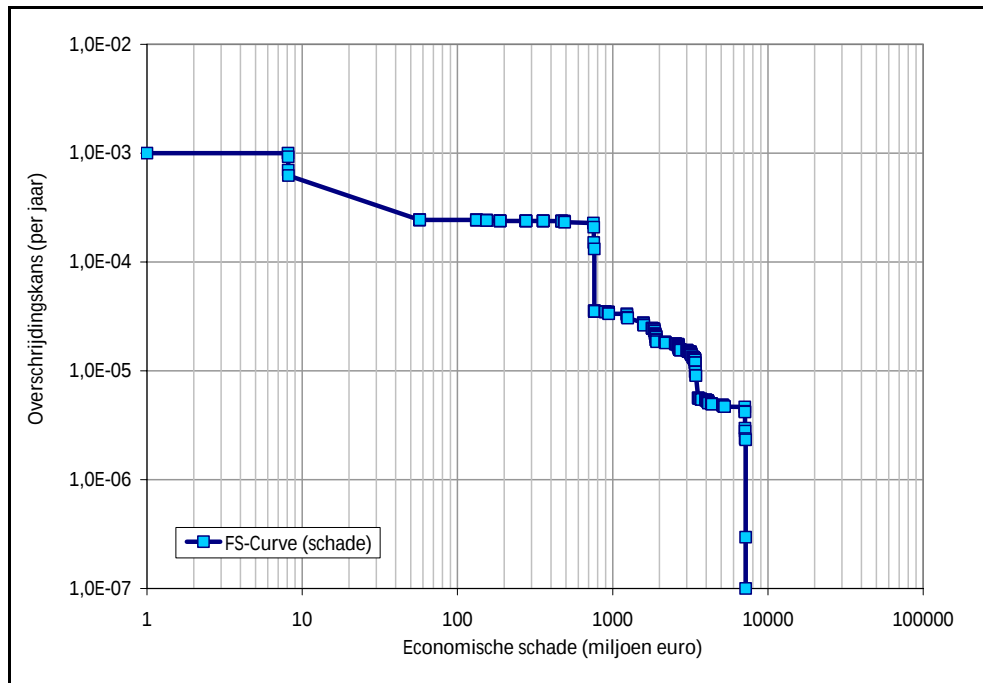
In Figuur 62 is de verdeling van de verwachtingswaarde van de schade over het dijkkringgebied weergegeven. Uit Figuur 62 blijkt dat de verwachtingswaarde van de economische schade vrijwel overal (aanzienlijk) lager is dan 10.000 euro per ha per jaar. Nabij de bebouwde gebieden van met name Vlissingen, Middelburg en Westkapelle zijn de verwachtingswaarden lokaal één tot twee ordes hoger: 10 tot 100 euro per ha per jaar.



Figuur 62: Verwachtingswaarde van de economische schade

6.2.3 Schadefunctie (FS-curve)

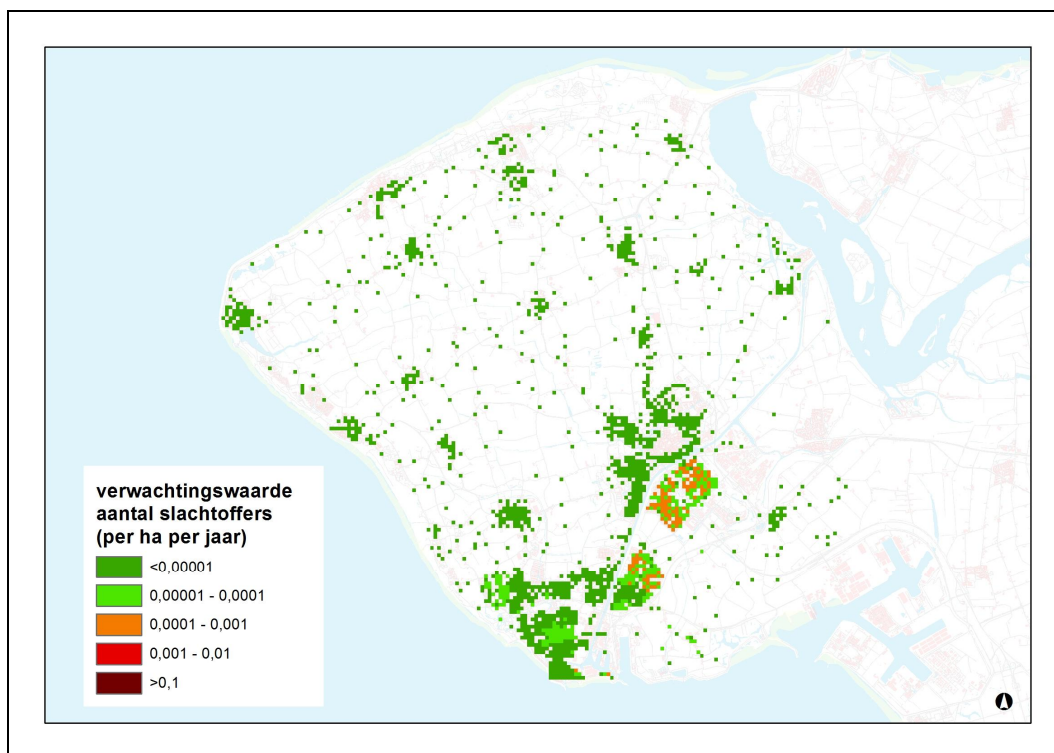
In Figuur 63 zijn de kansen op overschrijding van bepaalde schadebedragen getoond. De kans op ten minste 1 miljard euro schade is ongeveer 1/41.000 per jaar. De maximale schade die in Figuur 7 is getoond bedraagt ongeveer 6,5 miljard euro. De kans op een grotere economische schade is verwaarloosbaar klein.



Figuur 63: FS-curve

6.2.4 Slachtofferisico

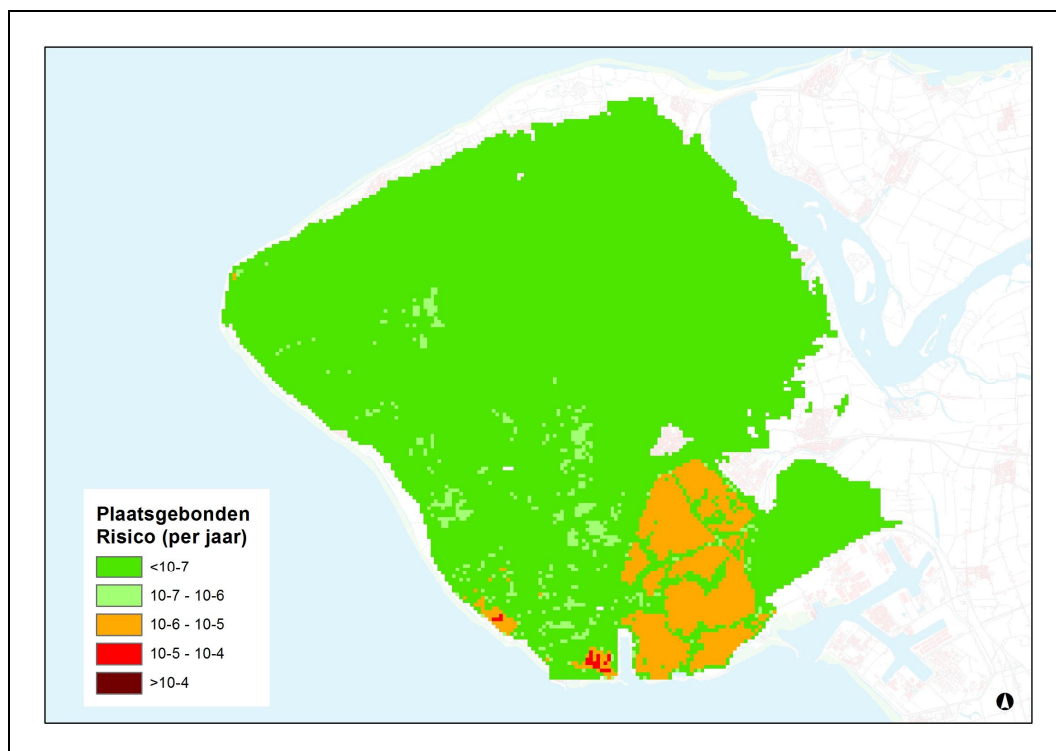
De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is 0,03 per jaar. In Figuur 64 is de ruimtelijke verdeling van de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers over het dijkkringgebied gegeven. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is vrijwel overal (aanzienlijk) kleiner dan 0,001 slachtoffer per hectare per jaar.



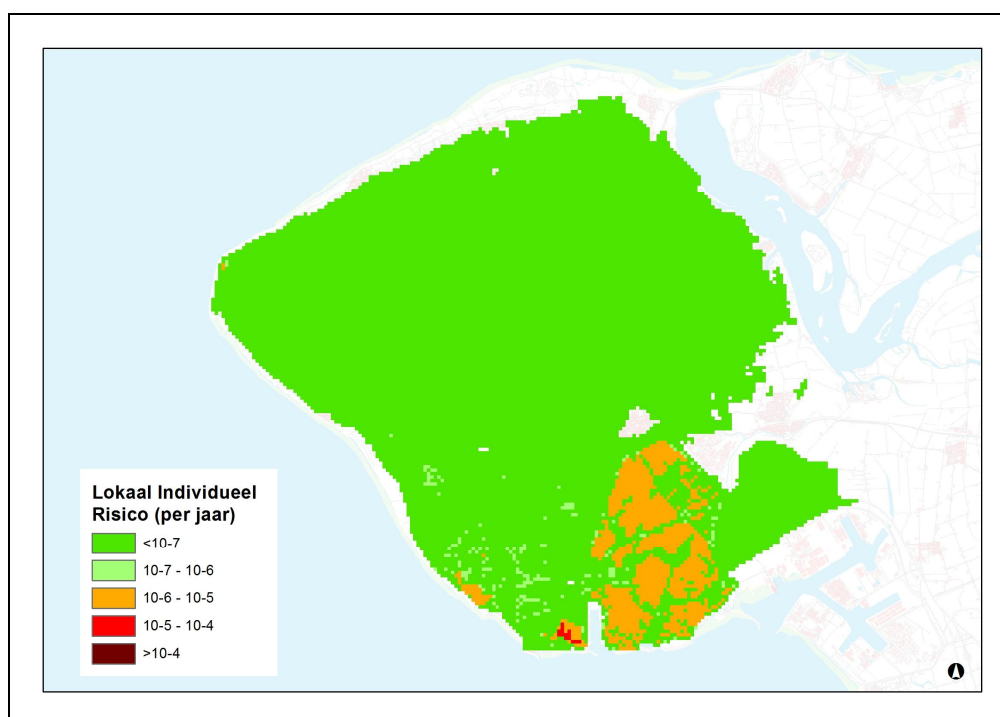
Figuur 64: Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers

Het plaatsgebonden risico is de kans dat een onbeschermd persoon die zich gedurende een jaar continu op dezelfde plek bevindt, 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 65 is het plaatsgebonden risico (PR) getoond, in Figuur 66 het lokaal individueel risico (LIR). Het LIR en het PR zijn vrijwel overal kleiner dan 1/100.000 per jaar. Alleen aan de zuidzijde van het dijkkringgebied in een klein deel van Vlissingen is het LIR groter dan 1/100.000 per jaar.

Uit Figuur 65 en Figuur 66 blijkt dat het PR en LIR qua ordegrrootte aan elkaar gelijk zijn. Dit is een gevolg van het feit dat de verwachtingswaarde van de evacuatiefractie 0,26 per overstroming is. Het verschil tussen LIR en PR bedraagt daarom slechts een factor $1/(1-0,26)=1,35$. Dit geringe verschil duidt erop dat het meenemen van de mogelijkheden voor evacuatie weinig effect heeft op de overlijdenskansen van individuen.



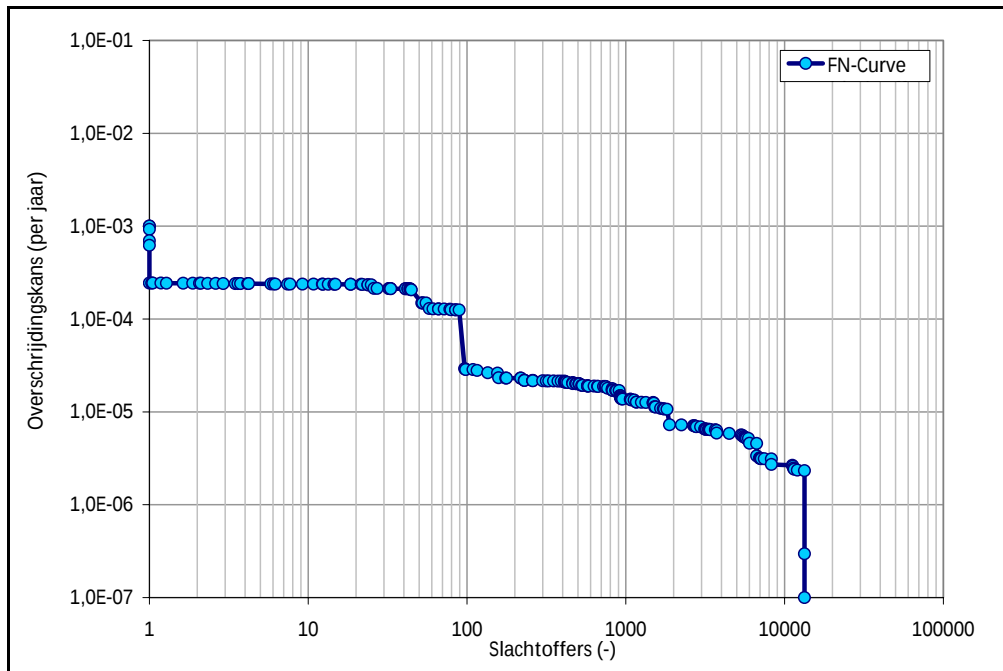
Figuur 65: Het plaatsgebonden risico (PR)



Figuur 66: Het lokaal individueel risico (LIR)

6.2.5 Groepsrisico (FN-curve)

Het groepsrisico geeft de kans op een ongeval met N of meer slachtoffers en wordt vaak weergegeven in een zogenaamde FN-curve (zie Figuur 67). In de berekening van het groepsrisico is het effect van evacuatie meegenomen. Figuur 67 toont dat de kans op een overstroming met meer dan 100 slachtoffers ongeveer 1/35.000 per jaar bedraagt. De kans op een overstroming met ten minste 1.000 slachtoffers bedraagt 1/73.000 per jaar. Voor de beschouwde overstromingsscenario's bedraagt het maximale aantal slachtoffers ongeveer 11.300. De kans op een groter aantal slachtoffers is verwaarloosbaar klein.



Figuur 67: FN-curve

7 Gevoeligheidsanalyses

Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de berekende overstromingskansen en overstromingsrisico's voor de gehanteerde uitgangspunten zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. De gevoeligheidsanalyses geven inzicht in het effect van versterkingen of aanpassingen in het beheer. In het achtergrondrapport [3] zijn ook op dijkvakniveau enkele gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze zijn verricht om goede vakschematisaties op te kunnen stellen en te tonen hoe alternatieve schematisatiekeuzen doorwerken in de resultaten op vakniveau.

In dit hoofdstuk zijn de verschillende gevoeligheidsanalyses die zijn uitgevoerd gerapporteerd.

7.1 Aanpak gevoeligheidsanalyse

De uitgevoerde gevoeligheidsanalyses geven inzicht in het effect van versterkingen of aanpassingen in het beheer. Deze zijn uitgevoerd op dijkringniveau. Er zijn twee gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op kansniveau (analyse I en II). Daarnaast zijn twee gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op risiconiveau (analyse III en IV).

De uitgevoerde gevoeligheidsanalyses geven de invloed weer van het verbeteren van individuele dijkvakken op de overstromingskans en het overstromingsrisico van het gehele dijkkringgebied. De volgende gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd:

- I. Overstromingskans dijkring na gerichte maatregelen op basis van faalkansen;
- II. Overstromingskans normtraject na gerichte maatregelen op basis van faalkansen;
- III. Overstromingsrisico na gerichte maatregelen op basis van overstromingsrisico;
- IV. Gevoeligheidsanalyse lokaal individueel risico (LIR).

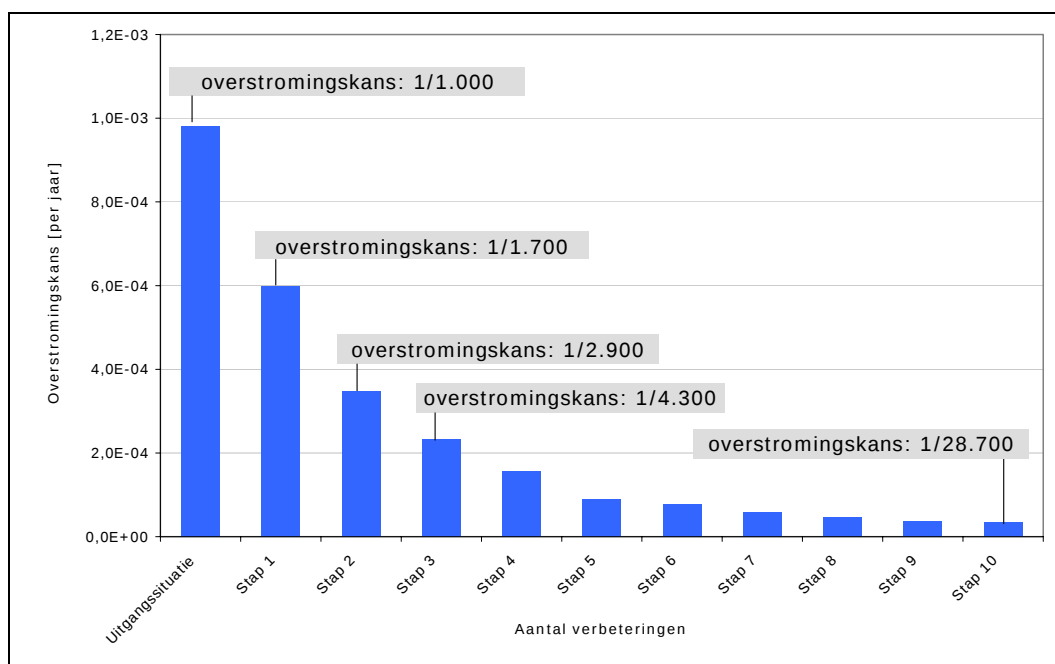
7.2 Gevoeligheidsanalyse op kansniveau

7.2.1 *Analyse I: Overstromingskans na gerichte maatregelen (hele dijkring)*

Voor het bepalen van het effect van gerichte ingrepen in de waterkeringen op de overstromingskans is beoordeeld welke delen van de waterkeringen de grootste bijdrage leveren aan de totale overstromingskans. Dit blijken dijkvakken te zijn waar met name voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* en in mindere mate voor het faalmechanisme *opbarsten en piping* relatief grote faalkansen worden berekend (Tabel 21). Ook enkele kunstwerken leveren nog een significante bijdrage aan de totale overstromingskans. Voor deze dijkvakken en kunstwerken is de faalkans voor het hele dijkvak tot een verwaarloosbaar kleine waarde teruggebracht. Vervolgens is steeds opnieuw de overstromingskans berekend. Het resultaat is weergegeven in Figuur 68.

Verbeter- stap	Te verbeteren dijkvak/kunstwerk	Maatgevend faalmechanisme	Faalkans dijkvak [per jaar]	Overstro- mingskans [per jaar]
Uitgangssituatie		-	-	1/1.000
Stap 1	NZ22.35700.36000	Overloop/ golfoverslag	1/2.500	1/1.700
Stap 2	VNK.29.04.001	Overloop/ golfoverslag	1/3.600	1/2.900
Stap 3	WS06.75000.73800	Opbarsten en piping	1/8.600	1/4.300
Stap 4	VNK.29.01.001	Niet sluiten	1/11.000	1/6.400
Stap 5	WS05.75500.75000	Opbarsten en piping	1/15.000	1/11.100
Stap 6	NZ24.36400.37500	Overloop/ golfoverslag	1/39.000	1/12.900
Stap 7	VNK.29.08.002	Niet sluiten	1/50.000	1/17.300
Stap 8	VNK.29.06.001	Constructief falen	1/72.000	1/22.000
Stap 9	WS02.78200.76500	Overloop/ golfoverslag	1/75.000	1/27.000
Stap 10	WS10.71100.65400	Overloop/ golfoverslag	1/136.000	1/28.700

Tabel 21: Reductie overstromingskans



Figuur 68: Reductie overstromingskans hele dijkkring

Uit Tabel 21 en Figuur 68 blijkt dat na elke ingreep in de waterkering dit leidt tot een kleinere overstromingskans. De overstromingskans kan worden verkleind van 1/1.000 per jaar tot 1/4.300 per jaar door gerichte maatregelen te nemen in twee dijkvakken (totaal 1.500 m) en één kunstwerk (VNK.29.04.001 - Keersluis Michiel de Ruyterhaven Vlissingen). In Figuur 69 zijn per verbeterstap de procentuele verhoudingen getoond tussen de faalkansen per faalmechanisme.



Figuur 69: Procentuele verhouding tussen faalkansen per faalmechanisme

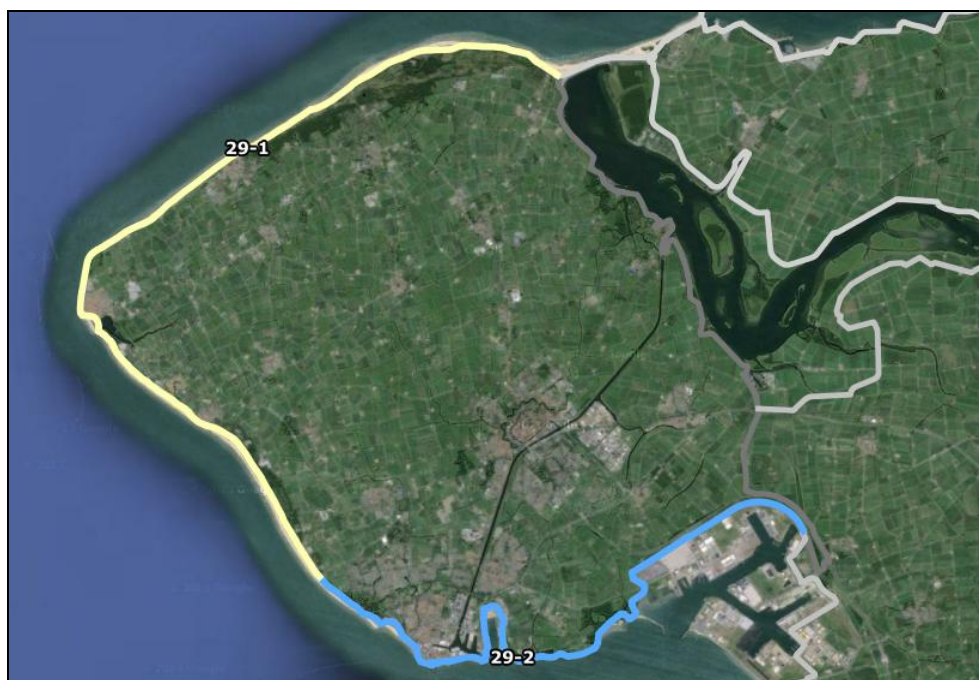
7.2.2 Analyse II: Overstromingskans na gerichte maatregelen (normtrajecten)

Ter onderbouwing van de nieuwe waterveiligheidsnormen is in 2011 binnen WV21 een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) en slachtofferrisicoanalyse uitgevoerd. In deze studie is gekeken naar de kosten en baten bij het versterken van waterkeringen om de kans op een grootschalige overstroming te reduceren. Voor de primaire keringen is het economisch optimale beschermingsniveau berekend. In 2013 is door het Delta Deelprogramma Veiligheid (DPV) een technisch-inhoudelijke uitwerking van de normen gegeven. Daarin is gekeken naar economisch optimale beschermingsniveaus en de slachtofferrisico's per traject. Voor de gevoeligheidsberekening binnen VNK2 om de overstromingskans gelijk te stellen aan de optimale kans, uit de Technisch Inhoudelijke Uitwerking van DPV op basis van een MKBA en slachtofferrisicoanalyse, wordt de in deze uitwerking bepaalde overstromingskans gebruikt.

Dijkkring 29 is opgedeeld in twee trajecten: traject 29_1 en traject 29_2 (zie Tabel 22). De ligging van beide trajecten is weergegeven in Figuur 70.

Traject DPV	Vakken	Eén normklasse lager [per jaar]	Voorgestelde overstromingskans o.b.v. MKBA en basisveiligheid [per jaar]	Eén normklasse hoger [per jaar]
29-1	Vak NZ01 t/m vak NZ18	1/3.000	1/10.000	1/30.000
29-2	Vak NZ19 t/m vak WS11	1/30.000	1/100.000	-

Tabel 22: DPV trajecten

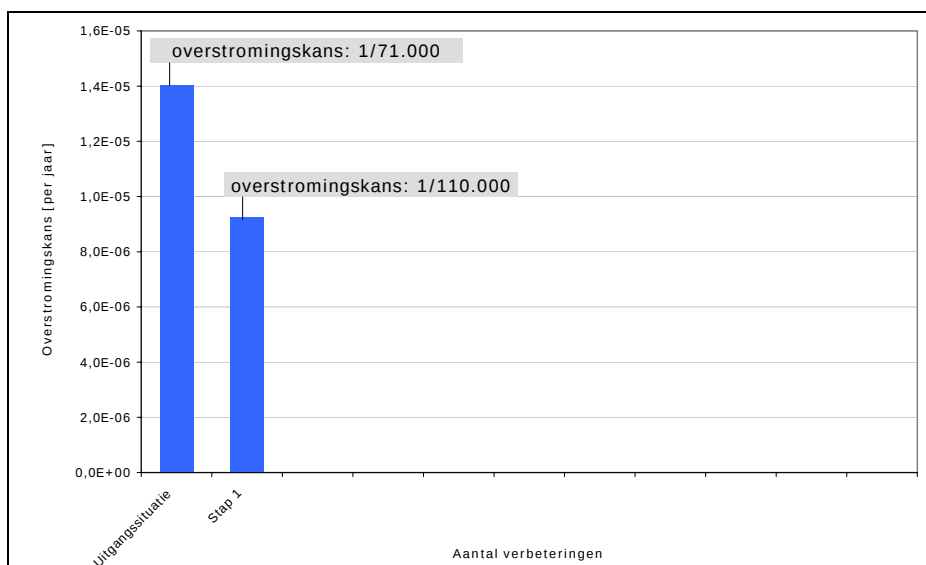


Figuur 70: MKBA-trajecten

De huidige berekende overstromingskans van traject 29_1 bedraagt 1/71.000 per jaar. Na het verbeteren van dijkvak NZ10.21100.21300, waarbij de faalkans een factor 10 is verkleind, is de overstromingskans kleiner dan 1/100.000 per jaar (zie Tabel 23 en Figuur 71).

Verbeter-Stap	Te verbeteren dijkvak/kunstwerk	Maatgevend faalmechanisme	Faalkans dijkvak [per jaar]	overstromingskans [per jaar]
Uitgangssituatie		-	-	1/71.000
Stap 1	NZ10.21100.21300	Overloop/ golfoverslag	1/150.000	1/110.000

Tabel 23: Reductie overstromingskans traject 29_1

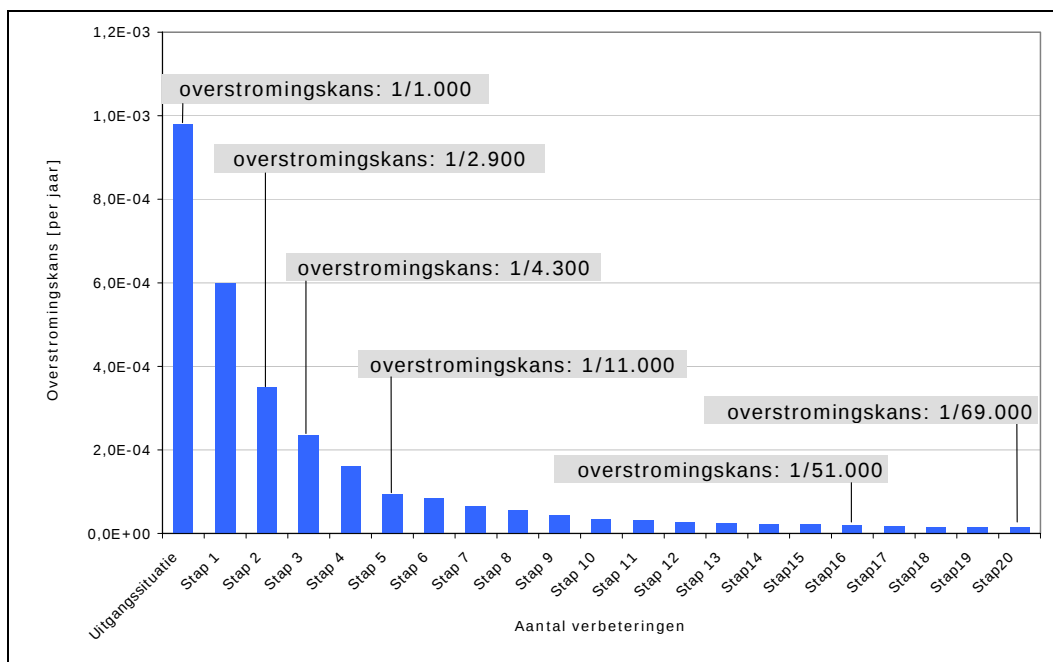


Figuur 71: Reductie overstromingskans traject 29_1

De huidige berekende overstromingskans van traject 29_2 bedraagt 1/1.000 per jaar. Steeds is bepaald wat de overstromingskans van het traject is wanneer er een vak wordt verbeterd. Een dijkvak is verbeterd door de faalkans van het dijkvak te verkleinen tot 1/1.000.000 per jaar. Na het verbeteren van 2 dijkvakken en 2 kunstwerk is de overstromingskans kleiner dan 1/10.000 per jaar. Na het verbeteren van 7 dijkvakken en 4 kunstwerken is overstromingskans kleiner dan 1/30.000 per jaar (zie Tabel 24 en Figuur 72). Een normklasse van 1/100.000 per jaar betekent hoogstwaarschijnlijk een integrale versterking van het gehele traject.

Verbeter-Stap	Te verbeteren dijkvak/kunstwerk	Maatgevend faalmechanisme	Faalkans dijkvak [per jaar]	overstromingskans [per jaar]
Uitgangssituatie		-	-	1/1.000
Stap 1	NZ22.35700.36000	Overloop/ golfoverslag	1/2.500	1/1.600
Stap 2	VNK.29.04.001	Overloop/ golfoverslag	1/3.600	1/2.900
Stap 3	WS06.75000.73800	Opbarsten en piping	1/8.600	1/4.300
Stap 4	VNK.29.01.001	Niet sluiten	1/11.000	1/6.300
Stap 5	WS05.75500.75000	Opbarsten en piping	1/15.000	1/11.000
Stap 6	NZ24.36400.37500	Overloop/ golfoverslag	1/39.000	1/12.000
Stap 7	VNK.29.08.002	Niet sluiten	1/49.000	1/15.000
Stap 8	WS11.65400.64900	Overloop/ golfoverslag	1/53.000	1/18.000
Stap 9	VNK.29.06.001	Constructief falen	1/72.000	1/23.000
Stap 10	WS02.78200.76500	Overloop/ golfoverslag	1/75.000	1/29.000
Stap 11	WS10.71100.65400	Overloop/ golfoverslag	1/140.000	1/31.000
Stap 12	NZ19.32400.33600	Overloop/ golfoverslag	1/160.000	1/36.000
Stap 13	WS03.76500.76100	Opbarsten en piping	1/190.000	1/42.000
Stap 14	NZ23.35600.36400	Overloop/ golfoverslag	1/220.000	1/45.000
Stap 15	WS01.79900.78200	Overloop/ golfoverslag	1/310.000	1/47.000
Stap 16	NZ21.34900.35700	Overloop/ golfoverslag	1/310.000	1/51.000
Stap 17	NZ18.31300.32400	Duinafslag	1/330.000	1/57.000
Stap 18	WS08.72500.71700	Opbarsten en piping	1/370.000	1/62.000
Stap 19	WS09.71700.71100	Overloop/ golfoverslag	1/450.000	1/64.000
Stap 20	WS07.73800.72500	Opbarsten en piping	1/510.000	1/69.000

Tabel 24: Reductie overstromingskans traject 29_2



Figuur 72: Reductie overstromingskans traject 29_2

7.3 Gevoeligheidsanalyse op risiconiveau

7.3.1 Analyse III: Overstromingsrisico na gerichte maatregelen

In deze paragraaf zijn de effecten van verbetermaatregelen op het overstromingsrisico beschreven. Om in te schatten bij welke maatregelen het overstromingsrisico het sterkst wordt verminderd, is het risico per ringdeel berekend (Tabel 25). Dit is gedaan door de schade bij een doorbraak bij toetspeil te vermenigvuldigen met de faalkans van het desbetreffende ringdeel. Uit Tabel 25 blijkt dat het risico het grootst is bij een doorbraak in ringdeel 12 en 13. Dit zijn ook de ringdelen met de dijkvakken die de grootste faalkans hebben.

Ringdeel	schade [miljoen €]	overstromingskans ringdeel [per jaar]	risico per ringdeel [M€/jaar]
RD12	200	1/2.400	1,3E-01
RD13	1.040	1/15.000	6,9E-02
RD10	2.140	1/160.000	1,3E-02
RD14	1.890	1/370.000	5,1E-03
RD06	335	1/140.000	2,4E-03
RD11	905	1/630.000	1,4E-03
RD09	1.160	<1/1.000.000	1,2E-03
RD05	230	1/240.000	9,6E-04
RD08	360	<1/1.000.000	3,6E-04
RD07	205	1/590.000	3,5E-04
RD01-04	225	1/780.000	2,9E-04
RD15	<1	1/140.000	7,1E-06

Tabel 25: Risico per ringdeel

Het overstromingsrisico is daarom berekend nadat de drie dijkvakken met de grootste faalkans zijn verbeterd (zie Figuur 68). Twee van deze dijkvakken liggen in ringdeel 12 en één in ringdeel 13 (zie Tabel 26).

Te verbeteren dijkvak/kunstwerk	Maatgevend faalmechanisme	Faalkans dijkvak [per jaar]	Ringdeel
NZ22.35700.36000	Overloop/ golfoverslag	1/2.500	12
VNK.29.04.001	Overloop/ golfoverslag	1/3.600	12
WS06.75000.73800	Opbarsten en piping	1/8.600	13

Tabel 26: Te verbeteren dijkvakken voor een reductie van het overstromingsrisico

Het overstromingsrisico is beschreven in de vorm van diverse risicomaten, waaronder de verwachtingswaarde van de economische schade, de schadefunctie (FS-curve), de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers en het groepsrisico (FN-curve).

De resultaten met betrekking tot de verwachtingswaarden van de economische schade en het aantal slachtoffers van de (combinatie van) maatregelen is weergegeven in Tabel 27. Uit deze tabel blijkt een duidelijke afname van het risico als gevolg van de maatregelen. De verwachtingswaarde van de economische schade neemt met circa 55% af van 0,2 miljoen euro per jaar naar 0,1 miljoen euro per jaar. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers neemt als gevolg van de combinatie van maatregelen met circa 36% af van 0,03 naar 0,02 slachtoffers per jaar.

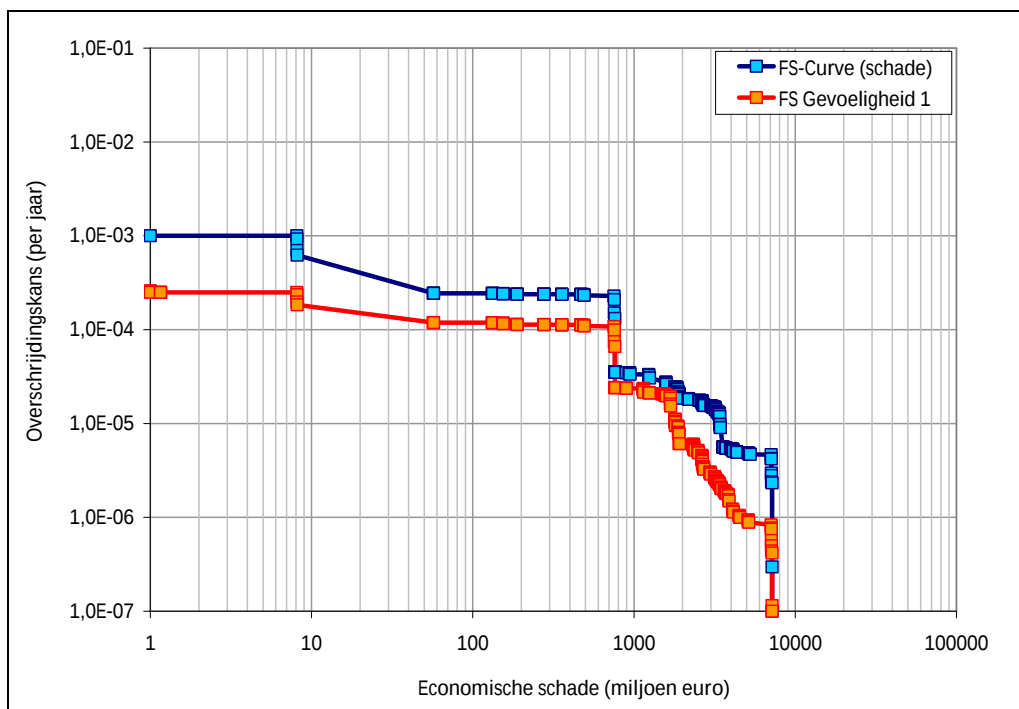
Situatie	Overstromings-kans [per jaar]	Verwachtingswaarde van de economische schade [M€ per jaar]	Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers [per jaar]
Uitgangssituatie	1/1.000	0,2	0,03
Na maatregelen	1/4.100	0,1	0,02

Tabel 27: Overstromingsrisico's na maatregelen

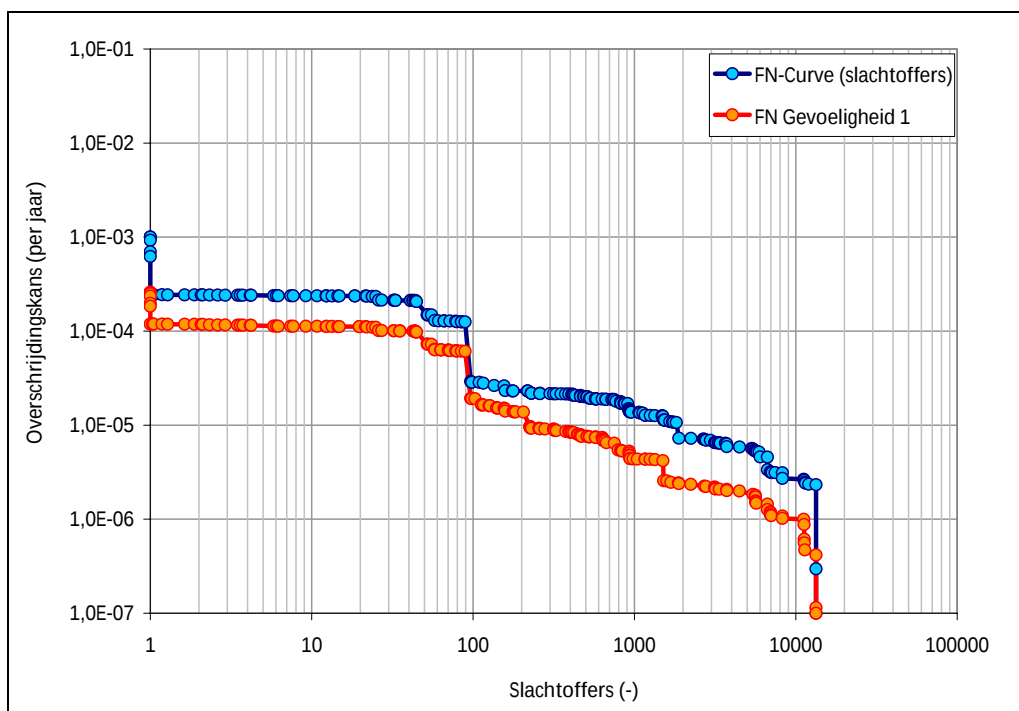
De economische schade en het aantal slachtoffers per jaar is ook weergegeven in een FS-curve (zie Figuur 73) en een FN-curve (zie Figuur 74). In de grafieken zijn de curven van de uitgangssituatie weergegeven samen met de curve na uitvoering van de maatregelen. Deze curve heeft als label Gevoeligheid 1 gekregen. In de figuren is duidelijk zichtbaar dat de kans op een bepaalde gebeurtenis met schade en/of slachtoffers afneemt. De nieuwe curve komen namelijk onder de oude curven te liggen. De maximale schade (7,2 miljard euro) en het maximale aantal slachtoffers (13.332) nemen niet af. De gevolgen van de afzonderlijke scenario's blijven gelijk. Het verschil in de lijnen wordt dus alleen veroorzaakt door een verschil in de berekende overstromingskansen.

De kans op 100 miljoen euro schade neemt af van ongeveer 1/4.100 naar 1/8.400 per jaar. De kans op 1 miljard euro schade/jr neemt af van ongeveer 1/30.000 naar 1/42.500 per jaar.

De kans op 10 slachtoffers neemt af van ongeveer 1/4.200 naar 1/8.850 per jaar. De kans op 100 slachtoffers neemt af van ongeveer 1/35.000 naar 1/52.500 per jaar. De kans op 1000 slachtoffers neemt af van ongeveer 1/73.000 naar 1/230.000 per jaar. De kans op 10.000 slachtoffers neemt af van ongeveer 1/377.000 naar 1/1.000.000 per jaar.



Figuur 73: FS-curve



Figuur 74: FN-curve

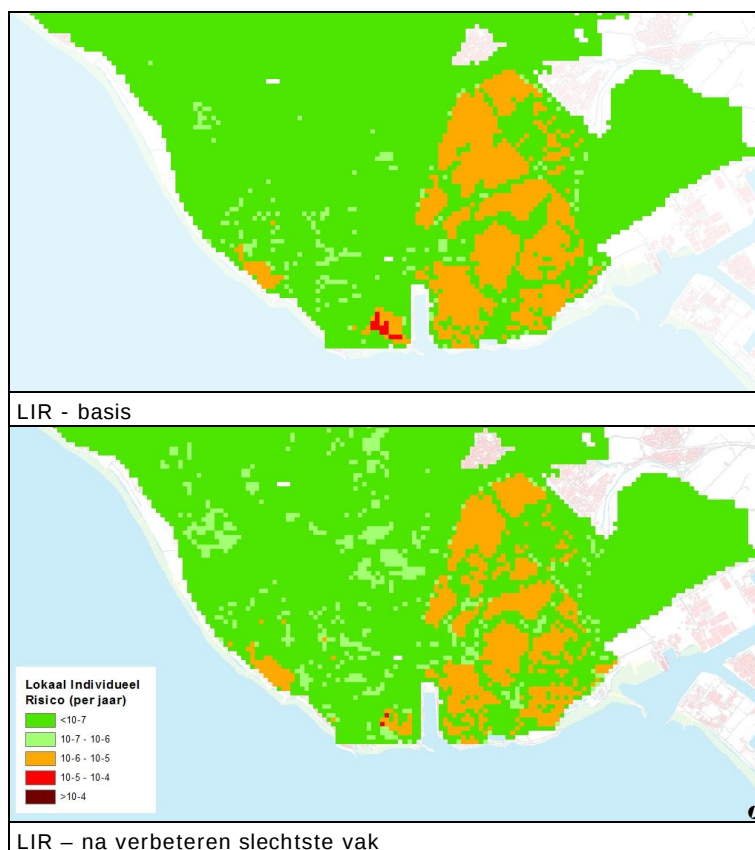
7.3.2 Analyse IV: Gevoeligheidsberekening lokaal individueel risico (LIR)

In bijna het hele dijkkringgebied is de waarde van het lokaal individueel risico kleiner dan 1/100.000 per jaar (zie Figuur 66). Alleen aan de zuidzijde bij de loodshaven van Vlissingen zijn enkele gebieden waar het lokaal individueel risico groter is. Doel van deze analyse om met zo min mogelijk ingrepen het gehele gebied te laten voldoen aan de basisveiligheidseis van 1/100.000 per jaar.

Na het verbeteren van het vak met de grootste faalkans neemt de overstromingskans en dus ook het risico af. Dit vak is weergegeven in Tabel 28. Het lokaal individueel risico is dan vrijwel overal kleiner dan 1/100.000 per jaar (zie Figuur 75).

Verbeter-stap	Te verbeteren dijkvak/kunstwerk	Maatgevend faalmechanisme	Faalkans dijkvak [per jaar]
Uitgangssituatie		-	-
Stap 1	NZ22.35700.36000	Overloop/ golfoverslag	1/2.500

Tabel 28: Te nemen maatregelen voor reductie van het LIR



Figuur 75: Het lokaal individueel risico (LIR) voor en na verbeteren slechtste dijkvak

8 Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk beschrijft de conclusies en aanbevelingen die volgen uit het onderzoek naar het overstromingsrisico van dijkkringgebied 29, Walcheren. 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 een overstroming in dijkkringgebied 29

Ten aanzien van de kans op een overstroming kunnen de onderstaande conclusies worden getrokken.

- De berekende overstromingskans voor dijkkringgebied bedraagt 1/1.000 per jaar. De berekende overstromingskans is de kans dat zich ergens achter de categorie a-kering een overstroming voordoet.
- De overstromingskans wordt met name bepaald door het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* en de gecombineerde bijdrage van de kunstwerken. Beiden bepalen circa 40% van de totale faalkans. Daarnaast levert het faalmechanisme *opbarsten en piping* ook nog een aanzienlijke bijdrage van circa 20%. De faalkansbijdragen van het faalmechanismen *duinafslag* en *macrostabiliteit binnenwaarts* zijn verwaarloosbaar klein.
- De dijkvakken die het meest bijdragen aan de overstromingskans liggen aan de zuidzijde van de dijkkring nabij Vlissingen. De locatie van de dominante vakken is goed verklaarbaar vanuit de geometrie van de dijk. Deze vakken zijn ook in de toetsing als onvoldoende naar voren gekomen en zijn volgens de beheerder de slechtste vakken van de dijkkring.
- Alle duinvakken hebben faalkansen die minimaal twee orden lager liggen dan die van het slechtste dijkvak.
- Uit de analyse van de kunstwerken blijkt dat keersluis Michiel de Ruyterhaven in Vlissingen de grootste bijdrage levert aan de totale faalkans van de kunstwerken. Dit wordt veroorzaakt door de faalkans voor *overslag/overloop*. Uit de analyse is gebleken dat er bij het overlopen van de keermuur een aanzienlijk debiet langs de binnentee van het dijklichaam gaat stromen waardoor het dijklichaam gaat eroderen en uiteindelijk een bres kan ontstaan. Ook coupure schotbalken Koopmanshaven Vlissingen levert een relatief grote bijdrage. Dit is toe te schrijven aan het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting*. Dit komt voornamelijk door het feit dat er geen informatie beschikbaar is dat erop duidt dat er formeel iets geregeld is in de haven ten aanzien van een sluiting buiten het stormseizoen.
- De overstromingskans van dijkkring 29 kan worden gereduceerd door het nemen van maatregelen bij de slechtste vakken. Na het nemen van maatregelen bij drie slechtste vakken verkleint de overstromingskans van 1/1.000 tot 1/4.300 per jaar. Het verbeteren van de tien slechtste vakken verkleint de overstromingskans tot 1/28.700 per jaar.
- 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 VNK2 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 VNK2 hiervoor dan één faalkans berekend. Hierdoor kan worden geconcludeerd dat de resultaten in lijn liggen met de toetsresultaten.

8.1.2 *De gevolgen van overstromingen in dijkringgebied 29*

Ten aanzien van de gevolgen van een overstroming kunnen de onderstaande conclusies worden getrokken.

- De grootste aantallen slachtoffers vallen bij een doorbraak in de ringdelen:
 - o ringdeel 14 (Ritthem): maximaal 11.200 slachtoffers;
 - o ringdeel 13 (Buitenhaven-oost), maximaal 5.335 slachtoffers;
 - o ringdeel 10 (Vlissingen-Zwanenburg), maximaal 1.820 slachtoffers.Bij een doorbraak in één van de andere ringdelen is het maximaal aantal slachtoffers bij een doorbraak veel minder (maximaal 225).
- In ringdeel 13 en ten zuiden van de stad Middelburg is een nieuwbouwwijk in ontwikkeling, waardoor het aantal inwoners en dus het aantal slachtoffers zal toenemen. Het aantal bewoners van de nieuwbouwwijk zal ongeveer 5.000 bedragen. Hierdoor neemt het aantal slachtoffers toe met 20 - 125 (afhankelijk van de evacuatiestrategie).
- Binnen VNK2 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 anders 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 echter niet significant veranderen.

8.1.3 *Het overstromingsrisico in dijkringgebied 29*

Door de kansen op de verschillende overstromingsscenario's te combineren met de gevolgen van een daarbij optredende overstroming, is het overstromingsrisico in beeld gebracht. Daarbij is zowel gekeken naar het economisch risico als het slachtofferrisico. Ten aanzien van het overstromingsrisico kunnen de onderstaande conclusies worden getrokken.

- In bijna het hele dijkringgebied is de waarde van het lokaal individueel risico kleiner dan 1/100.000 per jaar. Alleen aan de zuidzijde rondom Vlissingen zijn enkele gebieden waar het lokaal individueel risico een orde groter is. Na het verbeteren van de 3 vakken/kunstwerken met de grootste faalkans neemt de overstromingskans en dus ook het risico af. Het lokaal individueel risico is dan overall kleiner dan 1/100.000 per jaar.
- De huidige berekende overstromingskans van het normtraject 29_1 bedraagt 1/71.000 per jaar. De huidige berekende overstromingskans van normtraject 29_2 bedraagt 1/1.000 per jaar. Na het verbeteren van de slechtste 7 dijkvakken en 4 kunstwerken van dit traject is overstromingskans kleiner dan 1/30.000 per jaar.

De belangrijkste getalswaarden ten aanzien van het overstromingsrisico zijn opgenomen in Tabel 29.

Economisch risico	Verwachtingswaarde economische schade [M€ per jaar]	0,2
	Minimale economische schade bij een overstroming [M€]	8
	Gemiddelde ¹ economische schade per overstroming [M€]	208
	Maximaal ² economische schade bij een overstroming [M€]	6.540
Slachtoffer- risico	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers [per jaar]	0,03
	Minimaal aantal slachtoffers bij een overstroming [per jaar]	1
	Gemiddeld ¹ aantal slachtoffers per overstroming [per jaar]	35
	Maximaal ² aantal slachtoffers bij een overstroming [per jaar]	12.500

Tabel 29: Resultaten risicoberekeningen voor dijkringgebied 29

8.2 Aanbevelingen

Op basis van de uitgevoerde analyses zijn de onderstaande aanbevelingen gedaan.

- Indien de kans op een overstroming verlaagd dient te worden, kan dit het meest effectief gebeuren door de zwakste vakken en kunstwerken in ringdeel 12 (Buitenhaven-west) en ringdeel 13 (Buitenhaven-oost) te verbeteren. Dit leidt ook direct tot een significante risicoreductie.
- De coupure schotbalken Koopmanshaven Vlissingen levert een relatief grote bijdrage aan de overstromingskans. Dit is toe te schrijven aan het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting*. Dit komt voornamelijk door het feit dat er formeel niets geregeld is in de haven ten aanzien van een sluiting buiten het stormseizoen. Aanbevolen wordt om hier een sluitprotocol voor op te stellen.
- Voor de schadeberekeningen binnen VNK2 is het uitgangspunt dat de regionale keringen standzeker zijn. Hiermee wordt de schade bij een overstroming onderschat. Het verdient aanbeveling om door middel van gevoeligheidsanalyses na te gaan wat de impact op de schade is indien de regionale keringen niet als standzeker in de schadeberekeningen worden meegenomen.

¹ De gemiddelde economische schade of het gemiddeld aantal slachtoffers is de verwachtingswaarde gedeeld door de overstromingskans

² Met maximaal wordt hier bedoeld de gevolgen die behoren bij het beschouwde overstromingsscenario met de grootste gevolgen. Overstromingsscenario's die niet zijn beschouwd in de risicoanalyse kunnen mogelijk grotere gevolgen hebben.

Bijlage A Literatuur

- [1] Rijkswaterstaat-Waterdienst, 2010, Van Ruwe Data tot Overstromingsrisico. HB-nummer: RWS-858538, 25 november 2010.
- [2] Rijkswaterstaat-Waterdienst, 2011, Overall Kunstwerkenrapport, dijkkring 29 Officiële naam dijkkringgebied, mei 2014.
- [3] Rijkswaterstaat-Waterdienst, 2011, Dijkkring 29 Walcheren, Achtergrondrapport, mei 2014.
- [4] Steenbergen, H.M.G.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M., Koster, T., 2008, Theoriehandleiding PC-Ring versie 5.0. Deel A: Mechanismebeschrijvingen, 29-02-2008, TNO.
- [5] Steenbergen, H.M.G.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M., 2003, Theoriehandleiding PC-Ring, Versie 4.0, Deel B: Statistische modellen, april 2003, TNO.
- [6] Steenbergen, H.M.G.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M., 2003, Theoriehandleiding PC-Ring, Versie 4.0, Deel C: Rekentechnieken, april 2003, TNO.
- [7] Maaskant, B. et al. 2009, Evacuatieschattingen Nederland. PR1718.10. HKV LIJN IN WATER, juli 2009.
- [8] VNK2, 2009, Conditionele kansen en evacuatiefracties binnen VNK2 Memorandum, oktober 2009.
- [9] ENW. *Technisch Rapport Duinafslag. Beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering ten behoeve van Voorschrift Toetsing op Veiligheid 2006*. Mei 2007
- [10] ENW. 2010, Piping. Realiteit of rekenfout?, januari 2010.
- [11] Kok, M., et al., 2004, Standaardmethode2004 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen, DWW-2005-005, HKV LIJN IN WATER, november 2004.
- [12] Pleijter, G. en Wallenburg, C. van. *Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000. Toelichting bij de kaartbladen 42 West en 42 Oost Zierikzee 47/48 Cadzand/Middelburg*. Wageningen 1987, Stichting voor Bodemkartering.
- [13] Metzelaar, W. *Zeeland in bewogen dagen 4^e deel. De droogmaking van Walcheren*.
- [14] EurOtop. *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual (Die Kuste version)*. August 2008
- [15] www.wikipedia.nl

Bijlage B Begrippenlijst

Afschuiving

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

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 golfoploop 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.

Dijkkring

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

Dijkkringgebied

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

Dijkkringsegment

Een deel van de dijkkring, 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 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 van een stochast

De verwachtingswaarde (μ) van een stochast.

Gevolgenmatrix

De gevolgenmatrix is een dataset per dijkkringgebied, 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 slachtofferaantallen.

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.

Macrostabiliteit

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 binnenwaarts*.

Overloop

Het verschijnsel waarbij water over de kruin van een dijk stroomt omdat de buitenwaterstand 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 dijkkring) 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 dijkkring.

Overstromingsscenario

Een unieke combinatie van falende en niet-falende ringdelen die leidt tot de overstroming van (een deel van) een dijkkringgebied.

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 dijkkring 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 VNK2 traceerbaar is.

Plaatsgebonden risico (PR)

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 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 van de dijk nadat een initiërend faalmechanisme is opgetreden. In VNK2 wordt er bij het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie 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 overstromen (cascade-effect) van een andere dijkkring. Systeemwerking betreft dus de interactie tussen twee of meer dijkringen. 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 van een stochast

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

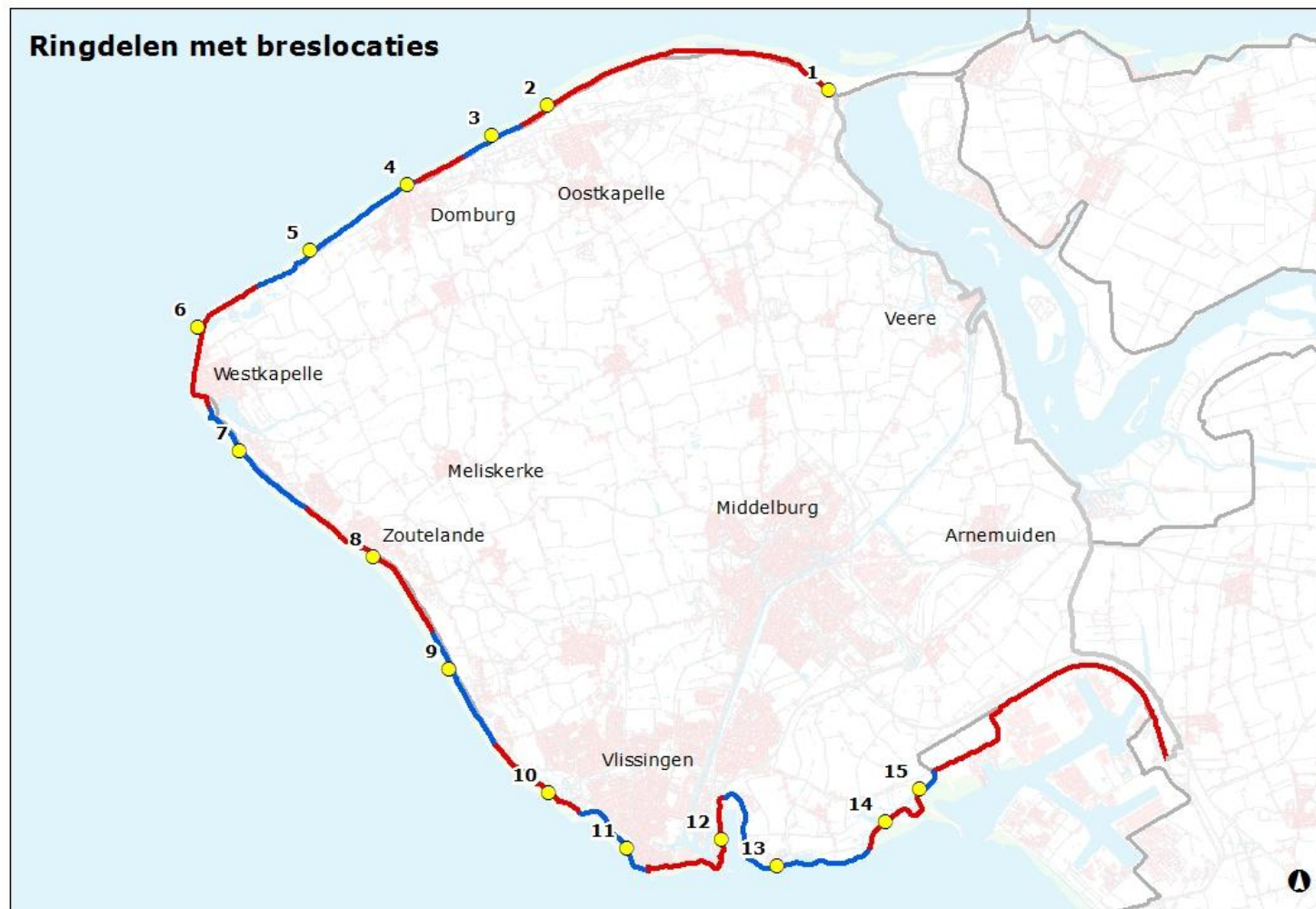
Een wel die zand meevoert uit de ondergrond.

Bijlage C Vakindeling en locatie-aanduiding dijkkring 29

Dijkvak		Buitenwater	Lengte [m]	Type	Bodemdeelgebied	Ringdeel
1	NZ01.04600.04800	Noordzee	200	Duin	-	1
2	NZ02.04800.11700	Noordzee	6900	Duin	-	1
3	NZ03.11700.14200	Noordzee	2500	Duin	-	2 en 3
4	NZ04.14200.17300	Noordzee	3100	Duin	-	4
5	NZ05.17300.18200	Noordzee	900	Dijk	G	4
6	NZ06.18200.18900	Noordzee	700	Dijk	G	5
7	NZ07.18900.19500	Noordzee	600	Dijk	G	5
8	NZ08.19500.20300	Noordzee	800	Dijk	F	5
9	NZ09.20300.21100	Noordzee	800	Dijk	F	5
10	NZ10.21100.21300	Noordzee	200	Dijk	F	5
11	NZ11.21300.22400	Noordzee	1100	Duin	-	6
12	NZ12.22400.24500	Noordzee	2100	Duin	-	6
13	NZ13.24500.25400	Noordzee	900	Duin	-	7
14	NZ14.25400.26200	Noordzee	800	Dijk	E	7
15	NZ15.26200.26900	Noordzee	700	Duin	-	7
16	NZ16.26900.28400	Noordzee	1500	Duin	-	7
17	NZ17.28400.31300	Noordzee	2900	Duin	-	8
18	NZ18.31300.32400	Noordzee	1100	Duin	-	9
19	NZ19.32400.33600	Noordzee	1200	Dijk	A	9
20	NZ20.33600.34900	Noordzee	1300	Dijk	A	10
21	NZ21.34900.35700	Noordzee	800	Dijk	A	10
22	NZ22.35700.36000	Noordzee	400	Dijk	A	11

Dijkvak		Buitenwater	Lengte [m]	Type	Bodemdeelgebied	Ringdeel
23	NZ23.35600.36400	Noordzee	400	Dijk	A	11
24	NZ24.36400.37500	Noordzee	1100	Dijk	B	11
25	WS01.79900.78200	Westerschelde	1700	Dijk	B	11
26	WS02.78200.76500	Westerschelde	1700	Dijk	B en C	12
27	WS03.76500.76100	Westerschelde	500	Dijk	C	12
28	WS04.76100.75500	Westerschelde	500	Dijk	C	12
29	WS05.75500.75000	Westerschelde	500	Dijk	C	12
30	WS06.75000.73800	Westerschelde	1200	Dijk	C	12
31	WS07.73800.72500	Westerschelde	1300	Dijk	C	13
32	WS08.72500.71700	Westerschelde	800	Dijk	C	13
33	WS09.71700.71100	Westerschelde	600	Dijk	D	14
34	WS10.71100.65400	Westerschelde	5700	Dijk	D	15
35	WS11.65400.64900	Westerschelde	500	Dijk	D	15





Bijlage D Overzicht faalkansen

Vak		Dijken				Duinen	Kunstwerken				Gecombineerd
ID	Naam	Overloop/golfoverslag	Macro-instabiliteit binnenwaarts	Opbarsten en piping	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Duinafslag	Kunstwerken Overloop/golfoverslag	Kunstwerken Niet sluiten	Kunstwerken Piping	Kunstwerken Constructief falen	
1	NZ01.04600.04800	-	-	-	-	4,78E-09	-	-	-	-	4,78E-09
2	NZ02.04800.11700	-	-	-	-	4,78E-09	-	-	-	-	4,78E-09
3	NZ03.11700.14200	-	-	-	-	1,26E-07	-	-	-	-	1,26E-07
4	NZ04.14200.17300	-	-	-	-	1,28E-06	-	-	-	-	1,28E-06
5	NZ05.17300.18200	4,21E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	4,21E-06
6	NZ06.18200.18900	1,76E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	1,76E-07
7	NZ07.18900.19500	3,89E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	3,89E-07
8	NZ08.19500.20300	2,57E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	2,57E-06
9	NZ09.20300.21100	8,18E-08	-	-	-	-	-	-	-	-	8,18E-08
10	NZ10.21100.21300	6,55E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	6,55E-06
11	NZ11.21300.22400	-	-	-	-	1,69E-06	-	-	-	-	1,69E-06
12	NZ12.22400.24500	-	-	-	-	3,45E-07	-	-	-	-	3,45E-07

Vak		Dijken				Duinen	Kunstwerken				Gecombineerd
ID	Naam	Overloop/golfoverslag	Macro-instabiliteit binnenwaarts	Opbarsten en piping	Beschadiging bekleding en erosie dijklchaam	Duinafslag	Kunstwerken Overloop/golfoverslag	Kunstwerken Niet sluiten	Kunstwerken Piping	Kunstwerken Constructief falen	
13	NZ13.24500.25400	-	-	-	-	2,01E-07	-	-	-	-	2,01E-07
14	NZ14.25400.26200	1,01E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	1,01E-07
15	NZ15.26200.26900	-	-	-	-	3,89E-09	-	-	-	-	3,89E-09
16	NZ16.26900.28400	-	-	-	-	8,05E-12	-	-	-	-	8,05E-12
17	NZ17.28400.31300	-	-	-	-	2,93E-07	-	-	-	-	2,93E-07
18	NZ18.31300.32400	-	-	-	-	3,07E-06	-	-	-	-	3,07E-06
19	NZ19.32400.33600	3,86E-06	2,23E-06	3,54E-07	-	-	-	-	-	-	6,44E-06
20	NZ20.33600.34900	1,59E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	1,59E-06
21	NZ21.34900.35700	7,85E-08	-	-	-	-	-	-	-	-	7,85E-08
22	NZ22.35700.36000	3,95E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	3,95E-04
23	NZ23.35600.36400	4,45E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	4,45E-06
24	NZ24.36400.37500	2,55E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	2,55E-05
25	WS01.79900.78200	3,25E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	3,25E-06
26	WS02.78200.76500	1,03E-05	3,02E-06	-	-	-	-	-	-	-	1,34E-05
27	WS03.76500.76100	1,08E-06	-	4,15E-06	-	-	-	-	-	-	5,22E-06
28	WS04.76100.75500	1,52E-08	-	-	-	-	-	-	-	-	1,52E-08

Vak		Dijken				Duinen	Kunstwerken				Gecombineerd
ID	Naam	Overloop/golfoverslag	Macro-instabiliteit binnenwaarts	Opbarsten en piping	Beschadiging bekleding en erosie dijklchaam	Duinafslag	Kunstwerken Overloop/golfoverslag	Kunstwerken Niet sluiten	Kunstwerken Piping	Kunstwerken Constructief falen	
29	WS05.75500.75000	1,81E-07	3,68E-07	6,58E-05	-	-	-	-	-	-	6,64E-05
30	WS06.75000.73800	3,74E-09	-	1,16E-04	-	-	-	-	-	-	1,16E-04
31	WS07.73800.72500	5,97E-08	-	1,90E-06	-	-	-	-	-	-	1,96E-06
32	WS08.72500.71700	3,53E-07	-	2,36E-06	-	-	-	-	-	-	2,70E-06
33	WS09.71700.71100	2,21E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	2,21E-06
34	WS10.71100.65400	7,33E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	7,33E-06
35	WS11.65400.64900	1,78E-05	1,19E-06	2,69E-09	-	-	-	-	-	-	1,90E-05
	VNK.29.01.001	-	-	-	-	-	1,33E-07	8,70E-05	-	-	8,57E-05
	VNK.29.01.002	-	-	-	-	-	1,24E-07	1,31E-06	-	-	1,42E-06
	VNK.29.04.001	-	-	-	-	-	2,64E-04	1,24E-05	-	-	2,76E-04
	VNK.29.06.001	-	-	-	-	-	4,41E-06	3,22E-07	-	9,17E-06	1,39E-05
	VNK.29.08.002	-	-	-	-	-	-	1,92E-05	-	-	1,92E-05
Totaal											

Bijlage E Overstromingsscenario's

scenario	scenario- kans [per jaar]	cumulatief aandeel [%]	RD01-04	RD05	RD06	RD07	RD08	RD09	RD10	RD11	RD12	RD13	RD14	RD15	Doorbraken
1	7,63E-04	76,7%									x				1
2	1,92E-04	96,1%										x			1
3	6,82E-06	96,8%							x						1
4	5,74E-06	97,3%									x	x			2
5	3,76E-06	97,7%		x											1
6	2,81E-06	98,0%			x						x				2
7	2,79E-06	98,3%									x			x	2
8	2,39E-06	98,5%							x		x				2
9	2,12E-06	98,7%											x		1
10	1,62E-06	98,9%			x						x			x	3
11	1,24E-06	99,0%			x										1
12	1,16E-06	99,1%									x		x		2
13	1,09E-06	99,2%				x									1
14	7,48E-07	99,3%										x	x		2
15	5,90E-07	99,4%			x					x	x			x	4
16	5,05E-07	99,4%	x			x									2
17	4,26E-07	99,5%								x	x			x	3
18	4,16E-07	99,5%	x												1
19	4,08E-07	99,6%									x	x	x		3
20	3,97E-07	99,6%		x							x				2
21	3,40E-07	99,6%												x	1

scenario	scenario- kans [per jaar]	cumulatief aandeel [%]	RD01-04	RD05	RD06	RD07	RD08	RD09	RD10	RD11	RD12	RD13	RD14	RD15	Doorbraken
22	2,98E-07	99,7%			x				x		x				3
23	2,12E-07	99,7%	x			x		x							3
24	1,86E-07	99,7%			x				x		x			x	4
25	1,66E-07	99,7%									x		x	x	3
26	1,45E-07	99,7%									x	x		x	3
27	1,33E-07	99,7%							x		x			x	3
28	1,24E-07	99,8%			x									x	2
29	1,14E-07	99,8%			x				x						2
30	1,09E-07	99,8%			x						x		x	x	4
31	1,04E-07	99,8%			x						x	x			3
32	1,01E-07	99,8%					x								1
33	9,22E-08	99,8%			x						x		x		3
34	9,15E-08	99,8%								x				x	2
35	8,91E-08	99,8%			x						x	x		x	4
36	8,02E-08	99,8%			x				x	x	x			x	5
37	7,19E-08	99,8%							x			x			2
38	7,02E-08	99,8%									x	x	x	x	4
39	6,64E-08	99,9%			x					x	x		x	x	5
40	6,61E-08	99,9%							x		x	x			3
41	6,51E-08	99,9%	x			x	x								3
42	5,74E-08	99,9%				x	x								2
43	5,17E-08	99,9%								x	x		x	x	4
44	4,81E-08	99,9%			x						x	x	x	x	5
45	4,41E-08	99,9%							x		x		x		3
46	4,36E-08	99,9%			x					x				x	3

scenario	scenario- kans [per jaar]	cumulatief aandeel [%]	RD01-04	RD05	RD06	RD07	RD08	RD09	RD10	RD11	RD12	RD13	RD14	RD15	Doorbraken
47	4,28E-08	99,9%	x			x	x	x							4
48	4,20E-08	99,9%	x				x								2
49	3,91E-08	100%			x					x	x	x		x	5
50	3,89E-08	100%			x						x	x	x		4

Bijlage F Kansen, gevolgen en risico's per scenario

#	Waterstand Vlissingen [m+NAP]	Scenario- kans	OM/SSM berekeningen	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	4,44	7,63E-04	12_Buitenhaven-west_tp-1d	3,11E+03	1,47E-04	6,21E+02	1,83E-05	1,86E+03	4,42E-05	6,19E+02	8,24E-06
2	3,89	1,92E-04	13_Buitenhaven-oost_tp-1d	7,33E+04	8,58E-03	1,46E+04	1,06E-03	4,36E+04	2,58E-03	1,45E+04	4,81E-04
3	4,49	6,82E-06	10_Vlissingen_ZWB_rp-1d	5,77E+03	7,01E-04	1,15E+03	8,69E-05	3,44E+03	2,10E-04	1,14E+03	3,92E-05
4	4,84	5,74E-06	1213	3,59E+03	4,47E-04	7,12E+02	5,55E-05	2,13E+03	1,34E-04	7,07E+02	2,51E-05
5	4,05	3,76E-06	05_Noordduin_rp-1d	2,91E+02	7,94E-06	5,81E+01	9,85E-07	1,74E+02	2,38E-06	5,80E+01	4,45E-07
6	4,48	2,81E-06	0612	2,95E+02	1,01E-05	5,89E+01	1,25E-06	1,77E+02	3,02E-06	5,88E+01	5,63E-07
7	6,00	2,79E-06	1215	1,07E+03	1,18E-04	2,13E+02	1,47E-05	6,39E+02	3,55E-05	2,12E+02	6,63E-06
8	5,06	2,39E-06	1012	2,76E+03	4,91E-04	5,49E+02	6,09E-05	1,65E+03	1,47E-04	5,47E+02	2,75E-05
9	4,92	2,12E-06	14_Ritthem_tp	2,01E+03	1,59E-03	4,00E+02	1,97E-04	1,20E+03	4,78E-04	3,97E+02	8,92E-05
10	6,02	1,62E-06	061215	1,46E+03	1,28E-04	2,91E+02	1,59E-05	8,72E+02	3,84E-05	2,90E+02	7,17E-06
11	4,37	1,24E-06	06_WestKapelle_tp-1d	1,24E+02	4,17E-06	2,48E+01	5,17E-07	7,45E+01	1,25E-06	2,48E+01	2,34E-07
12	5,45	1,16E-06	1214	1,86E+03	3,42E-03	3,69E+02	4,24E-04	1,11E+03	1,03E-03	3,67E+02	1,91E-04
13	3,37	1,09E-06	07_Boudewijnskerke_rp-1d	7,21E+01	2,04E-06	1,44E+01	2,53E-07	4,32E+01	6,12E-07	1,44E+01	1,14E-07
14	4,64	7,48E-07	1314	8,22E+02	5,76E-04	1,63E+02	7,14E-05	4,88E+02	1,73E-04	1,62E+02	3,23E-05
15	6,35	5,90E-07	06111215	7,86E+02	2,74E-04	1,56E+02	3,39E-05	4,68E+02	8,21E-05	1,56E+02	1,53E-05

#	Waterstand Vlissingen [m+NAP]	Scenario- kans	OM/SSM berekeningen	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 [-]
16	3,35	5,05E-07	0407	4,48E+01	2,34E-06	8,95E+00	2,90E-07	2,68E+01	7,00E-07	8,94E+00	1,31E-07
17	6,41	4,26E-07	111215	4,08E+02	1,75E-04	8,12E+01	2,17E-05	2,43E+02	5,25E-05	8,08E+01	9,80E-06
18	3,35	4,16E-07	04_Domburg_rp-1d	9,58E+00	1,13E-06	1,91E+00	1,40E-07	5,72E+00	3,40E-07	1,90E+00	6,34E-08
19	5,20	4,08E-07	121314	6,53E+02	9,15E-04	1,30E+02	1,13E-04	3,88E+02	2,75E-04	1,29E+02	5,13E-05
20	4,78	3,97E-07	0512	7,10E+01	2,95E-06	1,42E+01	3,66E-07	4,25E+01	8,85E-07	1,42E+01	1,65E-07
21	6,28	3,40E-07	15_Rammekens_tp+1d	1,57E-01	0,00E+00	3,14E-02	0,00E+00	9,41E-02	0,00E+00	3,14E-02	0,00E+00
22	5,00	2,98E-07	061012	3,05E+02	3,60E-05	6,07E+01	4,47E-06	1,82E+02	1,08E-05	6,04E+01	2,02E-06
23	3,33	2,12E-07	040709	9,37E+01	5,88E-06	1,87E+01	7,29E-07	5,60E+01	1,76E-06	1,86E+01	3,29E-07
24	6,06	1,86E-07	06101215	3,24E+02	1,47E-04	6,45E+01	1,82E-05	1,93E+02	4,41E-05	6,41E+01	8,24E-06
25	6,27	1,66E-07	121415	3,44E+02	9,40E-04	6,84E+01	1,17E-04	2,05E+02	2,82E-04	6,80E+01	5,26E-05
26	6,21	1,45E-07	121315	2,41E+02	3,93E-04	4,78E+01	4,87E-05	1,43E+02	1,18E-04	4,76E+01	2,20E-05
27	6,24	1,33E-07	101215	2,45E+02	1,25E-04	4,86E+01	1,55E-05	1,46E+02	3,74E-05	4,84E+01	6,99E-06
28	6,42	1,24E-07	0615	7,10E+01	4,35E-06	1,42E+01	5,40E-07	4,24E+01	1,31E-06	1,41E+01	2,44E-07
29	4,57	1,14E-07	0610	1,03E+02	1,23E-05	2,06E+01	1,52E-06	6,16E+01	3,68E-06	2,05E+01	6,88E-07
30	6,35	1,09E-07	06121415	2,81E+02	6,20E-04	5,59E+01	7,69E-05	1,67E+02	1,86E-04	5,56E+01	3,47E-05
31	4,74	1,04E-07	061213	8,27E+01	8,88E-06	1,64E+01	1,10E-06	4,93E+01	2,66E-06	1,64E+01	4,97E-07
32	4,48	1,01E-07	08_Zoutelande_rp-1d	1,39E+01	6,25E-07	2,78E+00	7,75E-08	8,34E+00	1,87E-07	2,78E+00	3,50E-08
33	4,95	9,22E-08	061214	1,12E+02	7,05E-05	2,23E+01	8,74E-06	6,69E+01	2,11E-05	2,22E+01	3,95E-06

#	Waterstand Vlissingen [m+NAP]	Scenario- kans	OM/SSM berekeningen	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 [-]
34	6,50	9,15E-08	1115	7,14E+01	1,04E-05	1,42E+01	1,28E-06	4,25E+01	3,11E-06	1,41E+01	5,80E-07
35	6,27	8,91E-08	06121315	1,95E+02	2,45E-04	3,87E+01	3,04E-05	1,16E+02	7,35E-05	3,85E+01	1,37E-05
36	6,43	8,02E-08	0610111215	1,50E+02	7,55E-05	2,98E+01	9,37E-06	8,91E+01	2,27E-05	2,96E+01	4,23E-06
37	4,91	7,19E-08	1013	9,84E+01	1,26E-05	1,96E+01	1,56E-06	5,86E+01	3,78E-06	1,95E+01	7,06E-07
38	6,02	7,02E-08	12131415	1,45E+02	4,04E-04	2,89E+01	5,01E-05	8,65E+01	1,21E-04	2,87E+01	2,26E-05
39	6,58	6,64E-08	0611121415	1,99E+02	4,03E-04	3,96E+01	5,00E-05	1,19E+02	1,21E-04	3,94E+01	2,26E-05
40	5,44	6,61E-08	101213	1,33E+02	3,86E-05	2,64E+01	4,78E-06	7,90E+01	1,16E-05	2,62E+01	2,16E-06
41	3,79	6,51E-08	040708	1,31E+01	7,40E-07	2,62E+00	9,18E-08	7,84E+00	2,22E-07	2,61E+00	4,14E-08
42	3,83	5,74E-08	0708	1,03E+01	4,94E-07	2,06E+00	6,12E-08	6,18E+00	1,48E-07	2,06E+00	2,76E-08
43	6,62	5,17E-08	11121415	1,36E+02	3,11E-04	2,70E+01	3,86E-05	8,09E+01	9,33E-05	2,69E+01	1,74E-05
44	6,12	4,81E-08	0612131415	1,24E+02	2,79E-04	2,47E+01	3,45E-05	7,39E+01	8,36E-05	2,46E+01	1,56E-05
45	5,92	4,41E-08	101214	1,44E+02	2,77E-04	2,87E+01	3,43E-05	8,58E+01	8,31E-05	2,85E+01	1,55E-05
46	6,60	4,36E-08	061115	5,13E+01	1,40E-05	1,02E+01	1,73E-06	3,05E+01	4,19E-06	1,01E+01	7,81E-07
47	3,79	4,28E-08	04070809	2,08E+01	1,47E-06	4,14E+00	1,83E-07	1,24E+01	4,42E-07	4,13E+00	8,25E-08
48	3,81	4,20E-08	0408	6,72E+00	3,77E-07	1,34E+00	4,67E-08	4,02E+00	1,13E-07	1,34E+00	2,11E-08
49	6,64	3,91E-08	0611121315	1,02E+02	1,22E-04	2,03E+01	1,52E-05	6,07E+01	3,67E-05	2,02E+01	6,85E-06
50	4,97	3,89E-08	06121314	6,88E+01	8,75E-05	1,37E+01	1,08E-05	4,09E+01	2,62E-05	1,36E+01	4,90E-06
51		0,00E+00	Maximaal_Scenario	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Bijlage G Colofon

Uitgegeven door
Rijkswaterstaat WVL
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 29

Projectleider:
J.C. Bossenbroek (Antea Group)

Begeleiding vanuit het projectbureau:
C. Bisschop (projectbureau VNK2)

Projectteam:
J.W. Bardoel (Antea Group)
J.C. Bossenbroek (Antea Group)
J.B. de Hoop (Antea Group)
P. Leemans (Antea Group)
B. van Meekeren (Antea Group)
H. van Meekeren (Antea Group)
M. Tol (Antea Group)

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