

---

## Veiligheid Nederland in Kaart 2

Overstromingsrisico dijkkringgebieden 1, Schiermonnikoog  
2, Ameland  
3, Terschelling  
4, Vlieland

<b>Documenttitel</b>	Veiligheid Nederland in Kaart 2 Overstromingsrisico dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4 Schiermonnikoog, Ameland, Terschelling en Vlieland
<b>Document</b>	HB 2631022
<b>Status</b>	Definitief
<b>Datum</b>	Oktober 2014
<b>Auteur</b>	M.J. van Reen (Arcadis)
<b>Opdrachtnemer</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL).
<b>Uitgevoerd door</b>	Consortium Albicom (combinatie van Arcadis, Lievense, RPS, IV-Infra)
<b>Opdrachtgevers</b>	Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Unie van Waterschappen en Interprovinciaal Overleg

---



---

## Voorwoord

Het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK2) 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 dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4 respectievelijk Schiermonnikoog, Ameland, Terschelling en Vlieland. Het detailniveau van de analyses is afgestemd op de primaire doelstelling van VNK2: het verschaffen van een beeld van de overstromingsrisico's.

Hoewel dit rapport een beeld geeft van de veiligheid van dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4, dient het niet te worden verward met een toetsrapport 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.

Bij het tot stand komen van de resultaten spelen de provincies en de beheerders een belangrijke rol. 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 VNK2 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. Tenslotte vormen de resultaten van VNK2 input voor het Deltaprogramma en de nieuwe normering.

VNK2 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, kennisinstututen en ingenieursbureaus.

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

Niels Roode  
Projectmanager VNK2, Rijkswaterstaat WVL

---



---

# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b>	<b>3</b>
<b>Managementsamenvatting</b>	<b>1</b>
<b>Technische samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>15</b>
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
<b>2 Gebiedsbeschrijving en schematisatie</b>	<b>21</b>
2.1 Beschrijving dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4, Waddeneilanden	21
2.1.1 Gebiedsbeschrijving dijkkring 1: Schiermonnikoog	21
2.1.2 Gebiedsbeschrijving dijkkring 2: Ameland	22
2.1.3 Gebiedsbeschrijving dijkkring 3: Terschelling	23
2.1.4 Gebiedsbeschrijving dijkkring 4: Vlieland	24
2.1.5 Beheerder	25
2.2 Geschiedenis: bedreigingen en versterkingen	25
2.2.1 Overstromingsrampen	25
2.2.2 Versterkingen	26
2.3 Vakindeling categorie a-kering	27
2.3.1 Vakindeling dijken	27
2.3.2 Vakindeling duinen	27
2.3.3 Overzicht vakindeling	28
2.4 Kunstwerken	29
<b>3 Overstromingskans</b>	<b>31</b>
3.1 Aanpak en uitgangspunten	31
3.2 Bijzonderheden dijkkringen 1, 2, 3 en 4	31
3.2.1 Randvoorwaarden	31
3.2.2 Tijdsafhankelijkheid	32
3.3 Beschouwde faalmechanismen	33
3.3.1 Faalmechanismen dijken	33
3.3.2 Faalmechanismen duinen	33
3.3.3 Faalmechanismen kunstwerken	34
3.4 Niet beschouwde faalmechanismen	36
3.5 Zettingsvloeiing	37
3.6 Berekende overstromingskansen	37
3.6.1 Overstromingskans en faalkansen per faalmechanisme	37
3.6.2 Faalkansen dijken	44
3.6.3 Faalkansen duinen	50

---

---

3.6.4	Faalkansen kunstwerken	52
<b>4</b>	<b>De gevolgen van overstromingen per ringdeel</b>	<b>55</b>
4.1	Aanpak en uitgangspunten	55
4.1.1	Algemeen	55
4.1.2	Ringdelen	56
4.1.3	Hoogteligging	57
4.1.4	Belastingssituatie en bresontwikkeling	58
4.1.5	Evacuatie	60
4.2	Resultaten overstromingsberekeningen per ringdeel	61
4.2.1	Dijkkringgebied 1: Schiermonnikoog	61
4.2.2	Dijkkringgebied 2: Ameland	63
4.2.3	Dijkkringgebied 3: Terschelling	65
4.2.4	Dijkkringgebied 4: Vlieland	68
4.3	Overzicht resultaten overstromingsberekeningen	69
<b>5</b>	<b>Overstromingsscenario's en scenariokansen</b>	<b>71</b>
5.1	Aanpak bepaling scenariokansen	71
5.2	Opstellen scenario's	71
5.3	Berekenen scenariokansen	72
5.4	Scenariokansen	73
<b>6</b>	<b>Overstromingsrisico</b>	<b>75</b>
6.1	Aanpak berekening overstromingsrisico	75
6.2	Overstromingsrisico	76
6.2.1	Economisch risico	76
6.2.2	Slachtofferrisico	79
<b>7</b>	<b>Gevoeligheidsanalyses</b>	<b>83</b>
7.1	Gevoeligheidsanalyses op kansniveau	83
7.1.1	Maatregelen gericht op overstromingskansafname	83
7.1.2	Maatregelen gericht op overstromingskans DPV	89
7.2	Gevoeligheidsanalyse op risiconiveau	92
7.2.1	Maatregelen gericht op afname LIR en PR	92
7.2.2	Overstromingsrisico na afname overstromingskans	94
7.2.3	Invloed van de verwachtingswaarden van de evacuatiefracties	96
<b>8</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>99</b>
8.1	Conclusies	99
8.1.1	Kans op een overstroming in dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4	99
8.1.2	Gevolgen van overstromingen in dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4	100
8.1.3	Overstromingsrisico's in dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4	101
8.2	Aanbevelingen	105
8.2.1	Faalkansen	105
8.2.2	Risico's	106
<b>Bijlage A</b>	<b>Literatuur</b>	<b>107</b>
<b>Bijlage B</b>	<b>Begrippenlijst</b>	<b>109</b>

---

---

<b>Bijlage C</b>	<b>Vakindeling en locatie-aanduiding dijkringen 1, 2, 3 en 4</b>	<b>117</b>
<b>Bijlage D</b>	<b>Overzicht resultaten overstromingsberekeningen</b>	<b>123</b>
<b>Bijlage E</b>	<b>Overstromingsscenario's</b>	<b>127</b>
<b>Bijlage F</b>	<b>Kansen, gevolgen en risico's per scenario</b>	<b>129</b>
<b>Bijlage G</b>	<b>Groepsrisico</b>	<b>133</b>
<b>Bijlage H</b>	<b>Aanvullende gevoeligheidsanalyses</b>	<b>135</b>
H.1	Analyse op golfbelasting	135
H.1.1	Inleiding	135
H.1.2	Analyses	135
H.1.3	Resultaten	136
H.1.4	Conclusies	139
H.2	Invloed van de graskwaliteit op de overstromingskans	140
H.3	Invloed van standzekerheid van de regionale kering Ameland	148
<b>Bijlage I</b>	<b>Colofon</b>	<b>149</b>

---





---

## Managementsamenvatting

Voor u ligt de rapportage van de analyse van het overstromingsrisico van dijkkringgebieden Schiermonnikoog (dijkkring 1), Ameland (dijkkring 2), Terschelling (dijkkring 3) en Vlieland (dijkkring 4). Tevens is in de VNK2-analyse van het overstromingsrisico van de voorgestelde ligging<sup>1</sup> van dijkkringen Terschelling en Vlieland beschouwd en in het rapport opgenomen. De managementsamenvatting heeft betrekking op de huidige ligging van de dijkkring.

### Wat is VNK2?

Veiligheid Nederland in Kaart 2 (VNK2) is het project dat overstromingsrisico's in Nederland in kaart brengt. Dit wordt gedaan volgens het principe: risico = kans x gevolg. De rekenmethode van VNK2 maakt het mogelijk overstromingskansen te berekenen. Door het combineren van doorbraakkansen, wijze van overstromen 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 maatregelen kunnen beter onderbouwde keuzes worden gemaakt ten aanzien van investeringen in waterveiligheid.

VNK2 geeft een beeld van de huidige 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).

### Resultaten

Binnen VNK2 zijn verschillende berekeningen uitgevoerd waarbij kansen, gevolgen en de risico's voor verschillende situaties zijn bepaald. Vertrekpunt is de referentiesituatie. Dit is de situatie zoals de kering erbij lag eind 2013. Hierbij is gebruik gemaakt van beschikbare rapporten en onderzoeken. In de berekeningen voor de referentiesituatie is reeds rekening gehouden met de in uitvoering zijnde HWBP2-versterkingen. Voor de eilanden betreft dit de versterking van de dijk en kunstwerken op Ameland. Deze versterking is nog in uitvoering.

Het overstromingsrisico is de vermenigvuldiging van de kansen met de gevolgen. De berekende overstromingskansen en overstromingsrisico's zijn in Tabel 1 samengevat. Het overstromingsrisico is opgenomen in de vorm van de jaarlijkse verwachtingswaarden van het aantal slachtoffers en de economische schade. Verder is aangegeven of en in welke mate in het achterland de richtwaarde van de overlijdenskans van 1/100.000 per jaar voor het Lokaal individueel Risico wordt gehaald. Het Lokaal Individueel Risico (LIR) is de kans dat een persoon die zich permanent op een bepaalde plaats in het dijkkringgebied bevindt, overlijdt als gevolg van een overstroming. In het LIR zijn de mogelijkheden voor preventieve evacuatie meegenomen (evacuatiefractie van 65%). Tevens is het Plaatsgebonden Risico (PR) weergegeven. De definitie van het PR is vergelijkbaar met het LIR, maar in het PR worden de mogelijkheden voor preventieve evacuatie niet meegenomen.

---

<sup>1</sup> In oktober 2012 is bestuurlijke overeenstemming bereikt door ondertekening van een intentieverklaring door de Staatssecretaris van I&M over onder andere de globale toekomstige ligging van de primaire keringen van Terschelling en Vlieland.

		Dijkkring 1 Schier- monnikoog	Dijkkring 2 Ameland	Dijkkring 3 Terschelling	Dijkkring 4 Vlieland
Overstromingskans	Overstromingskans (per jaar)	1/350	1/10.000	1/2.100	1/900
Gevolg (schade)	Gevolg bij een bres met de grootste kans op een doorbraak (M€)	35	100	140	12
Gevolg (slachtoffers)	Gevolg bij een bres met de grootste kans op een doorbraak, met de range van het aantal slachtoffers door evacuatie-deelscenario's (aantal slachtoffers)	0-5	0-5	0-10	0-5
Economisch risico	Verwachtingswaarde economische schade (M€ per jaar)	0,10	0,01	0,07	0,01
Slachtoffer risico	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers , inclusief het effect van preventieve evacuatie (per jaar)	0,001	<0,001	0,002	<0,001
Slachtoffer risico (plaatsgebonden risico)	Overlijdenskans per jaar van een individu per locatie, exclusief het effect van preventieve evacuatie (percentage geeft deel van het gebied aan waar genoemd risico geldt)	ca.40% >10 <sup>-5</sup>	Overall <10 <sup>-5</sup>	ca.5% >10 <sup>-5</sup>	Overall <10 <sup>-5</sup>
Slachtoffer risico (lokaal individueel risico)	Overlijdenskans per jaar van een individu per locatie, inclusief het effect van preventieve evacuatie (percentage geeft deel van het gebied aan waar genoemd risico geldt)	ca.5% >10 <sup>-5</sup>	Overall <10 <sup>-5</sup>	Overall <10 <sup>-5</sup>	Overall <10 <sup>-5</sup>

Tabel 1: Resultaten berekende overstromingskansen, gevolgen en risico's voor dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4.

In de volgende paragrafen is dieper ingegaan op de resultaten. Eerst worden de overstromingskansen beschouwd, dan de gevolgen van de overstromingen daarna de combinatie van beide: de overstromingsrisico's.

### Overstromingskansen

De overstromingskans per dijkkring is berekend door de faalmechanismen voor alle dijkvakken, duinvakken en kunstwerken van de gehele dijkkring te combineren.

Uit berekeningen blijkt dat de overstromingskansen:

- van dijkkring 1, Schiermonnikoog met name wordt gedomineerd door de faalkans van de grasbekleding en de kans op niet sluiten van het (enige) kunstwerk. Het dijkvak met de grootste faalkans door falende grasbekleding komt overeen met het in de toetsing maatgevende dijkvak voor grasbekleding. In de toetsing is dat dijkvak afgekeurd. De relatief grote faalkans van de betrouwbaarheid van de sluiting van de duiker op Schiermonnikoog kwam niet uit de toetsing, maar is te verklaren door de toegekende faalkans bij sluiten plus het feit dat de klep bij elk hoog tij dicht en de kans op niet sluiten daarmee toeneemt. Tevens is de noodschuif niet geautomatiseerd waardoor er geen backup is bij falen.

- 
- van dijkkring 2, Ameland relatief klein is na uitvoering van de versterkingen van de afgekeurde vakken uit het HWBP2, zoals ook is te verwachten.
  - van dijkkring 3, Terschelling, relatief klein is. De grootste bijdrage aan de overstromingskans wordt bepaald door het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* met de bekledingstypen: gras en doorgroeiënten.
  - van dijkkring 4, Vlieland, voor 99% wordt bepaald door het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam*. Dit wordt veroorzaakt door de basaltbekleding langs de Waddenzee. De bekleding is in de laatste landelijke toetsronde afgekeurd.

Voor alle vier de dijkringen geldt dat de veiligheid van de duinen groter is dan van de dijken en kunstwerken. Met andere woorden de faalkansen aan de Waddenzee zijn groter dan die van de dijken en de kunstwerken.

### **Gevolgen van een overstroming**

De gevolgen van een overstroming van de dijkkring hangen sterk af van de buitenwaterstand, de locatie van de bres(sen), de inrichting van het achter de bres gelegen gebied en de aanwezigheid van hoge elementen zoals regionale waterkeringen. Voor alle vier de dijkkringgebieden geldt dat de grootste schade en de meeste slachtoffers zijn te verwachten bij een doorbraak langs de Waddenzee ten opzichte van een doorbraak langs de Noordzee. Een doorbraak aan de Waddenzee leidt namelijk tot een overstroming van het laaggelegen bebouwd gebied ('vol lopen van een bakje'). Terwijl een doorbraak vanuit de Noordzee, door het hooggelegen duingebied, slechts tot een beperkte schade leidt.

Van de vier dijkringen zijn de grootste gevolgen wat betreft schade en slachtoffers berekend voor Ameland (dijkkring 2) en Terschelling (dijkkring 3), zie Tabel 1. Dit is te verklaren doordat Ameland en Terschelling grotere eilanden zijn met meer inwoners dan Schiermonnikoog en Vlieland. De gevolgen van een doorbraak op Vlieland zijn het kleinst. Dit is ook het kleinste dijkkringgebied.

Van de vier eilanden ontstaat het grootste gevolg dat is meegenomen in de risicoberekening op Terschelling met maximaal 140 miljoen euro en 10 slachtoffers. Grotere gevolgen zijn mogelijk bij hogere buitenwaterstanden, maar de kans van voorkomen hiervan is kleiner. De gevolgen door een overstroming zijn relatief klein ten opzichte van bijvoorbeeld dijkkring 6 (Friesland-Groningen). Hier bedraagt de berekende schade ruim 5 miljard euro en vallen circa 260 slachtoffers.

#### *Kanttekeningen*

Bij de beoordeling van de berekeningen van de gevolgen van een overstroming moet bedacht worden dat:

- geen rekening is gehouden met de tijdelijke aanwezigheid van toeristen en
- wel rekening is gehouden met een preventieve evacuatie (evacuatiefractie 65%)

Deze twee aspecten hebben geen significante invloed op de kleine verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers.

### **Resultaten overstromingsrisico-berekeningen**

Het overstromingsrisico is berekend door de kansen bij verschillende overstromingsscenario's te combineren met de gevolgen van een overstroming:  $\text{risico} = \text{kans} \times \text{gevolg}$ . Daarbij is zowel gekeken naar het economisch risico als het slachtofferrisico.

In Tabel 1 zijn de overstromingsrisico's voor de vier dijkringen opgenomen. Uit berekeningen blijkt dat het overstromingsrisico:

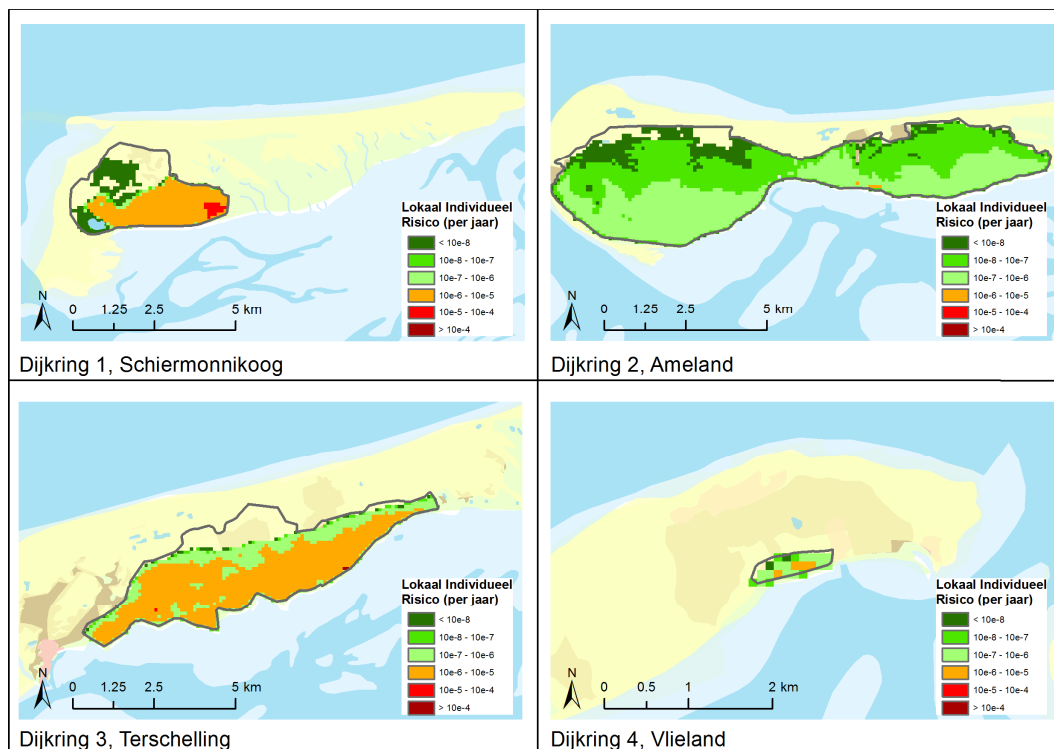
- van dijkkring 1, Schiermonnikoog, de hoogste verwachtingswaarde van de economische schade heeft van de vier dijkringen. Dit wordt vooral veroorzaakt door de relatief hoge faalkans.
- van dijkkring 3, Terschelling, de hoogste verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers heeft van de vier dijkringen. Dit wordt vooral veroorzaakt door de relatief grote gevolgen.

De overstromingsrisico's zijn klein ten opzichte van bijvoorbeeld dijkkring 6, Friesland-Groningen. De verwachtingswaarden van de economische schade en het aantal slachtoffers in dijkkring 6 vele malen groter: 22 miljoen euro per jaar respectievelijk 1,2 per jaar (na uitvoering van HWBP2-versterkingen).

Naast de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is het slachtofferrisico ook uit te drukken in de overlijdenskans per jaar van een individu per locatie, ongeacht of er daadwerkelijk een individu op dergelijke locatie bevindt. In Figuur 1 is het lokaal individueel risico (inclusief preventieve evacuatie) opgenomen en in Tabel 1 samengevat. Hierbij is een kans op overlijden van 1/100.000 per jaar een belangrijke grenswaarde. Deze waarde wordt momenteel ook gebruikt voor de in ontwikkeling zijnde normen in het Deltaprogramma en wordt daar aangeduid als 'basisveiligheid'.

Uit berekeningen blijkt dat het lokaal individueel risico:

- alleen in een gedeelte van dijkkring 1, Schiermonnikoog, groter is dan 1/100.000 per jaar. Dit wordt vooral veroorzaakt door de grote waterdiepte die bij een overstroming ontstaat in combinatie met de relatief hoge overstromingskans.
- voor de dijkringen 2, 3 en 4 overal kleiner is dan 1/100.000 per jaar.



Figuur 1: Het lokaal individueel risico (LIR) in dijkringen 1, 2, 3 en 4 (kans op overlijden per jaar incl. preventieve evacuatie).

---

### **Verkenning opgave nieuwe normering**

Het Deltaprogramma ontwikkelt nieuwe normen voor de waterkeringen. Volgens de nieuwe normering heeft iedereen een basisveiligheid, uitgedrukt in een maximale kans op overlijden door overstroming van 1/100.000 per jaar. Daarnaast kunnen de normen op basis van economische afwegingen (MKBA) strenger worden. Voor de Waddeneilanden is de verwachting dat de normen per traject op 1/300, 1/1.000 of 1/3.000 per jaar uit zullen komen. Dit is onderdeel van de concept-deltabeslissing die op Prinsjesdag 2014 aan het kabinet wordt gepresenteerd.

In het project VNK2 is daarom voor alle drie de verwachte normklassen de opgave geanalyseerd die er ligt, indien de keringen moeten voldoen aan de verwachte normklasse. Uit berekeningen blijkt dat bij een norm op overstromingskansen van:

- 1/300 per jaar, geen aanvullende opgave is voor de vier dijkringen.
- 1/1.000 per jaar de volgende opgave geldt:
  - Dijkkring 1, Schiermonnikoog het vergroten van de betrouwbaarheid sluiting van het kunstwerk en de verbetering van de grasbekleding voor één kilometer dijk.
  - Geen verbeteropgave voor dijkkring 2.
  - Geen verbeteropgave voor dijkkring 3.
  - Dijkkring 4, Vlieland, verbetering van circa 0,8 kilometer dijk met basaltbekleding.
- 1/3.000 per jaar de volgende opgave geldt:
  - Dijkkring 1, Schiermonnikoog het vergroten van de betrouwbaarheid sluiting van het kunstwerk en de verbetering van de grasbekleding van twee kilometer dijk.
  - Geen verbeteropgave voor dijkkring 2.
  - Dijkkring 3, Terschelling, verbetering van de grasbekleding op 1,2 km dijk.
  - Dijkkring 4, Vlieland, verbetering van 0,8 km dijk met basaltbekleding.

In deze analyse is uitgegaan van de huidige situatie van de kering en de hydraulische belasting. Daarbij is tevens rekening gehouden met preventieve evacuatie (65%).

### **Aanbevelingen**

De uitgevoerde VNK2-berekeningen leiden tot nieuwe inzichten in de bepalende elementen van het overstromingsrisico en de meest efficiënte wijze om dat risico te verminderen. Op basis van die nieuwe inzichten zijn aanbevelingen opgesteld, die betrekking hebben op de kansen, de gevolgen en de risico's van overstromingen. De belangrijkste aanbevelingen en toelichting daarop zijn:

#### **1. Verklein de overstromingskansen en de overstromingsrisico's**

De berekende overstromingskansen van de eilanden worden door een paar dijkvakken en één kunstwerk gedomineerd. Door gericht onderzoek te doen naar de bepalende factoren in de overstromingskansberekeningen worden mogelijk kleinere kansen berekend en daarmee tevens het overstromingsrisico verkleind. Nader onderzoek is met name zinvol voor dijkkring 1, Schiermonnikoog, naar de grasbekleding en de betrouwbaarheid sluiting van het kunstwerk.

Voor dijkkring 4, Vlieland, is de basaltbekleding sterk bepalend voor de hoge overstromingskans. Hier is de verwachting dat nader onderzoek weinig winst in overstromingskans oplevert. Om de overstromingskans hier te verkleinen zal, zoals de toetsing ook aangeeft, 0,8 km aan basaltbekleding moeten worden verbeterd. Hierdoor neemt de overstromingskans af van 1/900 per jaar naar 1/63.000 per jaar. Voor dijkkring 2 en dijkkring 3 is de overstromingskans al relatief klein.

---

## 2. Houd rekening met toekomstige ontwikkelingen

Deze aanbeveling is tweeledig, namelijk enerzijds met betrekking van de huidige situatie van de primaire waterkering en anderzijds de huidige inzichten van de nieuwe normering.

- De analyses die binnen VNK2 zijn uitgevoerd hebben betrekking op de huidige situatie. Door klimaatverandering en veroudering zullen de kansen toenemen in de toekomst. Voor de zandige kust kunnen ook andere verandering de overstromingskansen beïnvloeden. Bij erosie van de kust, bijvoorbeeld door duinafslag of migrerende geulen kan de overstromingskans relatief snel veranderen. Er is langs de zandige kust een permanente inspanning nodig (beheer en onderhoud, zandsuppleties) om de huidige toestand vast te houden.
- In de analyse gericht op de nieuwe normen is rekening gehouden met een preventieve evacuatie van 65%. Verandering hiervan heeft een beperkte invloed op het absolute overstromingsrisico (en geen invloed op de overstromingskans), maar kan de opgave voor de te verbeteren vakken en kunstwerken vergroten. Voor dijkkring 1 neemt de opgave van één kunstwerk en één kilometer dijk toe naar 2,5 kilometer dijk, één kunstwerk en bijna twee kilometer duin (Waddenzee zijde), als de evacuatiefractie afneemt van 65% naar 0% en de eis voor basisveiligheid 1/100.000 per jaar blijft. Voor dijkkring 3 neemt de opgave toe naar 4,6 km dijk en één kunstwerk ten opzichte van geen opgave indien de evacuatiefractie afneemt van 65% naar 0% en de eis voor basisveiligheid 1/100.000 per jaar blijft. Voor dijkkring 2 en 4 heeft de evacuatiefractie geen gevolgen als de eis voor basisveiligheid 1/100.000 per jaar blijft.

---

## Technische samenvatting

In dit rapport zijn de resultaten van de risicoanalyse opgenomen, die is verricht voor dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4 respectievelijk Schiermonnikoog, Ameland, Terschelling en Vlieland in het kader van het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK2). In deze technische samenvatting zijn de berekeningsresultaten gepresenteerd en is op hoofdlijnen beschreven op welke uitgangspunten en aannamen deze resultaten berusten.

De analyse door VNK2 omvat de volgende stappen:

- De schematisatie van de dijkringen
- De berekening van faalkansen
- De berekening van scenariokansen
- De berekening van de gevolgen
- De berekening van het overstromingsrisico
- Gevoeligheidsanalyses

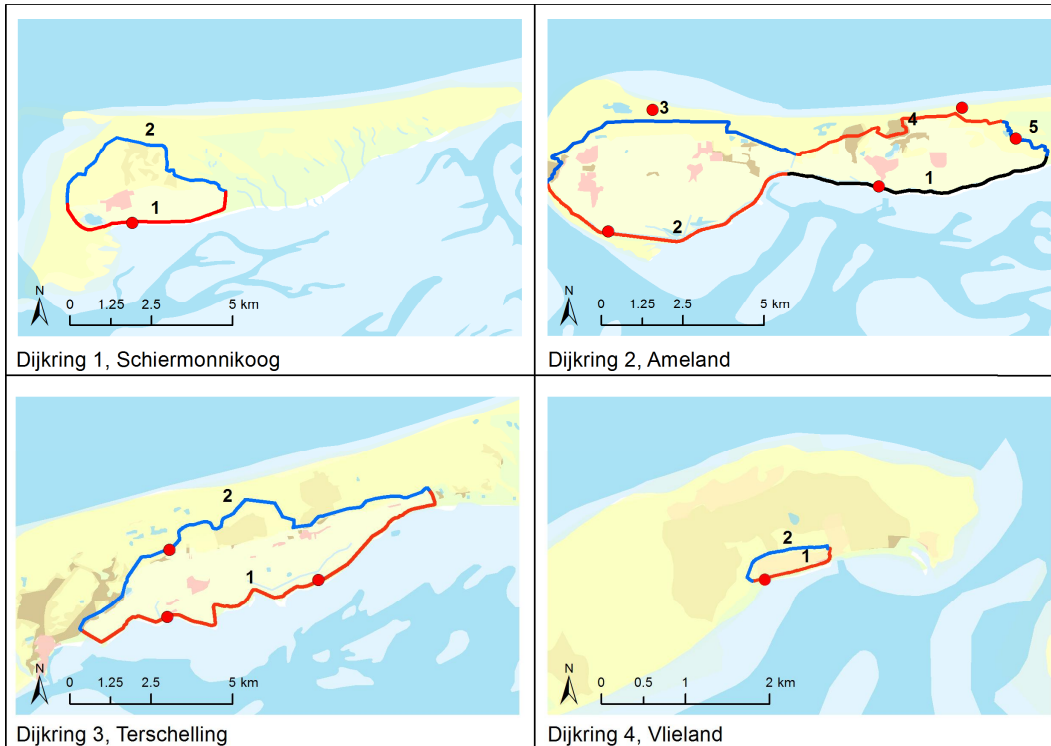
Hieronder is eerst een gebiedsbeschrijving met enkele algemene eigenschappen en kenmerken van de Waddeneilanden opgenomen, waarna bovenstaande stappen zijn toegelicht.

### **Gebiedsbeschrijving en kenmerken**

Dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4 liggen in de provincie Friesland. De primaire waterkeringen, categorie a, grenzen aan de Noord- en de Waddenzee. Dijkkringen 1, 2, 3 en 4 worden beheerd door Wetterskip Fryslân en Rijkswaterstaat Noord-Nederland (RWS NN). De beheerders hebben de volgende delen in beheer:

1. Schiermonnikoog: Wetterskip Fryslân;
2. Ameland: Wetterskip Fryslân (Waddenzeedijk), RWS NN (duinen);
3. Terschelling: Wetterskip Fryslân (Waddenzeedijk), RWS NN (duinen);
4. Vlieland: RWS NN.

In Figuur 2 is de ligging van de primaire waterkering opgenomen, inclusief de ligging van de ringdelen (zoals besproken onder het kopje 'De berekening van de gevolgen').



*Figuur 2: Overzicht van ringdelen en breslocaties (rode stippen) dijkkring 1, Schiermonnikoog; 2, Ameland; 3, Terschelling en 4 Vlieland.*

Volgens de Waterwet [ref 24] is de veiligheidsnorm voor de categorie a-keringen van deze dijkringen 1/2.000 per jaar. Dat is de kans op overschrijding van de waterstand die veilig gekeerd moet kunnen worden. Deze overschrijdingskans is niet gelijk aan de overstromingskans. Hier wordt in paragraaf 1.3 nader op ingegaan.

Naast de huidige ligging van dijkringen 3 en 4 (Terschelling en Vlieland) is in de VNK2-analyse tevens de voorgestelde ligging van de dijkringen 3 en 4 beschouwd, zie Figuur 3. De voorgestelde ligging betreft een wijziging van het noordelijke deel van de dijkringen. De (harde)kering aan de Waddenzee blijft ongewijzigd. De resultaten zijn in dit rapport opgenomen. De samenvatting gaat in op de huidige ligging van de dijkringen.



*Figuur 3: Overzicht van ringdelen en breslocaties (rode stippen) van de voorgestelde ligging van de primaire waterkering dijkkring 3, Terschelling en dijkkring 4 Vlieland.*



### De schematisatie van de dijkringen

De primaire waterkering van de dijkringen bestaan uit een aaneengesloten stelsel van dijken, duinen en kunstwerken. Een overzicht van de vakindeling en de kunstwerken in de categorie a-keringen is per dijkring gegeven in Tabel 2. Deze indeling is met name gebaseerd op de bestaande vakindeling uit de derde toetsronde. Voor dijkringen 3 en 4, Terschelling en Vlieland, is tevens het overstromingsrisico bepaald voor de voorgestelde ligging in het duingebied. De voorgestelde ligging komt voort uit een nog lopende studie naar de mogelijke aanpassing van de legger van dijkring 3 en 4. (Deze aanpassing komt voort uit de wens om de buitendijkse uitbreidingen van Vlieland-Oost in de jaren 70 binnendijks te brengen en de toezegging daarvan door de voormalige Minister van Verkeer en Waterstaat.) De resultaten zijn in dit rapport opgenomen, maar niet in de samenvatting verwerkt.

Indeling primaire waterkering		Schiermonnikoog (Dijkring 1)	Ameland (Dijkring 2)	Terschelling (Dijkring 3)	Vlieland (Dijkring 4)
Dijken	Totale lengte [km]	4	16,6	13,8	1,1
	Aantal dijkvakken	6	13	15	3
	Gemiddelde lengte dijkvak [km]	0,7	1,3	0,9	0,4
Duinen	Totale lengte [km]	9,1	20,2	14	1,2
	Aantal duinvakken	6	9	6	1
	Gemiddelde lengte duinvak [km]	1,5	2,2	2,3	1,2
Kunstwerken	Totaal aantal kunstwerken	1	3	3	2
	Aantal beschouwde kunstwerken	1	3 <sup>2</sup>	2	1

Tabel 2: De indeling primaire waterkering van dijkring 1, 2, 3 en 4.

### De berekening van faalkansen

Elk dijkvak en elk kunstwerk in de dijkringen is in de analyse betrokken, maar niet voor alle dijkvakken en kunstwerken zijn de faalkansen berekend of zijn de berekende faalkansen meegenomen bij de bepaling van de overstromingskans. Indien op voorhand kon worden aangegeven dat de kans van optreden van een faalmechanisme op een bepaalde locatie verwaarloosbaar zou zijn, is daarvoor geen faalkans berekend.

De beschouwde faalmechanismen voor de dijken, de duinen en de kunstwerken die zijn meegenomen in de bepaling van het overstromingsrisico staan vermeld in Tabel 3.

<sup>2</sup> Betreft de nog niet versterkte situatie. In de bepaling van het overstromingsrisico (zie Tabel 3) is er van uitgegaan dat deze kunstwerken dusdanig zijn versterkt dat deze geen significante bijdrage leveren aan het overstromingsrisico

Type waterkering	Faalmechanisme	Aantal vakken/kunstwerken			
		Dijkkring 1	Dijkkring 2	Dijkkring 3	Dijkkring 4
Dijk	Overloop en golfoverslag	6	13	15	3
	Opbarsten en piping	0	1	4	1
	Macrostabieliteit binnenwaarts	1	1	1	1
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	6	2	9	3
Duinen	Duinafslag	2	1	0	0
Kunstwerk	Overslag/overloop	0	0	0	0
	Betrouwbaarheid sluiting	1	0	2	1
	Onder- en achterloopsheid	0	0	0	0
	Sterkte en stabiliteit	0	0	0	1

Tabel 3: Overzicht van het aantal nader beschouwde vakken en kunstwerken per dijkkring en per faalmechanisme.

In Tabel 4 staan de berekende faalkansen voor ieder afzonderlijk faalmechanisme.

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans Dijkkring 1 (per jaar)	Faalkans Dijkkring 2 (per jaar)	Faalkans Dijkkring 3 (per jaar)	Faalkans Dijkkring 4 (per jaar)
Dijk	Overloop en golfoverslag	1/100.000	<1/1.000.000	1/130.000	<1/1.000.000
	Opbarsten en piping	-	<1/1.000.000	1/25.000	1/260.000
	Macrostabieliteit binnenwaarts	1/160.000	<1/1.000.000	1/23.000	<1/1.000.000
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/720	1/22.000	1/3.300	1/910
Duinen	Duinafslag	1/12.000	1/20.000	-	-
Kunstwerk	Overslag/overloop	-	-	-	-
	Betrouwbaarheid sluiting	1/720	-	1/13.000	1/86.000
	Onder- en achterloopsheid	-	-	-	-
	Sterkte en stabiliteit	-	-	-	<1/1.000.000
Overstromingskans (per jaar)		1/350	1/10.000	1/2.100	1/900

Tabel 4: Berekende overstromingskans en faalkansen per faalmechanisme.

Dijkkring 1 en 4 hebben een relatief grote faalkans. Op Schiermonnikoog (dijkkring 1) komt dit door een relatief slechte grasbekleding en door de kans op niet sluiten van het kunstwerk. Op Vlieland is de basalt bekleding relatief zwak.

### De berekening van scenariokansen

De gevolgen van overstroming (een zogenaamd overstromingsscenario) zijn bepaald voor een beperkt aantal doorbraaklocaties. Een overstromingsscenario is representatief voor een bepaald dijktraject, ook wel ringdeel genoemd en weergegeven in Figuur 2. Elk overstromingsscenario heeft een kans van optreden (een scenariokans). In VNK2 wordt zowel gekeken naar de kans dat er binnen één ringdeel een dijk doorbreekt, als de kans dat het op meerdere ringdelen tegelijk mis gaat. Per eiland zijn de kansen op alle mogelijke scenario's berekend.

Uit de berekening blijkt dat op de Waddeneilanden de kans op scenario's met meerdere doorbraken tegelijk vrijwel nihil is.

---

### **De berekening van de gevolgen**

Voor elk van de gekozen breslocaties zijn overstromingsberekeningen beschikbaar gesteld door de provincie voor verschillende belastingcondities. Onderscheid is gemaakt in de belastingcondities: toetspeil minus 1 decimeringshoogte (tp-1d), toetspeil (tp), toetspeil plus 1 decimeringshoogte (tp+1d) en toetspeil plus 2 decimeringshoogtes (tp+2d). Voor de doorbraak van de duinen is gebruik gemaakt van de beschikbare berekeningen die uitgaan van het rekenpeil plus 2 decimeringshoogtes. Bij de overstromingsberekeningen is uitgegaan van de standzekerheid van de regionale keringen en lijnvormige elementen (zoals wegen, regionale keringen). Dit is van toepassing op dijkkring 2, Ameland. De gevolgen van de overstroming zijn berekend met HIS-SSM (versie 2.5). Voor scenario's waarbij meerdere ringdelen falen zijn op basis van de enkelvoudige overstromingsscenario's de overstromingskenmerken (waterdiepte, stroomsnelheid, stijgsnelheid) samengesteld.

De grootste schade en de meeste slachtoffers treden op bij doorbraken vanuit de Waddenzee. Doorbraken vanuit de Noordzee veroorzaken kleinere gevolgen door een breed duingebied en de compartimenterende werking daarvan.

Van de vier eilanden kunnen de grootste gevolgen optreden bij een overstroming van Ameland (dijkkring 2) en Terschelling (dijkkring 3). Dit is te verklaren doordat Ameland en Terschelling grotere eilanden zijn dan Schiermonnikoog en Vlieland en er meer bewoond gebied aanwezig is.

De grootste economische schade bedraagt 140 miljoen euro en kan optreden op Terschelling waarbij ook de meeste (10) slachtoffers kunnen vallen.

In de analyse is rekening gehouden met preventieve evacuatie. De toegepaste verwachtingswaarde van de evacuatiefractie is 65%. Hierbij is rekening gehouden met zowel georganiseerde als ongeorganiseerde evacuaties, samen met de mogelijkheid dat een overstroming lang of kort (of niet) van te voren is te voorspellen. De hoogte van de evacuatiefractie is ontleend aan een landelijke studie waarin de evacuatiefracties zijn afgeleid [ref 7]. In een gevoeligheidsanalyse is het effect van een hogere en lagere evacuatiefractie geanalyseerd, zie de resultaten onder het kopje 'vervolganalyses'.

In de berekening is geen rekening gehouden met de (tijdelijke) aanwezigheid van toeristen.

### **De berekening van het overstromingsrisico**

Het overstromingsrisico is berekend door de scenariokansen te vermenigvuldigen met de gevolgen (rekening houdend met vier evacuatiefracties en de bijbehorende conditionele kansen). De verwachtingswaarden van de economische schade en het slachtofferrisico zijn samengevat in Tabel 5. Voor dijkkring 3 en 4 geldt dat de minimale en maximale gevolgen weinig van elkaar verschillen. Dat wordt veroorzaakt door het geheel overstroomd van het dijkkringgebied bij een doorbraak, waarbij de buitenwaterstand beperkte invloed heeft op de gevolgen.

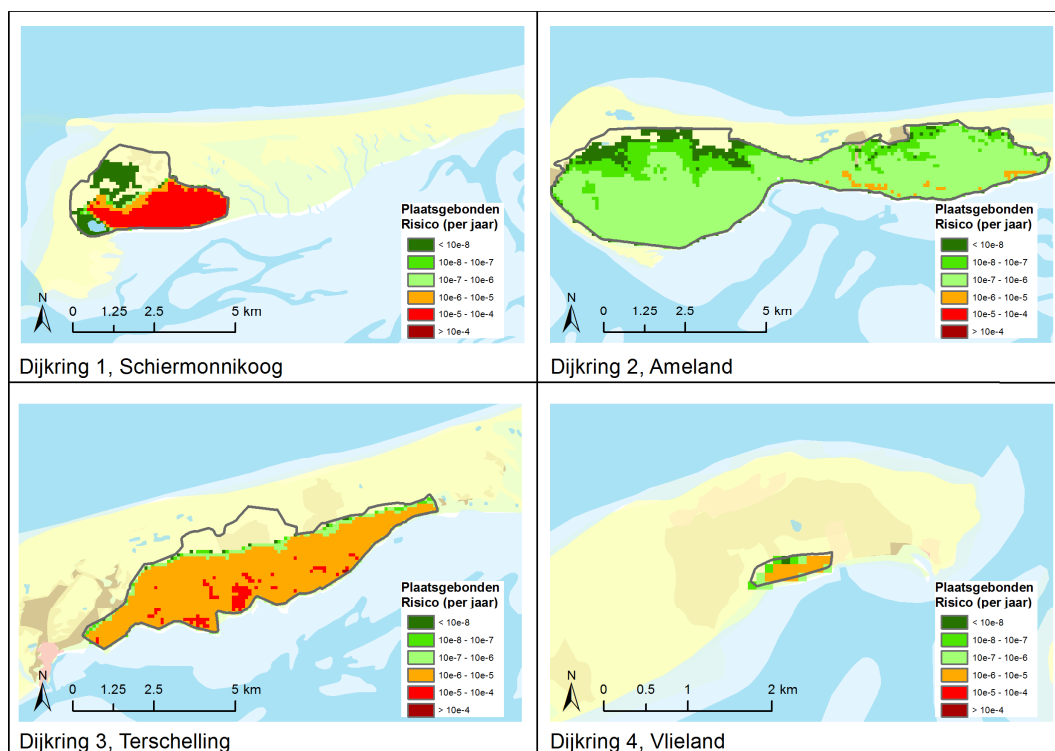
		Dijkkring 1	Dijkkring 2	Dijkkring 3	Dijkkring 4
Economisch risico	Verwachtingswaarde economische schade (M€ per jaar)	0,10	0,01	0,07	0,01
	Minimale economische schade bij een overstroming (M€)	2	94	137	12
	Gemiddelde <sup>3</sup> economische schade per overstroming (M€)	36	97	138	12
	Maximaal <sup>4</sup> economische schade bij een overstroming (M€)	64	220	139	12
Slachtoffer-risico	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers (per jaar), inclusief het effect van preventieve evacuatie	0,001	<0,001	0,002	<0,001
	Minimaal aantal slachtoffers bij een overstroming	0	0	0	0
	Gemiddeld <sup>3</sup> aantal slachtoffers per overstroming	0,3	1,9	3,8	0,3
	Maximaal <sup>4</sup> aantal slachtoffers bij een overstroming	5	13	11	1
	Overlijdenskans van een individu per locatie, exclusief het effect van preventieve evacuatie (per jaar) (plaatsgebonden risico)	ca.40% >10 <sup>-5</sup>	overal <10 <sup>-5</sup>	ca.5% >10 <sup>-5</sup>	overal <10 <sup>-5</sup>
	Overlijdenskans van een individu per locatie, inclusief het effect van preventieve evacuatie (per jaar) (lokaal individueel risico)	ca.5% >10 <sup>-5</sup>	overal <10 <sup>-5</sup>	overal <10 <sup>-5</sup>	overal <10 <sup>-5</sup>

Tabel 5: Resultaten risicoberekeningen voor dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4.

Het PR is in feite gelijk aan het LIR met een evacuatiefractie van 0. Hierdoor wordt inzicht gegeven in de bovengrens van het aantal slachtoffers indien er geen preventieve evacuatie plaatsvindt. In Tabel 5 is het LIR en het PR opgenomen en in Figuur 4 is het PR weergegeven. Zowel het LIR als PR liggen over het algemeen onder de richtwaarde voor de basisveiligheid (1/100.000 per jaar of 10<sup>-5</sup> per jaar). Alleen binnen dijkkring 1 wordt de eis voor de basisveiligheid ruim niet gehaald als uitgegaan wordt van het PR. Voor circa 40% van het gebied wordt de kans op overlijden van 10<sup>-5</sup> per jaar overschreden. Als uitgegaan wordt van evacuatie (LIR) dan reduceert dit tot circa 5% van het areaal.

<sup>3</sup> De gemiddelde economische schade of het gemiddeld aantal slachtoffers is de verwachtingswaarde gedeeld door de overstromingskans

<sup>4</sup> 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.



Figuur 4: Het plaatsgebonden risico (PR) in dijkringen 1, 2, 3 en 4 (kans op overlijden per jaar excl. preventieve evacuatie).

### Vervolanalyses

Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de berekende overstromingskansen en risico's voor de gehanteerde uitgangspunten zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op kansniveau en op risiconiveau. De gevoeligheidsanalyses geven ook inzicht in het effect van versterkingen of aanpassingen in het beheer. De belangrijkste resultaten staan hieronder samengevat.

- Om de overstromingskans te verkleinen naar 1/2.000 per jaar moeten per dijkkring de volgende ingrepen worden uitgevoerd om de faalkans te verkleinen van het volgende kunstwerk en dijkvakken:
  - Dijkkring 1, Schiermonnikoog: de betrouwbaarheid sluiten van het kunstwerk en van drie dijkvak (nr. 2, 3 en 4) de grasbekleding.
  - Dijkkring 2, Ameland: geen aanvullende ingrepen (naast de in uitvoering zijnde versterking)
  - Dijkkring 3, Terschelling: geen aanvullende ingrepen
  - Dijkkring 4, Vlieland: de basaltbekleding van dijkvak 2 (dijk direct grenzend aan de Waddenzee).
- Om het lokaal individueel risico (=LIR=inclusief preventieve evacuatie) overal te verkleinen tot kleiner dan 1/100.000 per jaar zijn alleen verbeteringen nodig op Schiermonnikoog (van dijkkring 1):
  - aan één kunstwerk (betrouwbaarheid sluiten)
  - en één kilometer dijk (grasbekleding). Door deze verbeteringen neemt de overstromingskans af naar 1/1.200 (van 1/350) per jaar en het overstromingsrisico neemt met een factor 3,5 af voor zowel de verwachtingswaarde van het economische risico (van 0,103 naar 0,029 miljoen euro per jaar) als voor de verwachtingswaarde van het slachtofferrisico (van 0,0014 naar 0,0004 slachtoffers per jaar).

- 
- Om het plaatsgebonden risico (=PR= exclusief preventieve evacuatie) op alle vier de eilanden te verkleinen tot kleiner dan 1/100.000 per jaar, moeten er maatregelen worden genomen voor dijkkring 1, Schiermonnikoog en dijkkring 3, Terschelling. Het plaatsgebonden risico kan ook worden beschouwd als het LIR met een evacuatiefractie van 0%. Hierdoor wordt inzicht gegeven in de bovengrens van het aantal slachtoffers indien er geen preventieve evacuatie plaatsvindt.
    - Dijkkring 1, Schiermonnikoog  
 één kunstwerk, 2,5 km dijk grasbekleding (dijkvakken 2, 3 en 4) en bijna 2 km duin (duinvak 7). Door de verbeteringen aan dijkkring 1, neemt de overstromingskans af naar 1/40.000 (van 1/350) per jaar en het overstromingsrisico neemt met een factor 67 af voor de verwachtingswaarde van het economische risico (van 0,103 naar 0,002 miljoen euro per jaar) en een factor 36 voor de verwachtingswaarde van het slachtofferrisico (van 0,0014 naar <0,0001 slachtoffers per jaar).
    - Dijkkring 3, Terschelling  
 één kunstwerk, 3,4 km dijk grasbekleding (dijkvakken 3, 5 en 7) en 1,2 km dijk macrostabiliteit binnenwaarts (dijkvak 13). Door deze verbeteringen neemt de overstromingskans af naar 1/11.000 (van 1/2.100) per jaar en het overstromingsrisico neemt met een factor van bijna 5 af voor de verwachtingswaarde van het economische risico (van 0,065 naar 0,015 miljoen euro per jaar) en een factor van bijna 3 voor de verwachtingswaarde van het slachtofferrisico (van 0,0018 naar 0,0006 slachtoffers per jaar).
  
  - In het Deltaprogramma wordt gekeken naar de haalbaarheid van preventieve evacuatie op de eilanden. De uitkomst is nog niet duidelijk. In deze studie zijn de effecten op het overstromingsrisico verkend. De hoogst haalbare fractie is 80%, aangezien er landelijk wordt uitgegaan dat 20% van de aanwezigen geen gehoor zal geven aan een evacuatiebevel. Het meest pessimistisch scenario is dat niemand geëvacueerd is. De bandbreedte van het slachtofferrisico is bepaald door de preventieve evacuatiefractie gelijk te stellen aan 0% (ondergrens) en 80% (theoretische bovengrens) ten opzichte van de uitgangssituatie aan 65%. Hierdoor is ook inzicht verkregen in de toe- of afname die mogelijk is in de derde laag van de meerlaagse veiligheidsbenadering (MLV). Verandering van de evacuatiefractie heeft geen invloed op de overstromingskans en weinig invloed op het economisch risico. Zonder preventieve evacuatie (0%) neemt de verwachtingswaarde van het slachtofferrisico met bijna een factor 3 toe. Bij de gehanteerde bovengrenswaarde van 80% preventieve evacuatie neemt de verwachtingswaarde van het slachtofferrisico af met bijna een factor 2. Deze factoren hebben weinig invloed op de absolute verwachtingswaarde van het slachtofferrisico (zie Tabel 44).
  
  - Om te voldoen aan de overstromingskans per dijktraject zoals gedefinieerd in het Deltaprogramma Veiligheid [ref 25], versie van 6 januari 2014<sup>5</sup> zijn alleen aanvullende verbeteringen nodig voor dijkkring 1, Schiermonnikoog (1/1.000 per jaar) en voor dijkkring 4 Vlieland (1/1.000 per jaar).
    - Dijkkring 1, Schiermonnikoog:  
 de verbeteringen zijn gelijk aan de analyse om het LIR overal te verkleinen tot kleiner dan 1/100.000 per jaar.
    - Dijkkring 4, Vlieland:  
 Door de verbeteringen aan één dijkvak met basaltbekleding, neemt de overstromingskans af naar 1/63.000 (van 1/900) per jaar en het overstromingsrisico, zowel het economisch risico als het slachtofferrisico neemt af tot bijna nul. Dit geldt voor zowel de huidige ligging van de waterkering als van de voorgestelde ligging van de waterkering.

---

<sup>5</sup> Voor de trajecten aan de Noordzee zijn geen waarde opgenomen in de versie van 6 januari 2014. In Tabel 39 zijn de verbetermaatregelen opgenomen om te voldoen aan de 'normklasse' 1/300, 1/1.000 en 1/3.000 per jaar.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding project Veiligheid van Nederland in Kaart

Na de watersnoodramp van 1953 werden door de Deltacommissie de fundamenten 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 (VNK1) uitgevoerd en zijn wederom verbeteringen in het reken-instrumentarium doorgevoerd. In 2006 is vervolgens het project VNK2 van start gegaan, waarin het overstromingsrisico in Nederland in kaart wordt gebracht. De inzichten die daarbij worden opgedaan worden gebruikt bij de politieke afweging inzake de bescherming van Nederland tegen overstromingen.

## 1.2 Projectopdracht Veiligheid van Nederland in Kaart

Het project VNK2 wordt uitgevoerd door RWS Water, Verkeer en Leefomgeving (RWS WV, voorheen RWS Waterdienst) in opdracht van het Directoraat Generaal Ruimte en Water 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 VNK2 opgericht. Het Projectbureau werkt samen met waterschappen en provincies en wordt daarbij ondersteund door ingenieursbureaus. Door kennisinstituten wordt bijgedragen aan de verdere methodiekontwikkeling en de operationalisering van het analyse-instrumentarium. Het ENW controleert steekproefsgewijs de kwaliteit van de analyses en rapportages.

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

VNK2 verschaft inzicht in de betrouwbaarheid van de waterkeringen, identificeert de zwakke plekken, berekent het overstromingsrisico en geeft mogelijkheden aan om dit risico te verkleinen. VNK2 levert zo informatie en inzichten 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. De waterkeringen moeten deze waterstanden veilig kunnen keren, rekening houdend met alle factoren die het waterkerend vermogen beïnvloeden.

De wettelijk vastgelegde overschrijdingskansen van waterstanden zijn niet gelijk aan overstromingskansen. Daarvoor zijn een aantal redenen aan te geven:

- Een overschrijdingskans uit de Waterwet is een normwaarde<sup>6</sup>. 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 (namelijk de waterstanden). Om een overstromingskans te kunnen berekenen moeten ook de onzekerheden ten aanzien van de sterkte-eigenschappen van waterkeringen expliciet worden meegenomen.
- De overschrijdingskans is gedefinieerd per dijkvak. Als bij een toetsing in het kader van de Waterwet wordt berekend of een waterkering het toetspeil veilig kan keren, wordt ieder dijkvak apart bekeken. De overstromingskans daarentegen heeft betrekking op de hele dijkkring. Bij het bepalen van een overstromingskans worden de faalkansen van alle dijkvakken 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

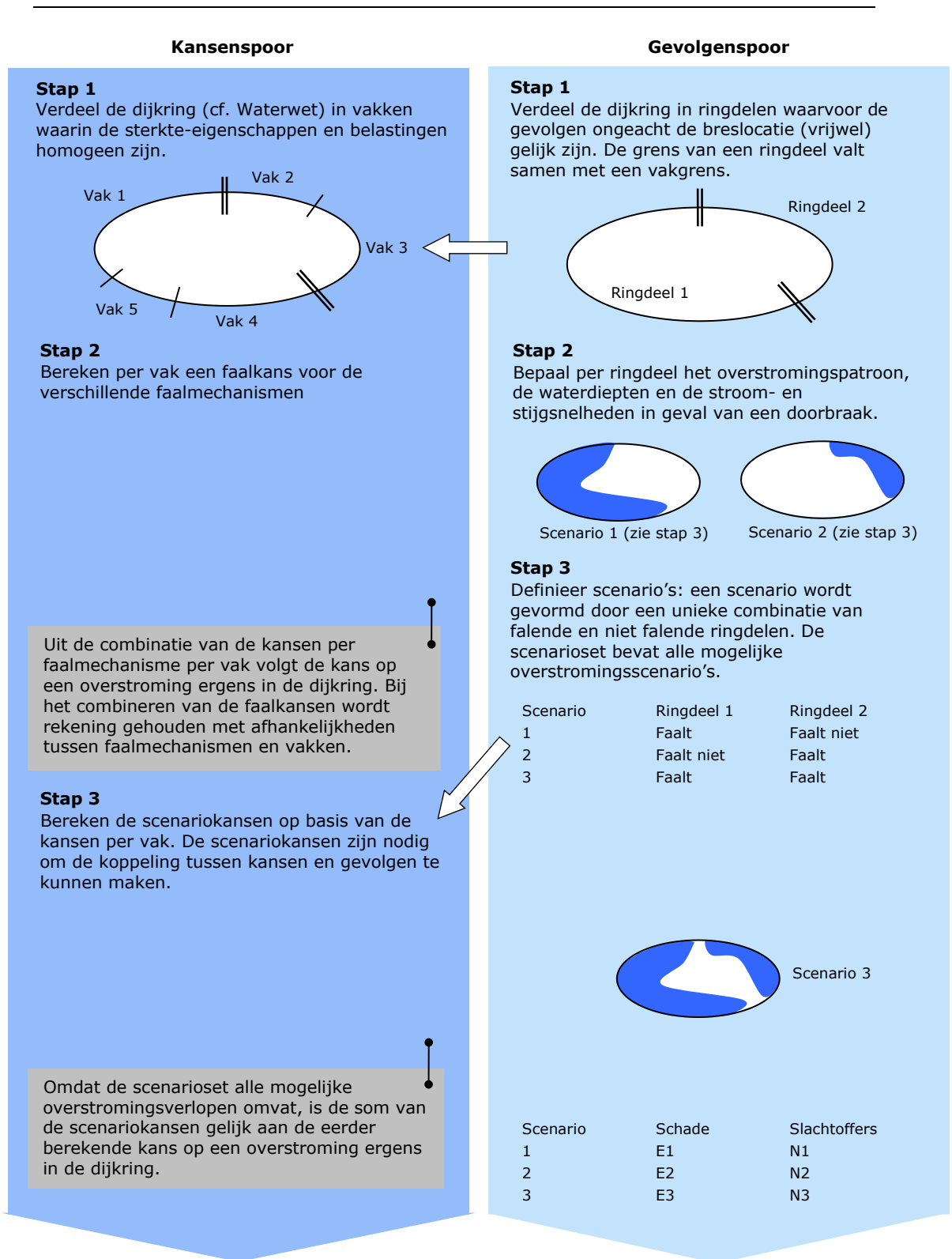
In het project VNK2 worden overstromingsrisico's berekend. Deze risico's worden bepaald door de kansen op alle mogelijke overstromingsscenario's te combineren met de bijbehorende gevolgen van een dergelijke overstroming. Voor een nadere toelichting op de verschillende onderdelen van de risicoberekeningen wordt verwezen naar de handleiding [ref 1] en de achtergrondrapporten [ref 2] en [ref 3]. De situatie van de dijken en kunstwerken zoals deze in 2012 aanwezig was is geanalyseerd. Met daarbij gebruik makend van de beschikbare rapporten en onderzoeken zoals in de literatuurlijsten is vermeld. Voor de gevolgen is gebruik gemaakt van bestaande overstromingsberekeningen, zie hoofdstuk 4.

In Figuur 5 zijn de stappen die achtereenvolgens worden gezet om het overstromingsrisico te berekenen, schematisch weergegeven. In de daarop volgende tekst worden deze verder verduidelijkt.

---

<sup>6</sup> 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*.





Figuur 5: 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 6). Per vak en kunstwerk wordt gekeken naar de verschillende wijzen waarop deze kan falen, dat wil zeggen 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 6: 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 echter onzekerheden bestaan ten aanzien van zowel de belastingen als de sterkte-eigenschappen van waterkeringen, is het onzeker of een waterkering in een gegeven periode ook daadwerkelijk zal bezwijken. Anders gezegd: er is sprake van een kans dat de waterkering in dat geval (als de aangenomen belasting groter is dan de aangenomen sterkte) bezwijkt. Onzekerheden ten aanzien van belastingen en sterkte-eigenschappen vormen dus de basis van de overstromingskans. 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 en kunstwerk en per faalmechanisme kan de kans worden berekend dat ergens in een ringdeel een vak of kunstwerk faalt en een bres ontstaat.

Een overstroming kan ontstaan door een bres in één of meerdere ringdelen. 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 de vele mogelijke (combinaties van) doorbraken ook de gevolgen te bepalen.

Door provincie Friesland zijn onder begeleiding van VNK2 voor een aantal breslocaties en voor verschillende belastingsituaties overstromingsberekeningen gemaakt [ref 10]. 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.

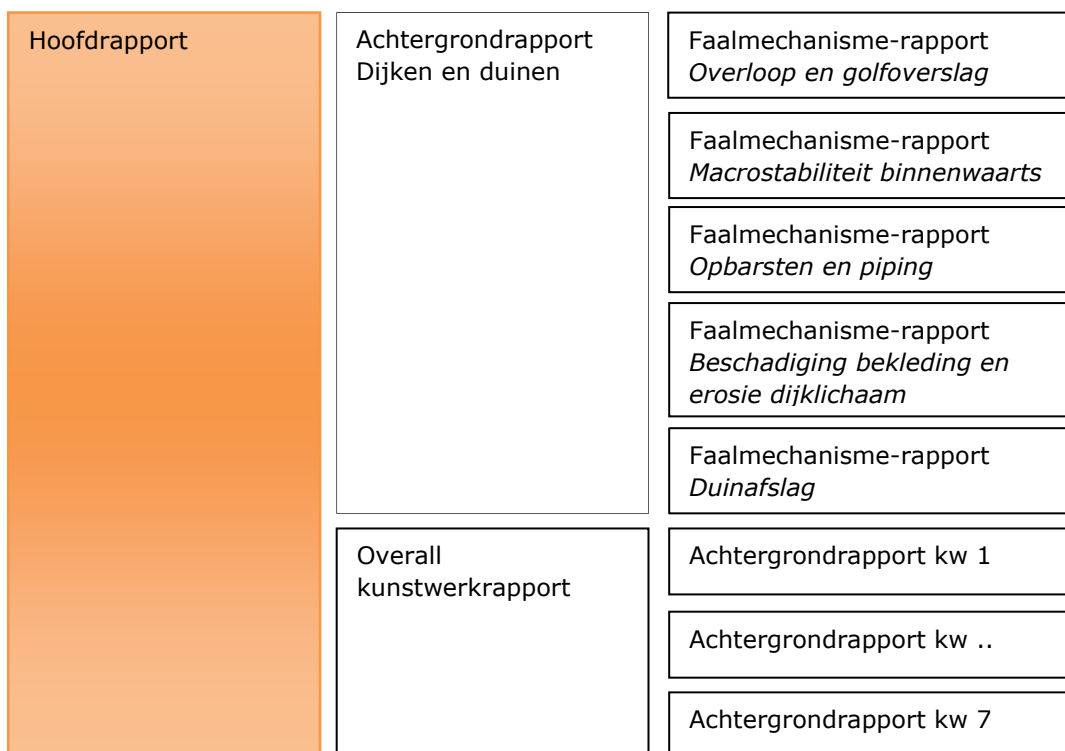
Vervolgens zijn uit het overstromingsverloop van de enkelvoudige doorbraken het overstromingsverloop van eventueel meervoudige doorbraken afgeleid.

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 6 wordt nader op deze weergaven van het risico ingegaan.

## 1.5 Leeswijzer

De analyses van dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4 zijn beschreven in dit dijkkringenrapport. Het dijkkringenrapport is geschreven op basis van twee onderliggende rapporten, het achtergrondrapport dijken/duinen [ref 2] en het overall kunstwerkenrapport [ref 3]. Het overall kunstwerkenrapport is geschreven op basis van het achtergrondrapport dat voor elk kunstwerk is opgesteld (zie Figuur 7).



Figuur 7: Schematisch overzicht rapporten.

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

Hoofdstuk 3 geeft per dijkkring een toelichting op de berekende faalkansen per vak/kunstwerk en per faalmechanisme, na een korte toelichting op 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.

In hoofdstuk 5 zijn de resultaten van deze scenariokansberekeningen opgenomen. Ook wordt een toelichting gegeven op de selectie van de scenario's (enkelvoudige en meervoudige doorbraken) die ten grondslag liggen aan de risicoberekeningen.

In hoofdstuk 6 zijn de resultaten van de uitgevoerde risicoberekeningen opgenomen. Het overstromingsrisico wordt op verschillende wijzen weergegeven. Het economisch risico en het slachtofferrisico worden afzonderlijk behandeld.

In hoofdstuk 7 zijn de resultaten van gevoeligheidsanalyses opgenomen. 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.

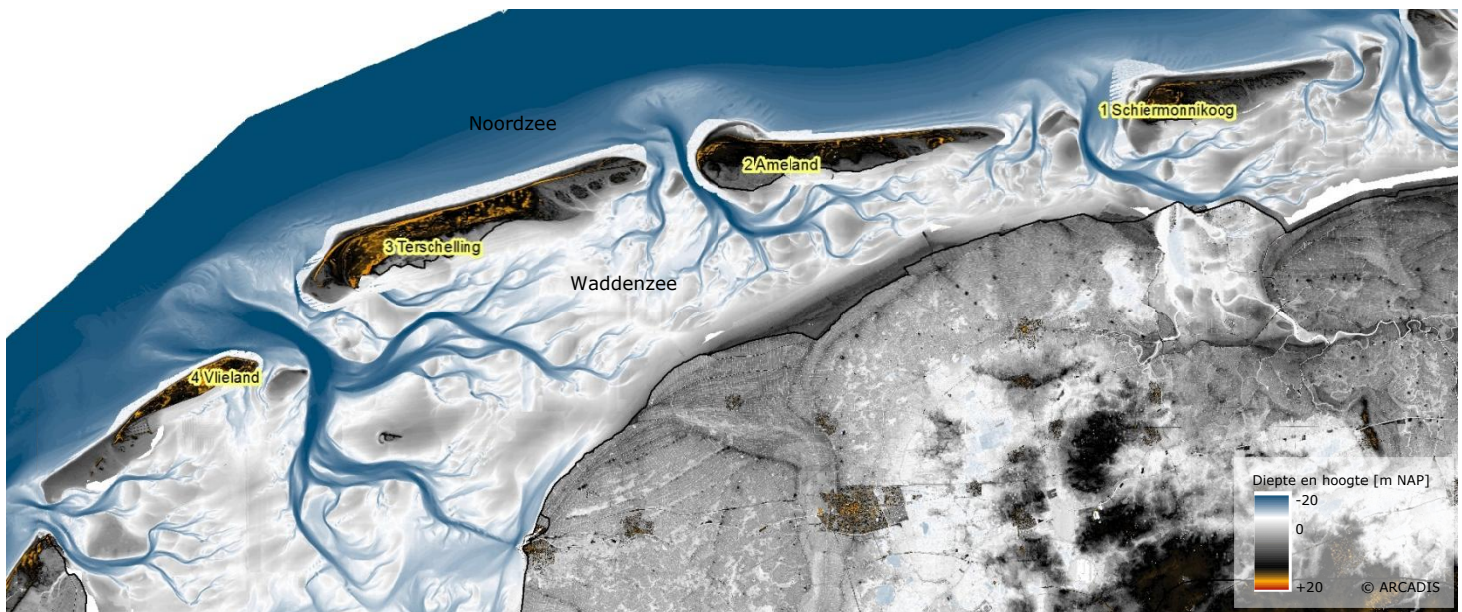
Hoofdstuk 8 geeft de conclusies weer van de risicoanalyse voor dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4. Ten slotte worden aanbevelingen gedaan voor het waarborgen en verder verkleinen van het overstromingsrisico en dus het verder vergroten van de overstromingsveiligheid.

## 2 Gebiedsbeschrijving en schematisatie

In dit hoofdstuk is de ligging en de kenmerken van dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4 beschreven. Daarnaast is de onderverdeling van de waterkering in vakken ten behoeve van de faalkansberekeningen toegelicht. In het achtergrondrapport [ref 3] is nader ingegaan op de vakindeling.

### 2.1 Beschrijving dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4, Waddeneilanden

De primaire waterkeringen van dijkkring 1, 2, 3 en 4 liggen in de provincie Friesland (Figuur 8). De primaire waterkeringen, categorie a-keringen, grenzen aan de Noordzee en de Waddenzee.



Figuur 8: Ligging dijkringen 1, 2, 3 en 4 met bodemhoogte (boven en onder water).

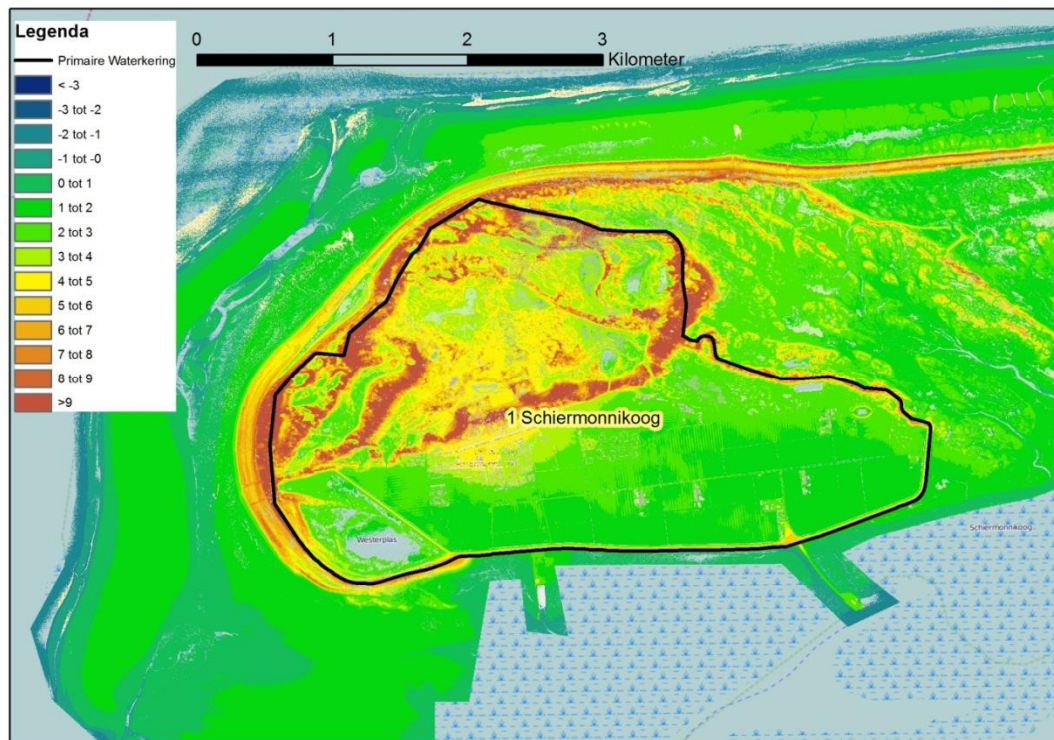
Volgens de Waterwet [ref 24] is de veiligheidsnorm voor de categorie a-keringen van deze dijkringen 1/2.000 per jaar. Dat is de kans op overschrijding van de waterstand die veilig gekeerd moet kunnen worden.

Per dijkkringgebied wordt in onderstaande paragrafen een korte beschrijving van het gebied gegeven.

#### 2.1.1 Gebiedsbeschrijving dijkkring 1: Schiermonnikoog

Dijkkringgebied 1 is in Figuur 9 weergegeven. In 2013 woonden circa 1.000 mensen op het eiland [ref 13]. Aan de noordzijde vormt de Noordzee een bedreiging en aan de zuidzijde de Waddenzee. De waterkering bestaat uit een dijk aan Waddenzeezijde en zandige kust aan de Noordzeezijde.

De duinwaterkering ligt van over de eerste 5 km (het westen van het eiland) direct achter de zeereep. Daarna (vanaf noordelijkste puntje) loopt de primaire kering verder landinwaarts. De primaire waterkeringen die het gebied omsluiten hebben een gezamenlijke lengte van 13 km (9 km duinen en 4 km zeedijk). Tussen de dijk en de duinen bevindt zich aan weerszijden een aansluitingsconstructie. De gehele dijkkring valt onder het beheer van Wetterskip Fryslân [ref 14] [ref 15].



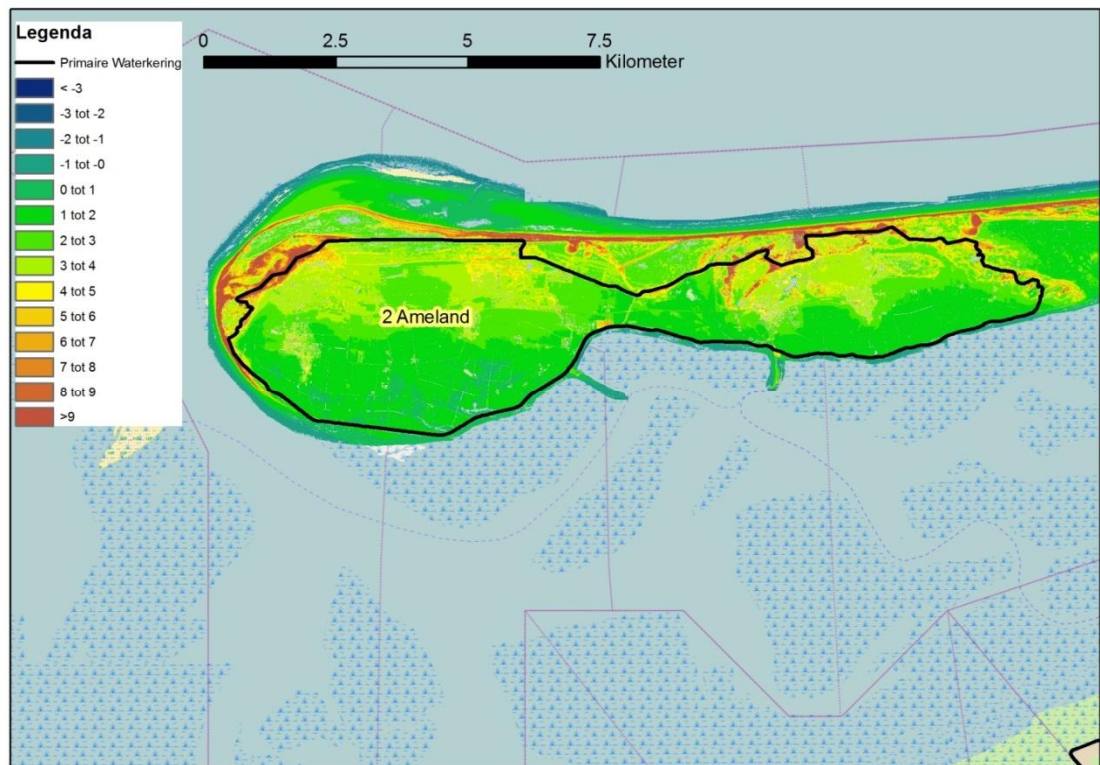
Figuur 9: Hoogtelegging (t.o.v. NAP in meters) dijkringgebied 1 Schiermonnikoog.

### 2.1.2

#### *Gebiedsbeschrijving dijkring 2: Ameland*

Dijkringgebied 2 is in Figuur 10 weergegeven. In 2013 woonden er circa 3.500 mensen op het eiland [ref 2]. Aan de noordzijde bevindt zich de Noordzee en aan de zuidzijde de Waddenzee. De dijkring heeft een lengte van ca. 36,5 km, waarvan 20 km duinen langs de Noordzee en 16,5 km Waddenzeedijk. Op de overgangen tussen dijk en duin aan weerszijden van het eiland bevindt zich een aansluitconstructie. De primaire waterkering ligt op drie locaties (km 48 – 49,5, km 7 – 9 en km 13,6 – 15,2) in of direct achter de zeereep. Op de andere plaatsen ligt de kering verder landinwaarts. De Waddenzeedijk is in beheer bij Wetterskip Fryslân. De duinen en de aansluitconstructies worden beheerd door Rijkswaterstaat Noord-Nederland [ref 14] [ref 15].

Er is buitendijkse bebouwing op Ameland aanwezig. Dit betreffen onder meer vakantiewoningen, appartementencomplexen en een camping [ref 16].



Figuur 10: Hoogtelegging (t.o.v. NAP in meters) dijkkringgebied 2 Ameland.

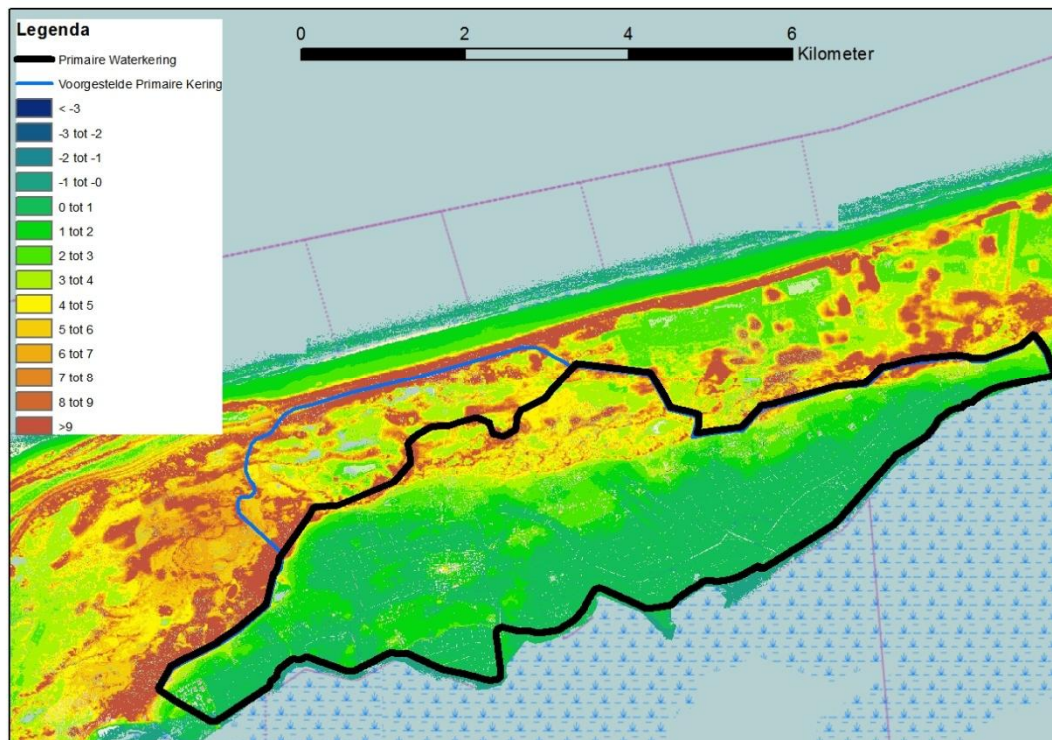
### 2.1.3

#### *Gebiedsbeschrijving dijkkring 3: Terschelling*

Dijkkringgebied 3 is in Figuur 11 weergegeven. In 2013 woonden er circa 4.800 mensen op het eiland [ref 2]. Aan de noordzijde bevindt zich de Noordzee en aan de zuidzijde de Waddenzee. De dijkkring heeft een lengte van ca. 25,7 km, waarvan 11,8 km duinen langs de Noordzee en 13,9 km Waddenzeedijk. Op de overgangen tussen dijk en duin aan weerszijden van het eiland bevindt zich een aansluitconstructie. De primaire kering ligt niet direct achter de zeereep. De Waddenzeedijk is in beheer bij Wetterskip Fryslân. De duinen en de aansluitconstructies worden beheerd door Rijkswaterstaat Noord-Nederland [ref 15] [ref 14].

Op Terschelling ligt een aantal bebouwde gebieden buitendijks. Aan de Noordzeekust betreft dit de kernen West aan Zee en Midsland aan Zee. Deze kernen (grotendeels recreatiewoningen) liggen achter een hoge zeereep. Ook het dorp West-Terschelling ligt buitendijks. Het dorp wordt aan de noordzijde beschermt door een duinenrij. Aan Waddenzeezijde fungeert een keermuur in de haven van West-Terschelling als waterkering [ref 16].

Het voornemen is om in de toekomst wordt de ligging van de primaire waterkering te wijzigen. De zandige kering verschuift dan in de richting van de Noordzee waardoor West aan Zee en Midsland aan Zee binnen de dijkkring komen te liggen. De toekomstige ligging van de voorgestelde primaire waterkering is met een rode lijn opgenomen in de hoogtekaart van Figuur 11.



Figuur 11: Hoogtelegging (t.o.v. NAP in meters) dijkringgebied 3 Terschelling (zwarte lijn is de huidige ligging van de primaire waterkering; blauwe lijn is de voorgestelde ligging van de primaire waterkering).

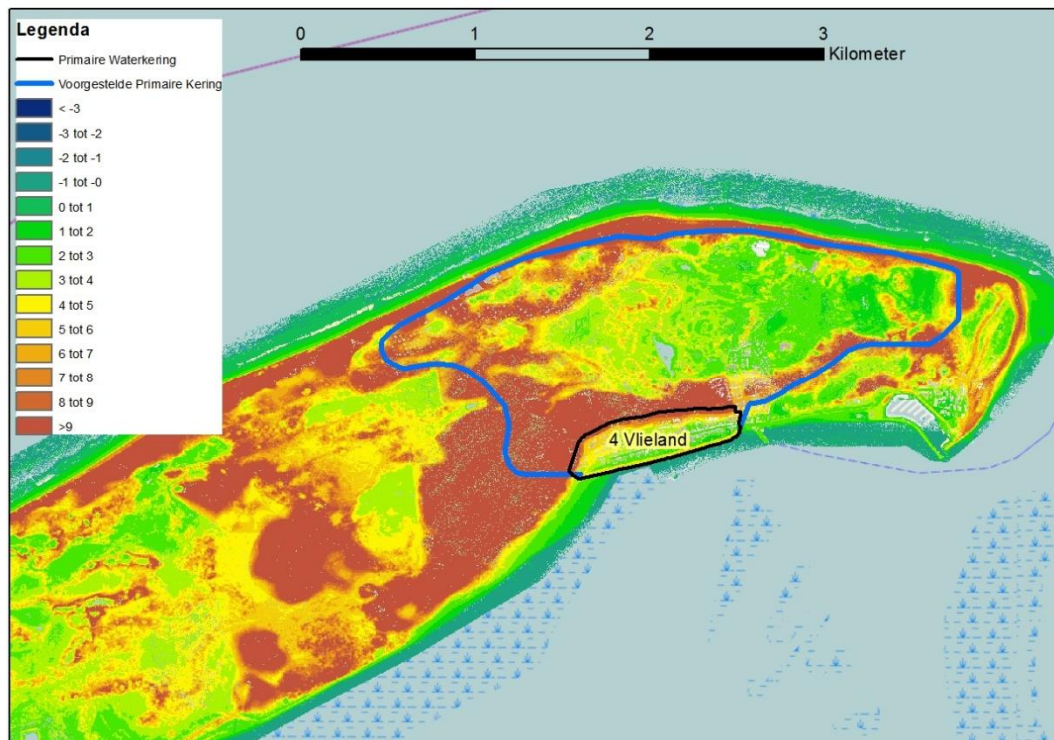
#### 2.1.4

##### Gebiedsbeschrijving dijkkring 4: Vlieland

Dijkringgebied 4 is in Figuur 12 weergegeven. In 2013 woonden circa 1.100 mensen op Vlieland [ref 2]. De waterkering bestaat uit een dijk aan de Waddenzeezijde en zandige kust aan de Noordzezijde. De dijk heeft een lengte van 940 m. De zandige kering heeft een lengte 1.100 meter en wordt 'bedreigd' vanuit de Noordzee. De primaire waterkering ligt niet direct achter de zeereep, maar rondom de dorpskern van Vlieland-Oost. Ten noorden van Vlieland-Oost ligt een zwaar duinmassief. De gehele dijkkring en het duinmassief zijn in beheer bij Rijkswaterstaat Noord-Nederland [ref 15].

Omdat de primaire waterkering alleen rond de oude dorpskern van Vlieland-Oost ligt, bevindt een aantal bebouwde gebieden zich buitendijks. Dit betreft uitbreidingen van het dorp in noordoostelijke en oostelijke richting en recreatiewoningen ten noordwesten van het dorp. [ref 16]. Het voornemen bestaat om in de toekomst de ligging van de primaire waterkering te wijzigen, waardoor deze gebieden binnen de dijkkring komen te liggen. De toekomstige ligging van de voorgestelde primaire waterkering is met een rode lijn opgenomen in de hoogtekaart van Figuur 12.





Figuur 12: Hoogtelegging (t.o.v. NAP in meters) dijkkringgebied 4 Vlieland (zwarte lijn is de huidige ligging van de primaire waterkering; blauwe lijn is de voorgestelde ligging van de primaire waterkering).

### 2.1.5

#### Beheerder

De dijkringen 1, 2, 3 en 4 worden beheerd door twee beheerders, namelijk Wetterskip Fryslân en Rijkswaterstaat Noord-Nederland (RWS NN). De beheerders hebben de volgende delen in beheer:

5. Schiermonnikoog: Wetterskip Fryslân;
6. Ameland: Wetterskip Fryslân (Waddenzeedijk), RWS NN (duinen);
7. Terschelling: Wetterskip Fryslân (Waddenzeedijk), RWS NN (duinen);
8. Vlieland: RWS NN.

## 2.2

### Geschiedenis: bedreigingen en versterkingen

Het Waddengebied, waar dijkkring 1, 2, 3 en 4 onderdeel van uitmaken, is ontstaan als gevolg van de zeespiegelstijging na afloop van de laatste glaciële periode (ca. 10.000 jaar geleden). Als gevolg van het stijgende water verplaatsten de eilanden zich in de loop van de millennia zuidwaarts en ontstonden eveneens de Waddenplaten. Ook diverse stormen in de recentere geschiedenis hebben veel invloed op de huidige geografie gehad (zie paragraaf 2.2.1). Vanaf circa 1.000 na Chr. werden de eerste dijken gebouwd door de bewoners van de eilanden. Met name in de 20e eeuw heeft veel indijking plaatsgevonden waarmee de huidige situatie van de eilanden gevormd werd. In de recente geschiedenis zijn deze dijken op diverse locaties versterkt of zijn plannen gemaakt om een versterking uit te voeren (zie paragraaf 2.2.2).

### 2.2.1

#### Overstromingsrampen

In het verleden zijn diverse stormvloed en overstromingen opgetreden. In Tabel 6 is een aantal voorbeelden opgenomen van stormen die invloed hebben gehad op de huidige geografie van het Waddengebied.

Jaartal	Stormvloed
1170	Allerheiligenvloed. Doorbraak tussen Huisduinen en Texel, ontstaan van Marsdiep als zeegat. Texel en Wieringen werden eilanden. Als gevolg van deze overstromingen zijn de Zuiderzee en de Waddenzee ontstaan.
1287	Sint Luciovloed. Een grote overstroming met naar schatting 50.000 doden. De Waddenzee en Zuiderzee zijn hierbij definitief ontstaan (scheiding tussen West-Friesland en Friesland).
1362	Tweede Sint-Marcellusvloed. De overstromingen troffen alle landen langs de Noordzee. Er verdronken bij benadering 25.000 tot 40.000 mensen.
1675	Allerheiligenvloed. Grote delen van Noord-Nederland werden getroffen door een stormvloed en overstromden, zoals Terschelling maar ook gebieden rond Stavoren, Hindelopen, Mastenbroek, Kampen.
1717	Kerstvloed (24 december), een hevige noordwester storm teisterde Nederland, Duitsland en Scandinavië. Er komen ongeveer 11.000 mensen om het leven. Gebieden rond Dokkum en Stavoren stroomden onder. De duinen van Vlieland overstromden waardoor het dorp West-Vlieland weg werd gevaagd.
1825	Overstromingen in Noord-Nederland: Groningen, Friesland en Overijssel. Er vielen ongeveer 800 doden.

Tabel 6: Voorbeelden van historische stormvloeden en overstromingen in het waddengebied.

### 2.2.2 Versterkingen

In deze paragraaf wordt per dijkkring een overzicht gegeven van recent uitgevoerde dijkversterkingen en huidige plannen voor dijkversterkingen. Dit betreffen versterkingen naast eventuele reguliere suppleties op de basiskustlijn om de stabiliteit van de zandige keringen te handhaven.

#### Dijkkring 1: Schiermonnikoog

In 2006 is op het tracé westelijk van de veerдам het ondertalud van de dijk versterkt met een stortsteen overlaging.

#### Dijkkring 2: Ameland

De Waddenzeedijk van Ameland is in de periode 1979 – 1988 verbeterd. Tijdens deze versterking is het profiel van de dijk zeewaarts verplaatst, waardoor een flauwer buitentalud werd gerealiseerd en de hoogte van de waterkering kon worden beperkt [ref 14]. Verder is in 2007 de stuifdijk ter hoogte van Mochdijk over een lengte van 200 m versterkt. Deze versterking is uitgevoerd naar aanleiding van het toetsoordeel uit de eerste toetsronde [ref 15].

In de tweede toetsronde is de Waddenzeedijk van Ameland op een aantal toetssporen afgekeurd. Om deze reden zijn de dijk en kunstwerken opgenomen in het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP).

In de VNK2 analyse van het overstromingsrisico is de situatie beschouwd zoals deze zal zijn na uitvoering van het projectplan [ref 26] [ref 27].

#### Dijkkring 3: Terschelling

De Waddenzeedijk van Terschelling is in 2001 versterkt. Na die versterking is een deel van de dijk afgekeurd in de tweede toetsronde [ref 14]. Het waterschap heeft op basis van dit toetsoordeel over ruim 4 kilometer de bekleding van de dijk versterkt. Het werk is uitgevoerd in 2010. Sinds 2011 voldoet de dijk hierdoor weer aan de norm.

---

#### Dijkkring 4: Vlieland

De dijk is in 1996 versterkt. De coupure is in 2001 verbeterd. Bij de tweede toetsronde kreeg de stabiliteit van het voorland (Waddenzeezijde) nog "geen oordeel". Naar aanleiding van door Rijkswaterstaat uitgevoerd nader onderzoek is in 2007 een geulwandbestorting uitgevoerd waarmee de geulwand is gestabiliseerd [ref 15].

### **2.3 Vakindeling categorie a-kering**

Ten behoeve van de faalkansberekening is de categorie a-kering van de dijkringen 1, 2, 3 en 4 onderverdeeld in dijk- en duinvakken. Hierbij is een dijk- of duinvak gedefinieerd als een deel van een waterkering waarvoor de sterkte-eigenschappen en belastingen nagenoeg homogeen zijn.

#### *2.3.1 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 (ringdeelgrens);
- Een dusdanige verandering in belasting en/of sterkte-eigenschappen dat niet langer sprake is van een homogene belasting en/of van homogene sterkte-eigenschappen.

De faalmechanismen hebben niet overal dezelfde kans van optreden. In bepaalde vakken is het op grond van de analyses die in het kader van de derde toetsronde zijn uitgevoerd, te verwachten dat de kans op het optreden van een bepaald faalmechanisme marginaal is. In dergelijke gevallen kan het faalmechanisme buiten beschouwing worden gelaten, zonder dat dit leidt tot een vertekend beeld van het totale overstromingsrisico. Daarom is eerst per faalmechanisme een selectie gemaakt van de vakken waar de faalkans mogelijk niet marginaal is. Alleen in die vakken zijn faalkansen berekend voor het betreffende faalmechanisme.

De vakindeling uit de toetsingen is als basis overgenomen. Dit is enerzijds gedaan om de resultaten van VNK2 makkelijker te kunnen vergelijken met het globale beeld uit de toetsing en anderzijds om gebruik te kunnen maken van reeds aanwezige informatie. Deze vakindeling is aangevuld met vakgrenzen op basis van de in VNK2 gehanteerde criteria (zie hierboven). Gebleken is dat vanuit het oogpunt van de gewenste homogeniteit van vakken, de dijkvakindeling uit de toetsronden een geschikte basis vormen. Die zijn bij de definitieve onderverdeling dan ook grotendeels aangehouden.

#### *2.3.2 Vakindeling duinen*

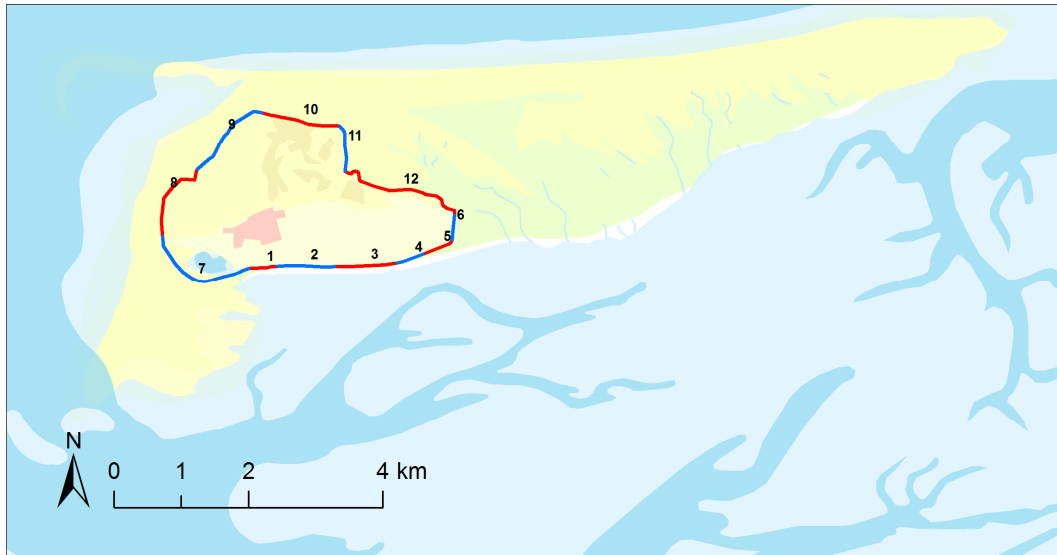
Een grens van een duinvak kan op verschillende manieren worden gekozen. Daarbij wordt rekening gehouden met:

- 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 (o.a. aantal duinregels);
- Grens van een ringdeel.

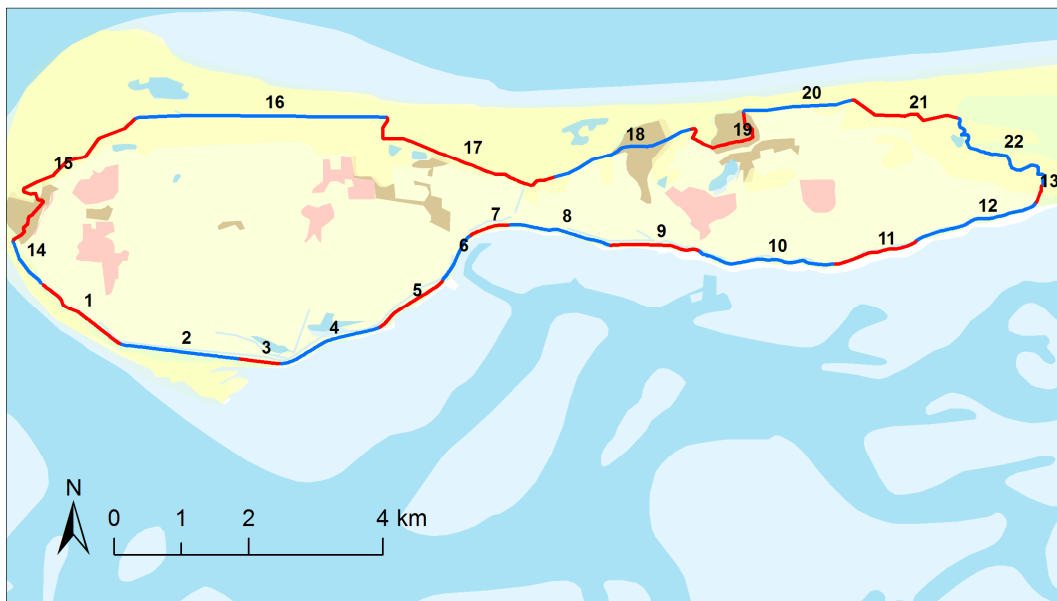
### 2.3.3

#### Overzicht vakindeling

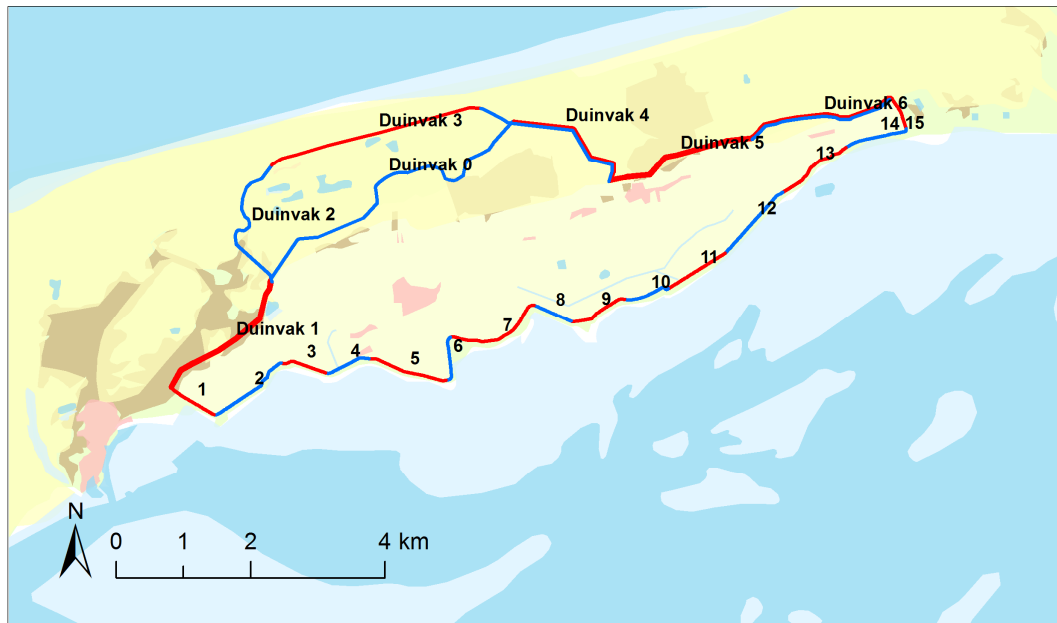
Een overzicht van de onderverdeling van dijk- en duinvakken per dijkkring is gegeven in Figuur 13 tot en met Figuur 16 . Een compleet overzicht van de vakgrenzen met locatieaanduidingen is opgenomen in Bijlage C.



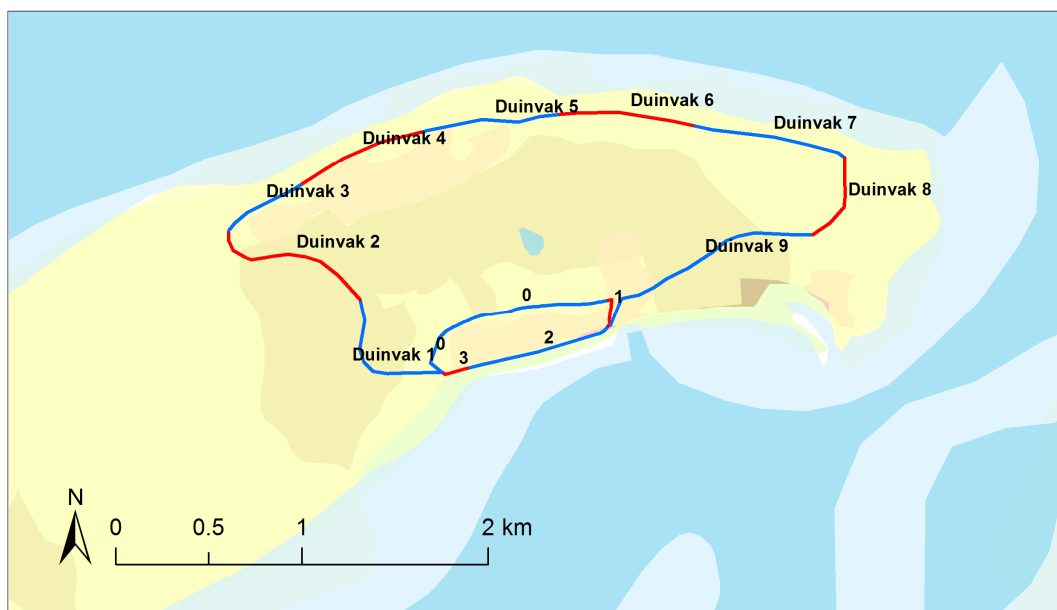
Figuur 13: Dijkvakken en duinvakken, dijkkring 1, Schiermonnikoog.



Figuur 14: Dijkvakken en duinvakken, dijkkring 2, Ameland.



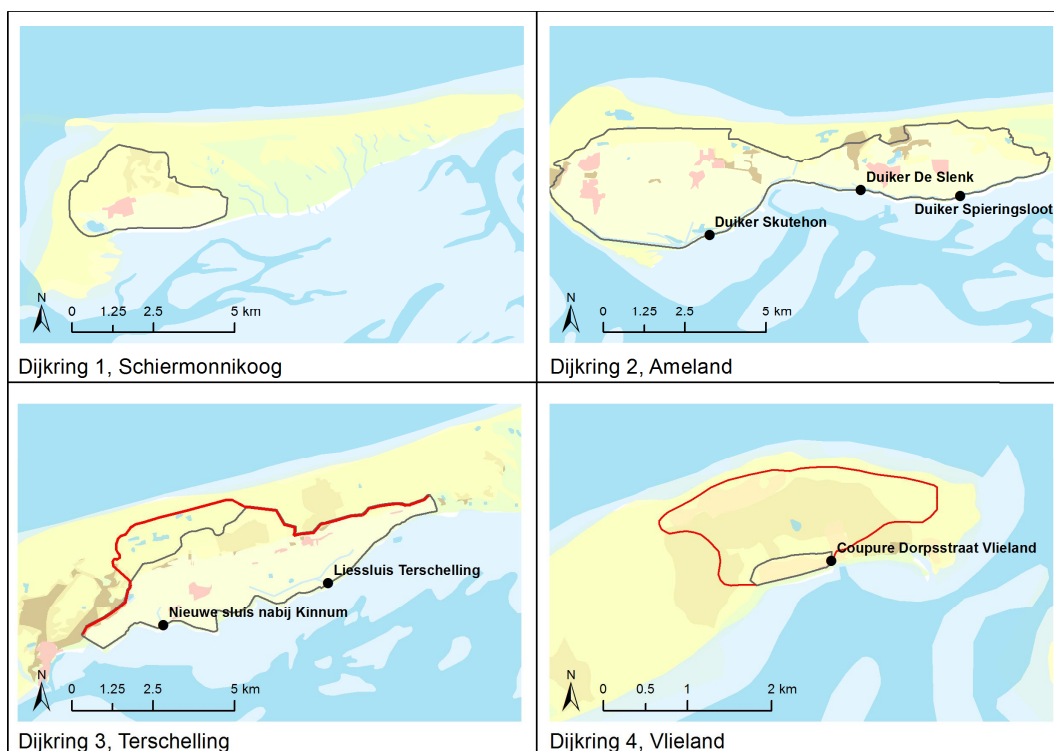
Figuur 15: Dijkvakken en duinvakken, dijkkring 3, Terschelling. Huidige ligging waterkering (duinvak 0) en voorgestelde ligging (duinvakken 2 en 3).



Figuur 16: Dijkvakken en duinvakken, dijkkring 4, Vlieland. Huidige ligging waterkering (duinvak 0) en voorgestelde ligging (duinvakken 1 tot en met 9).

## 2.4 Kunstwerken

In totaal bevinden zich 9 kunstwerken (voor dijkringen 1, 2, 3 en 4 respectievelijk 1, 3, 3 en 2) zoals gemalen, sluisen en coupures in de categorie a-kering, maar daaronder vallen ook leidingen (zie [ref 2] voor de volledige lijst). Niet al deze kunstwerken zijn in de risicoanalyse voor het dijkringgebied op kwantitatieve wijze meegenomen. Verwacht wordt niet dat (zie [ref 2]) hierdoor een te klein overstromingsrisico wordt berekend. In totaal zijn 7 kunstwerken kwantitatief geanalyseerd, zie Figuur 17 voor de ligging van de kunstwerken.



Figuur 17: Globale ligging geanalyseerde kunstwerken (dijkkring 3 en 4 inclusief voorgestelde ligging primaire waterkering, zie tevens Figuur 15 en Figuur 16).

In Tabel 7 is een overzicht gegeven van de geanalyseerde kunstwerken. Voor 2 kunstwerken is op basis van een screening vooraf geconcludeerd dat deze geen significante bijdrage leveren aan de totale overstromingskans van de dijkkring. Het betreffen een duiker in de duinen van Terschelling (de kans dat daar zeewater komt is verwaarloosbaar) en een riooloverstortleiding op Vlieland. In de screening is op basis van de toetsresultaten en een parameterscreening een conservatieve schatting gemaakt van de te verwachten faalkans.

Kunstwerknaam	Dijkkring	Ringdeel
Duiker Schiermonnikoog	1	1
Duiker De Slenk	2	1
Duiker Skutehôn	2	2
Duiker Spieringsloot	2	1
Duiker Nieuwe Sluis	3	1
Duiker Liessluis	3	1
Coupure Dorpsstraat	4	1

Tabel 7: Geanalyseerde kunstwerken dijkringen 1, 2, 3 en (zie paragraaf 4.1.2 voor ligging en toelichting ringdelen).

De kunstwerken duiker Skutehôn en duiker Spieringsloot zijn wel geanalyseerd op basis van de huidige situatie, maar niet in de overstromingskans en overstromingsrisico berekening meegenomen, omdat deze kunstwerken worden versterkt vanaf 2014.

---

## 3 Overstromingskans

In dit hoofdstuk is de wijze waarop de overstromingskans is berekend opgenomen. Tevens zijn de resultaten opgenomen van de uitgevoerde berekeningen.

### 3.1 Aanpak en uitgangspunten

Zowel de berekeningen van de faalkansen van de dijkvakken en die van de kunstwerken zijn uitgevoerd met behulp van het programma PC-Ring [ref 4, ref 5 en ref 6]. De faalkansen voor het faalmechanisme *macrostabiliteit binnenwaarts* zijn met behulp van aparte procedures buiten PC-Ring berekend. De voor dit faalmechanisme berekende faalkansen dienen wel weer als invoer voor PC-Ring bij het berekenen van de faalkansen per vak, per ringdeel en de overstromingskans van het totale dijkkringgebied.

Ten behoeve van de berekening van de faalkans is eerst per dijkvak vastgesteld welke faalmechanismen op welke locaties relevant zouden kunnen 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, intree- en uittreepunt, 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. Voor dijkkring 2, Ameland is dit uitgangspunt ook toegepast op het versterkingsplan [ref 26] [ref 27]. Voor de overige primaire waterkering geldt dat de faalkansanalyse en de daaruit volgende overstromingskans van de dijkringen betrekking heeft op de 'huidige' situatie eind 2013. Dat wil zeggen met de informatie die beschikbaar is uit bestaande studies, metingen, analyses, versterkingsplannen, zoals in de literatuurlijst opgenomen.

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 [ref 3] en de bijbehorende faalmechanismerapporten.

### 3.2 Bijzonderheden dijkringen 1, 2, 3 en 4

#### 3.2.1 Randvoorwaarden

In VNK2 wordt standaard uitgegaan van de zogenaamde TMR2006 randvoorwaarden. Voor dijkringen 1, 2, 3 en 4 is daarbij onderscheid te maken tussen twee situaties met hydraulische belastingen, namelijk vanaf de Noordzee en vanaf de Waddenzee. Met name over de hydraulische belasting vanaf de Waddenzee zijn in de loop der jaren de nodige vraagtekens geplaatst over de juistheid van de achterliggende berekeningsmethode en de grootte van de hydraulische belasting, zoals die is opgenomen in de HR2006-database. De hydraulische belasting is in de TMR2006 database aangepast ten opzichte van de HR2006 database, door de spectrale periode ( $T_{m-1,0}$ ) met 10% te verhogen ten opzichte van de zogenaamde Rand2001 database. Deze database wordt eveneens als onvoldoende betrouwbaar en correct beschouwd.

Het ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft Deltares gevraagd om nieuwe hydraulische randvoorwaarden te bepalen waarbij de recentere inzichten zijn verwerkt. Dit heeft geresulteerd in de concept HR2011 die door Deltares zijn vergeleken met de

---

HR2006 en de aangepaste database met de 10% verhoging van spectrale periode [ref 11]. De randvoorwaarden zijn echter (nog) niet openbaar, maar mogen wel worden gebruikt voor het VNK2-project. De faalkansen voor dijkringen 1, 2, 3 en 4 zijn bepaald met de TMR2006 voor de duinen aan de Noordzee en met de concept HR2011 voor de Waddenzee.

Op basis van ervaring en modellering (zoals in Lipari (2009), 'Viability study of a prototype windstorm for the Wadden Sea surges') in het verleden is gebleken dat een onder-maatgevende storm toch een aanzienlijke belasting kan leveren doordat draaiende wind (i.t.t. de huidige hydraulische belasting modellen) voor ongunstige omstandigheden kan zorgen. De effecten van draaiende wind zijn niet meegenomen in de faalkansanalyses.

Tevens zijn er meerdere methoden om op basis van metingen en modelleringen de gehanteerde kansverdeling lokaal aan te passen, maar die worden binnen VNK2 niet toegepast, omdat ze nog niet voldoende zijn uitgekristalliseerd.

### 3.2.2 Tijdsafhankelijkheid

Bij het faalmechanisme *opbarsten en piping* wordt in de huidige modellen (toetsing en VNK2) geen rekening gehouden met de duur van de belasting. De duur van de belasting is echter van invloed op de ontwikkeling van de waterspanningen in de watervoerende en pipinggevoelige lagen onder en achter de dijk.

- Bij waterstanden van 'lange' duur is sprake van stationaire grondwaterstroming.
- Bij waterstanden van 'beperkte' duur is sprake van niet stationaire grondwaterstroming, ofwel tijdsafhankelijke grondwaterstroming.

Bij niet stationaire grondwaterstroming zal de waterspanning in de watervoerende bodemlagen onder en achter de dijk bij gelijke waterstand minder hoog zijn dan bij stationaire grondwaterstroming. Dit is afhankelijk van het bergend vermogen van de bodemlagen, de doorlatendheid en dikte van de van de bodemlagen en de duur van de belasting. Dit betekent dat de kracht op de korrels kleiner is dan bij stationaire grondwaterstroming. In het benedenrivierengebied, de estuaria en langs de kust treedt onder de maatgevende omstandigheden vrijwel altijd niet stationaire grondwaterstroming op. Dit betekent dat de met stationaire grondwaterstroming berekende faalkansen, in gebieden met hoogwater standen van beperkte duur, veelal conservatief zullen zijn.

De grootte van het effect van de 'beperkte' hoogwaterduur op de waterspanning is afhankelijk van de duur van het hoogwater en de lokale bodemeigenschappen. Op basis van een SBW-onderzoek<sup>7</sup> naar tijdsafhankelijkheid en een globale analyse lijkt een reductie van 10% à 20% op de waterspanningen in de meeste gevallen haalbaar. Deze reductie kan worden vertaald naar een reductie op de hoogwaterstand. Dit is gedaan door het verschil tussen binnen en buitenwaterstand, het verval, met 10% en 20% procent te reduceren. Met het gereduceerde verval kan dan de kans op het faalmechanisme *opbarsten en piping* worden berekend volgens het model dat bij stationaire waterstanden hoort.

---

<sup>7</sup> ENW (Expertise Netwerk Waterveiligheid) heeft (12-2-2013) aangegeven dat bruikbare resultaten van het SBW-onderzoek (Sterkte & Belastingen Waterkeringen) naar tijdsafhankelijkheid van de belasting binnen enkele maanden beschikbaar zullen komen en naar verwachting van grote invloed zullen zijn op piping.



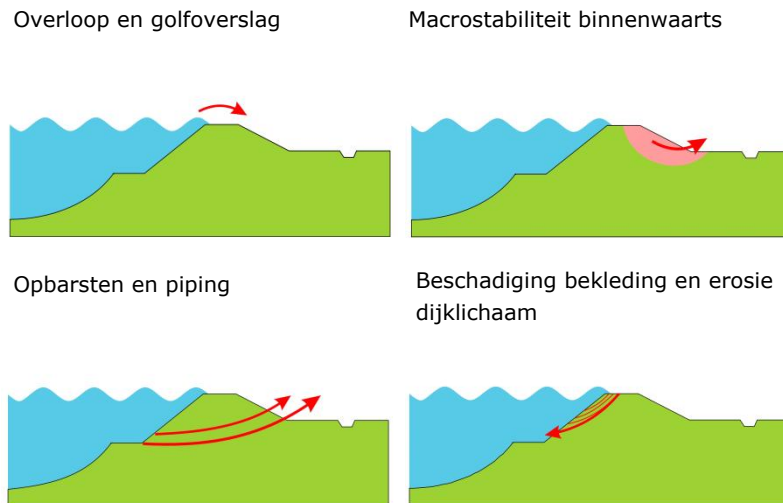
---

### 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 18):

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



Figuur 18: 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 golfhogten wordt het bezwijken beschreven door het faalmechanisme *overloop*. In andere gevallen door het faalmechanisme *golfoverslag*.

#### *Macrostabieliteit binnenwaarts*

Bij dit faalmechanisme bezwijkt de dijk doordat een deel van de dijk ten gevolge van 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.

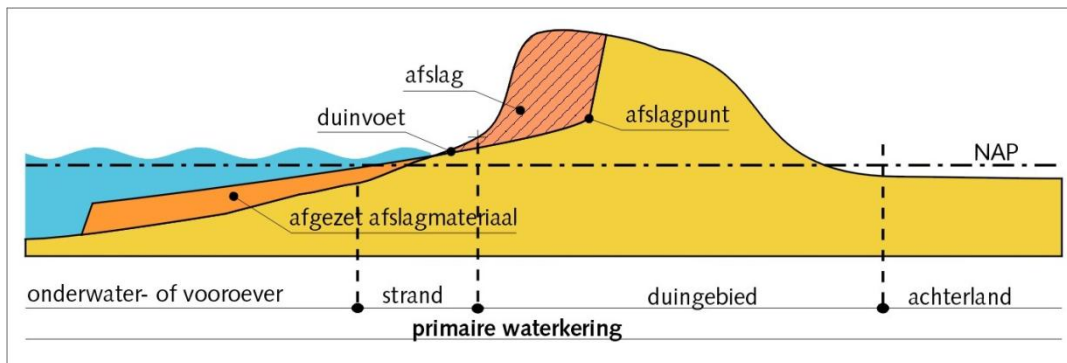
#### *Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam*

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.

#### 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 19). 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 [ref 12] staat beschreven

wordt aangenomen dat er een doorbraak van het duin zal optreden als het afslagpunt landwaarts van het kritieke afslagpunt komt te liggen. In de VNK2-analyse is ook naar het duingebied achter de eerste duinregel gekeken en meegenomen in de analyse. Daarbij is het principe gehanteerd "van grof naar fijn". Daarbij wordt eerst naar de eerste duinregel gekeken, indien nodig (lees hoge faalkans) nog naar de achterliggende duinregels. Bij doorsnede met meerdere duinregels is het niet altijd mogelijk om een afslagpunt te bepalen en is gebruik gemaakt van het laagste punt in de achterliggende duinen en de daarbij behorende herhalingsfrequentie van de waterstand. Dit levert in de beschouwde gevallen herhalingsfrequenties op die relatief laag zijn en zodoende zijn deze 'faalkansen' niet meegenomen in de bepaling van het overstromingsrisico.



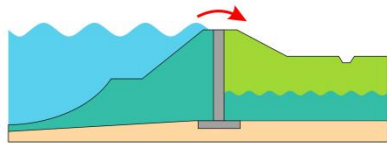
Figuur 19: Het faalmechanisme duinafslag.

### 3.3.3 Faalmechanismen kunstwerken

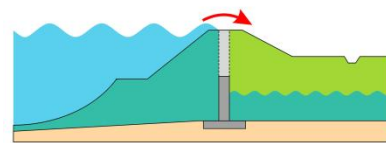
Voor de bepaling van de faalkans van een kunstwerk wordt rekening gehouden met de volgende faalmechanismen (zie Figuur 20):

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

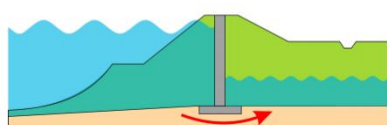
Overslag en overloop



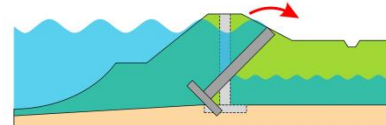
Betrouwbaarheid sluiting



Onder- en achterloopsheid



Sterkte en stabiliteit



Figuur 20: Beschouwde faalmechanismen kunstwerken.

---

#### *Overslag en overloop*

Bij dit faalmechanisme vindt falen plaats op het moment dat het overslaand en/of overlopend debiet groter is dan toelaatbaar. Het toelaatbare debiet wordt hierbij bepaald door de sterkte van de bodembescherming (erosie en ontgroning) dan wel het kombergend vermogen. Daarbij geldt dat komberging alleen wordt meegenomen als een tekort aan komberging leidt tot het bezwijken van de achterliggende kaden, het 'leeglopen' van de kom en het vervolgens bezwijken van het kunstwerk als gevolg van het grote debiet ten gevolge van het ontstane grote verval, wat leidt tot erosie en ontgroning.

#### *Betrouwbaarheid sluiting*

Falen ten gevolge van *betrouwbaarheid sluiting* treedt op als het kunstwerk niet gesloten is en het instromende debiet door het geopende kunstwerk groter is dan het toelaatbare debiet. Het toelaatbare debiet wordt hierbij bepaald door de sterkte van de bodembescherming (erosie en ontgroning) dan wel het kombergend vermogen. Daarbij geldt dat komberging alleen wordt meegenomen als een tekort aan komberging leidt tot het bezwijken van de achterliggende kaden, waardoor substantiële hoeveelheden water het achterland instromen en significante gevolgen optreden. Het meenemen van de komberging vergt een terdege afweging of de gevolgen vergelijkbaar zijn met de gevolgen van het ontstaan van een daadwerkelijke bres in de primaire kering.

#### *Onder- en achterloopsheid*

*Onder- en achterloopsheid* leidt tot falen indien er als gevolg van de kwelstroom langs of onder het object zand wordt meegevoerd en vervolgens naar het maaiveld wordt afgevoerd. Op deze wijze kan ondergraving van het kunstwerk ontstaan. De modellering van dit faalmechanisme vindt plaats met behulp van het model Bligh (alleen horizontale kwelwegen) en het model Lane (zowel horizontale als verticale kwelwegen).

Het uitgangspunt is dat wanneer *onder- en achterloopsheid* optreedt en dit gedurende langdurige perioden plaatsvindt het kunstwerk zal bezwijken.

#### *Sterkte en stabiliteit*

Het faalmechanisme *sterkte en stabiliteit* treedt op indien de sterkte van het kunstwerk niet toereikend is om de vervalbelastingen over het kunstwerk, dan wel de aanvaarbelastingen door schepen te kunnen opnemen. Het faalmechanisme kent een drietal mogelijke faalmodi:

- Bezwijken van waterkerende onderdelen (bv keermiddelen) van het kunstwerk als gevolg van de vervalbelasting;
- Bezwijken van het gehele kunstwerk (stabiliteitsverlies) als gevolg van de vervalbelasting;
- Bezwijken van keermiddelen als gevolg van aanvaren, waardoor de situatie van een niet gesloten kunstwerk ontstaat. Deze faalmodus treedt in principe alleen bij schutsluizen op.

#### *Beoordelingsmethode*

Voor een aantal typen kunstwerken is binnen het project VNK2 een methode ontwikkeld om faalkansen te berekenen. Het gaat om de volgende typen kunstwerken: schutsluizen, keersluizen, in- en uitwateringssluizen, coupures, tunnels en gemalen. Leidingen met een directe verbinding met het buitenwater (bijvoorbeeld effluentleidingen) worden hierbij beschouwd als uitwateringssluizen.

De systematiek van VNK2 ten aanzien van de kunstwerken is grotendeels afgeleid van de bestaande vigerende leidraden zoals de Leidraad Kunstwerken. Binnen deze huidige systematiek van kunstwerken is een drietal wijzen van falen mogelijk:

- 
1. Overschrijding van het toelaatbare volume aan instromend water over een gesloten kunstwerk (faalmechanisme *overslag en overloop*).
  2. Overschrijding van het toelaatbare volume aan instromend water via een geopend kunstwerk (faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting*).
  3. Bezwijken van het kunstwerk (faalmechanismen *onder- en achterloopsheid en sterkte en stabiliteit*).

Falen wordt hierbij binnen VNK2 gedefinieerd als het instromen van dusdanig veel water dat er gesproken kan worden van een bres in de primaire waterkering. De gevolgen die hierbij horen zijn dus substantieel. Het lokaal optreden van wateroverlast behoort hier niet toe.

In principe geldt voor de eerste twee bovenstaande faalwijzen, dat bij het optreden van het primaire faalproces (*overslag en overloop* of het niet gesloten zijn van het kunstwerk) er nog niet direct sprake is van falen van het kunstwerk. Daarvoor is het ook nog nodig dat óf de bodembescherming aan de binnenzijde fors erodeert en er ontgrondingskuilen ontstaan, óf het kombergend vermogen niet toereikend is, waardoor achterliggende keringen bezwijken en dit tot substantiële gevolgen in het achterland leidt.

Voor de derde faalwijze geldt dat in principe het optreden van het primaire faalproces (optreden van *onder- en achterloopsheid* en het bezwijken van onderdelen van het kunstwerk) leidt tot het geheel bezwijken van het kunstwerk en daarmee het ontstaan van een bres.

Het optreden van een bres en vervolgens bresgroei is bij kunstwerken niet zo vanzelfsprekend als bij dijken. Daarom wordt per situatie bekeken of daadwerkelijk een bres kan optreden óf dat de gevolgen dusdanig groot zijn dat er gesproken kan worden van een bres.

### **3.4 Niet beschouwde faalmechanismen**

Niet alle faalmechanismen kunnen met het VNK2-instrumentarium worden doorgerekend. De faalmechanismen *macrostabiliteit buitenwaarts, microstabiliteit, stabiliteit voorland, verweking, falen door ijsbelasting, niet waterkerende objecten (NWO's)* en *zettingsvloeiing* worden binnen VNK2 niet beschouwd. De redenen hiervoor zijn divers en houden verband met de volgende zaken:

- Voor sommige mechanismen is er nog een kennistekort of zijn de gegevens onvoldoende beschikbaar;
- Niet alle mechanismen leiden direct tot bezwijken;
- Mechanismen hebben een sterk tijdsafhankelijk karakter, waardoor de modellering met het VNK2-instrumentarium niet mogelijk is of tot onvoldoende betrouwbare antwoorden zal leiden.

Verondersteld wordt dat deze faalmechanismen van ondergeschikt belang zijn ten opzichte van de faalmechanismen die in de risicoanalyse zijn meegenomen.

Het faalmechanisme zettingsvloeiing moet, zoals blijkt vanuit het beheerdersoordeel van de toetsing, wel de nodige aandacht krijgen om niet tot de score onvoldoende te komen. Een vergelijkbare redenering en aandacht zijn ook op zijn plaats voor de faalkansbepaling. In paragraaf 3.5 is op het faalmechanisme zettingsvloeiing verder in gegaan.

---

### 3.5 Zettingsvloeiing

Voor zettingsvloeiing geldt dat dit een actueel thema is in de Waddenzee. In de afgelopen zes jaar is het tot drie maal voorgekomen dat kritieke situaties zijn ontstaan, bij Vierhuizengat, Vlieland en Borndiep. Het ontstaan en verplaatsen van de geulen is een natuurlijk proces. Een zettingsvloeiing vanuit een dergelijk geul kan de stabiliteit van de waterkering van de dijkringen negatief beïnvloeden.

De kans dat de standzekerheid van de waterkering door zettingsvloeiing wordt aangetast wordt bepaald door de kans van optreden en door de schadekans (de kans dat de inscharing tot in de dijk reikt). Bij een bestorte oever geldt dat de kans van optreden tot op zekere hoogte bepaald wordt door de mate van ondermijning van het oeverwerk aan de zeezijde. Door te monitoren (bij Ameland minimaal 2 maal per jaar een inmeting van de geul) en bij verdere verdieping van de ontgrondingskuil de bestorting zo nodig uit te breiden blijft de kans van optreden voldoende klein en neemt de schadekans (de kans dat de inscharing de standzekerheid van de waterkering aantast) verder af. Verder geldt dat zettingsvloeiing hoofdzakelijk is gerelateerd aan extreme laagwateromstandigheden en niet aan hoogwateromstandigheden. Door de relatief hoge ligging van het maaiveld in de dijkkringgebieden zijn de gevolgen hierdoor naar verwachting relatief klein. Derhalve wordt verwacht dat het mechanisme zettingsvloeiing geen significante bijdrage zal leveren aan het directe overstromingsrisico. Door zettingsvloeiing kan de kering bij laag water worden aangetast en/of bezwijken, waardoor bij niet tijdig herstel van de kering bij een volgende (kleine) storm alsnog een overstroming optreedt. Deze indirecte gevolgen (door een opeenstapeling van gebeurtenissen) is niet gekwantificeerd en meegenomen in de bepaling van het overstromingsrisico.

### 3.6 Berekende overstromingskansen

#### 3.6.1 *Overstromingskansen en faalkansen per faalmechanisme*

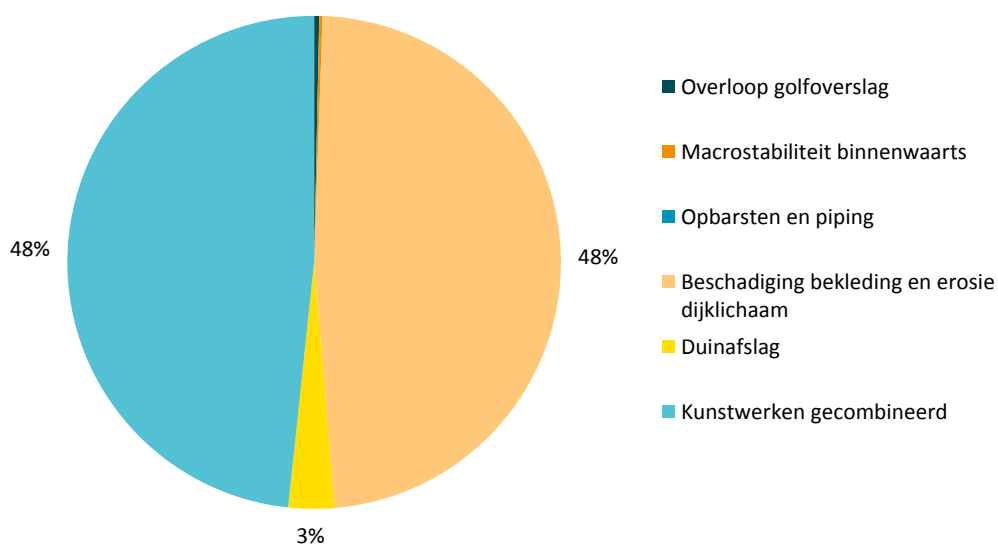
De berekende overstromingskansen van dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4 zijn respectievelijk 1/350, 1/10.000, 1/2.100 en 1/900 per jaar. De overstromingskansen voor dijkkring 3 en 4 met de voorgestelde ligging van de primaire waterkering zijn respectievelijk 1/2.100 en 1/660 per jaar.

De overstromingskans heeft betrekking op de kans dat er ergens in de dijkkringgebieden een overstroming plaatsvindt. In Tabel 8 tot en met Tabel 12 zijn de faalkansen (kans per jaar) voor de verschillende faalmechanismen per dijkkring weergegeven indien berekend. In Figuur 21 tot en met Figuur 25 is de faalkansbijdrage van de verschillende faalmechanismen ten opzichte van de overstromingskans weergegeven.

Indien geen faalkans is berekend is dit weergegeven met "-". Bij de indeling in dijkvakken en de selectie van (mogelijk) relevante faalmechanisme is een keus gemaakt in de nader te analyseren vakken en kunstwerken, zie ook Bijlage C. Daarbij zijn voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag alle dijkvakken beschouwd. Voor de overige vakken en kunstwerken geldt dat alleen de 'zwakste' vakken zijn meegenomen tot dat de faalkansbijdrage aan de overstromingskans niet significant is. Daarbij is gebruik gemaakt van de resultaten uit de toetsing. Bijvoorbeeld voor macrostabiliteit binnenwaarts is in de toetsing al geconcludeerd dat niet voor elk vak een macrostabiliteitsberekening noodzakelijk is. Voor een uitgebreidere beschrijving van de vakindeling en faalmechanisme selectie kan het achtergrondrapport worden geraadpleegd [ref 3].

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)
Dijk	Overloop en golfverslag	1/100.000
	Opbarsten en piping	-
	Macrostabieliteit binnenwaarts	1/160.000
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/720
Duinen	Duinafslag	1/12.000
Kunstwerk	Kunstwerken gecombineerd	1/720
Overstromingskans		1/350

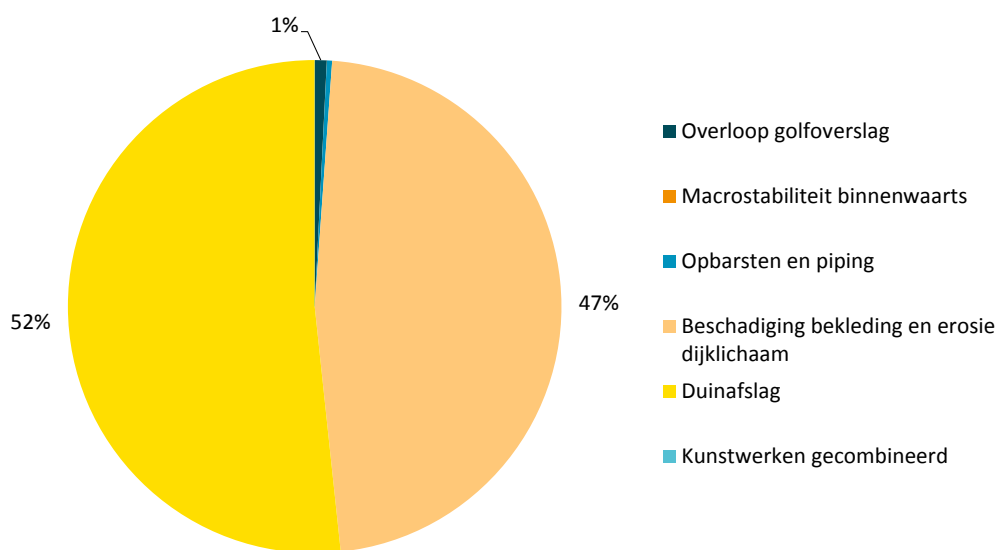
Tabel 8: Faalkansen per faalmechanisme en overstromingskans voor dijkkring 1, Schiermonnikoog.



Figuur 21: Faalkansbijdrage aan de overstromingskans van dijkkring 1, Schiermonnikoog.

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)
Dijk	Overloop en golfoverslag	<1/1.000.000
	Opbarsten en piping	<1/1.000.000
	Macrostabieliteit binnenwaarts	<1/1.000.000
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/22.000
Duinen	Duinafslag	1/20.000
Kunstwerk	Kunstwerken gecombineerd	
Overstromingskans		1/10.000

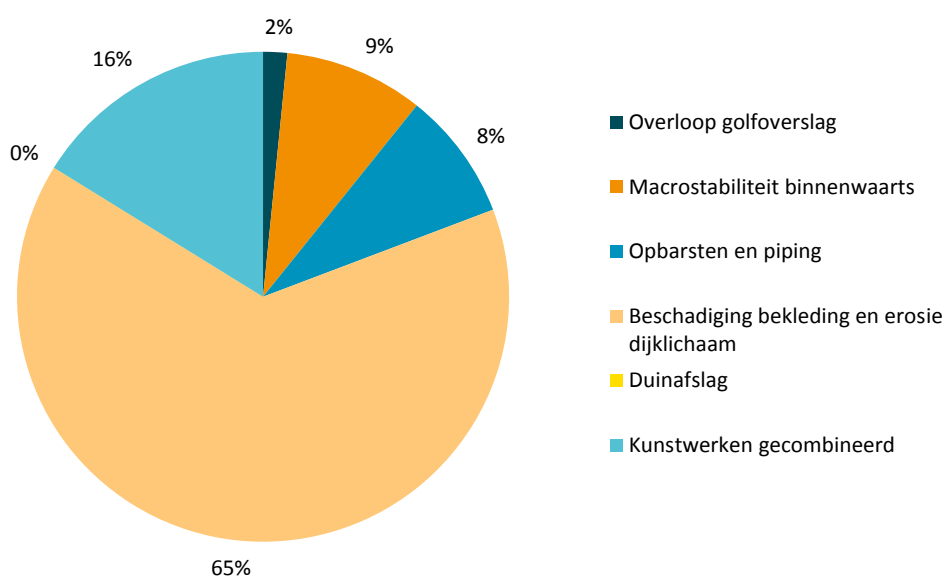
Tabel 9: Faalkansen per faalmechanisme en overstromingskans voor dijkkring 2, Ameland.



Figuur 22: Faalkansbijdrage aan de overstromingskans van dijkkring 2, Ameland.

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)
Dijk	Overloop en golfoverslag	1/130.000
	Opbarsten en piping	1/25.000
	Macrostabieliteit binnenwaarts	1/23.000
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/3.300
Duinen	Duinafslag	-
Kunstwerk	Kunstwerken gecombineerd	1/13.000
Overstromingskans		1/2.100

Tabel 10: Faalkansen per faalmechanisme en overstromingskans voor dijkkring 3, Terschelling.

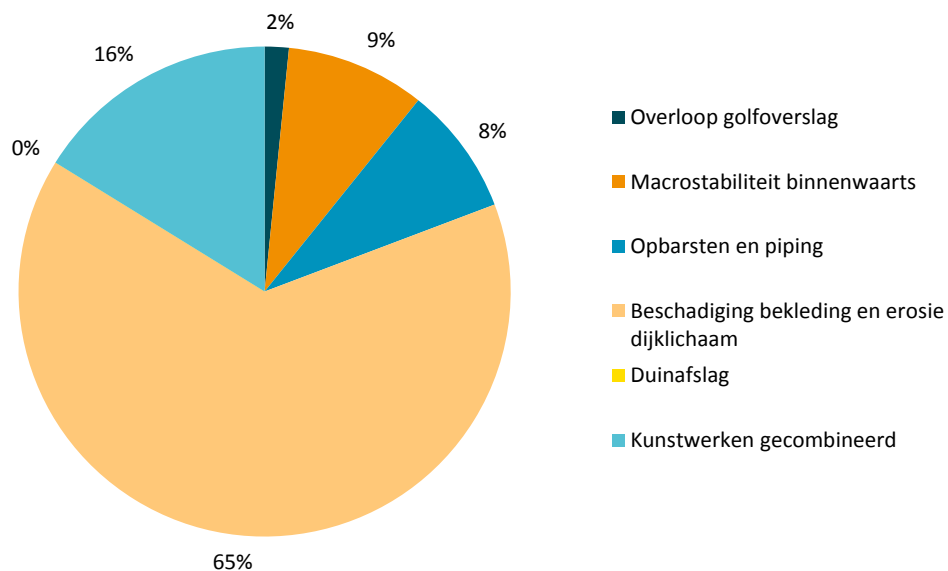


Figuur 23: Faalkansbijdrage aan de overstromingskans van dijkkring 3, Terschelling.



Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)
Dijk	Overloop en golfoverslag	1/130.000
	Opbarsten en piping	1/25.000
	Macrostabiliiteit binnenwaarts	1/23.000
	Beschadiging bekleding en erosie dijklchaam	1/3.300
Duinen	Duinafslag	<1/1.000.000
Kunstwerk	Kunstwerken gecombineerd	1/13.000
Overstromingskans		1/2.100

Tabel 11: Faalkansen (voorgestelde primaire kering) per faalmechanisme, dijkring 3, Terschelling.

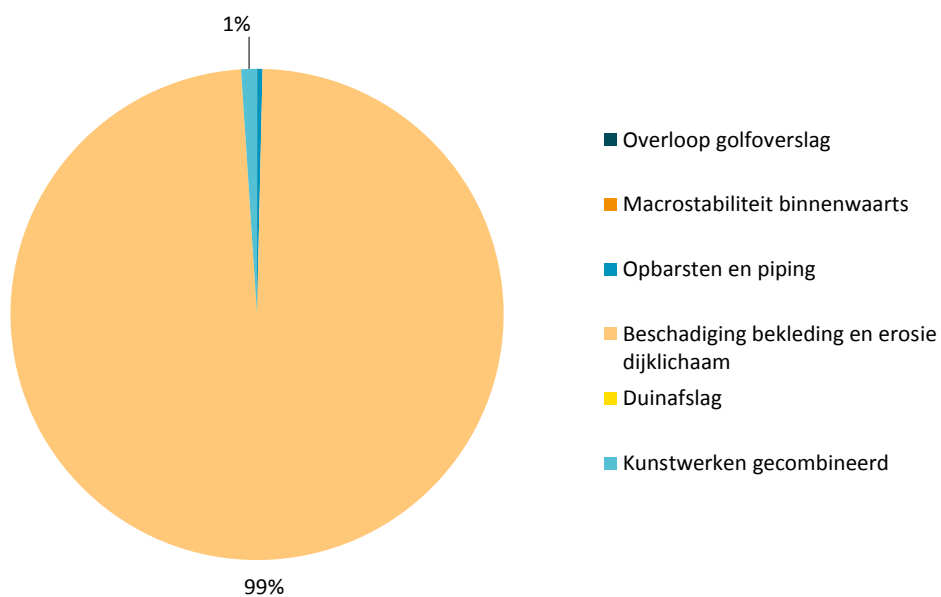


Figuur 24: Faalkansbijdrage (voorgestelde primaire kering) aan de overstromingskans van dijkring 3, Terschelling.

De kansen van de voorgestelde ligging van de primaire waterkering van dijkring 3 zijn bijna gelijk aan de kansen van de huidige ligging van de primaire waterkering.

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)
Dijk	Overloop en golfoverslag	<1/1.000.000
	Opbarsten en piping	1/260.000
	Macrostabieliteit binnenwaarts	<1/1.000.000
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/910
Duinen	Duinafslag	-
Kunstwerk	Kunstwerken gecombineerd	1/86.000
Overstromingskans		1/900

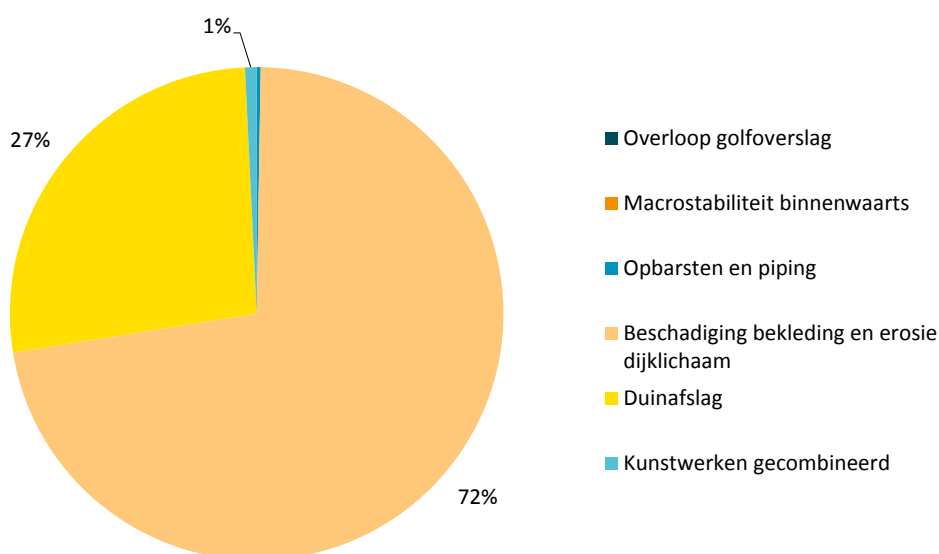
Tabel 12: Faalkansen per faalmechanisme en overstromingskans voor dijkkring 4, Vlieland.



Figuur 25: Faalkansbijdrage aan de overstromingskans van dijkkring 4, Vlieland.

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)
Dijk	Overloop en golfoverslag	<1/1.000.000
	Opbarsten en piping	1/260.000
	Macrostabieliteit binnenwaarts	<1/1.000.000
	Beschadiging bekleding en erosie dijklchaam	1/910
Duinen	Duinafslag	1/2.400
Kunstwerk	Kunstwerken gecombineerd	1/86.000
Overstromingskans		1/660

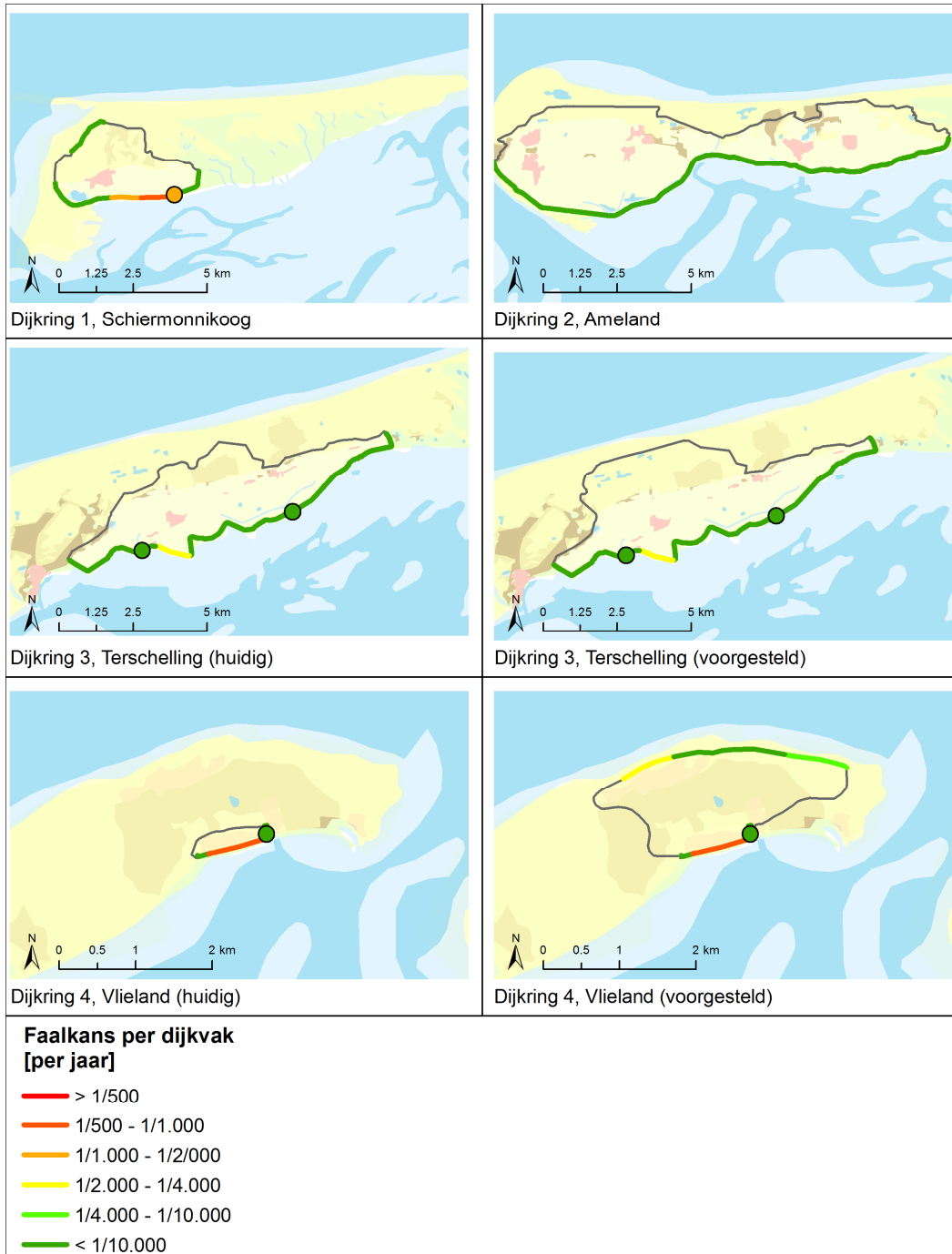
Tabel 13: Faalkansen (voorgestelde primaire kering) per faalmechanisme, dijkring 4, Vlieland.



Figuur 26: Faalkansbijdrage (voorgestelde primaire kering) aan de overstromingskans van dijkring 4, Vlieland per faalmechanisme.

De kansen van de voorgestelde ligging van de primaire waterkering van dijkring 4 zijn voor het gedeelte van de dijk gelijk aan de kansen van de huidige ligging van de primaire waterkering. De faalkansen van de duinen in de huidige situatie zijn aanzienlijk kleiner en kunnen gezien de omvang van het duingebied als verwaarloosbaar worden verondersteld. De overstromingskans van de huidige dijkring wordt dus alleen bepaald door de faalkansen van de dijken.

In Figuur 27 is door middel van kleurtinten een overzicht gegeven van de berekende faalkansen voor de dijkvakken en duinvakken. Indien een verwaarloosbare faalkans is te verwachten is geen kwantitatieve faalkansanalyse uitgevoerd en in Figuur 27 weergegeven met een dunne zwarte lijn.



Figuur 27: Gecombineerde faalkansen per vak en kunstwerk (indien geen faalkans is berekend is dat aangeduid met een dunne zwarte lijn en is de faalkans verwaarloosbaar).

### 3.6.2 Faalkansen dijken

De resultaten van de faalkansberekeningen voor de dijken zijn weergegeven in Tabel 14 tot en met Tabel 17. Daar waar de faalkans per jaar kleiner is dan 1/1.000.000 per jaar is de kans weergegeven als < 1/1.000.000 per jaar.

In het achtergrondrapport [ref 3] is een uitgebreide analyse van verschillende vakken opgenomen. Daarin zijn de resultaten in detail vergeleken met de toetsing en zijn opvallende verschillen ten opzichte van de faalkansen van aansluitende dijkvakken geanalyseerd en toegelicht. Verschillen tussen faalkansen van dijkvakken onderling

worden vaak veroorzaakt door het wel of niet aanwezig zijn van voorland, golfremmende constructies, andere belasting en/of oriëntatie.

Bij het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* worden soms ook andere faalkansen berekend dan op basis van het beeld van de toetsing verwacht zou worden. Dit wordt vaak veroorzaakt door het feit dat binnen VNK2 naar het falen van de primaire waterkering wordt gekeken, wat niet gebeurt bij de toetsing. De kering faalt pas wanneer een bres is ontstaan en dus het hele dijklichaam is geërodeerd. Dat kan dus veel later het geval zijn dan het tijdstip dat de bekleding faalt. Dat laatste is hetgeen in de toetsing wordt berekend (geen reststerkte) en is dus conservatiever.

Een ander verschil in resultaten ontstaat doordat de kwaliteit van de asfaltbekleding door ouderdom in PC-Ring op een niet zo gedetailleerde wijze als in de toetsing kan worden beschouwd.

Na elke tabel zijn de belangrijkste constatering, conclusies en aanbevelingen opgenomen per faalmechanisme.

#### Dijkkring 1, Schiermonnikoog

Naam dijkvak	Ringdeelnr.	Overloop en golfoverslag	Opbarsten en piping	Macro-stabiliteit	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Faalkans per vak
DV01_0.00km_0.60km	1	1/650.000	-	1/160.000	1/110.000	1/59.000
DV02_0.60km_1.60km	1	1/390.000	-	-	1/1.400	1/1.400
DV03_1.60km_2.60km	1	1/110.000	-	-	1/730	1/730
DV04_2.60km_3.10km	1	<1/1.000.000	-	-	1/11.000	1/11.000
DV05_3.10km_3.60km	1	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000	<1/1.000.000
DV06_3.60km_4.00km	1	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000	<1/1.000.000

Tabel 14: Faalkansen (per jaar) op dijkvakniveau, dijkkring 1, Schiermonnikoog.

#### Overloop en golfoverslag

De grootste faalkans wordt veroorzaakt door het deelfaalmechanisme *overloop* bij de wegoevergang vanaf de veerdam ter plaatse van dijkvak 3. De faalkans is overigens nog steeds klein en sluit daarmee aan bij het beeld uit de derde toetsing waar de gehele dijk is goedgekeurd op hoogte.

#### Opbarsten en piping

De dijken op Schiermonnikoog zijn zanddijken die op een zandondergrond liggen. Piping is in dit geval geen mogelijk faalmechanisme. Uitspoelen van zand resulteert bij deze configuratie hooguit tot micro-instabiliteit [ref 15] [ref 37]. Hierdoor kan er geen 'pipe' ontstaan.

#### Macro-stabiliteit binnenwaarts

De faalkans op *macro-stabiliteit binnenwaarts* draagt van de doorgerekende faalmechanismen van de dijkvakken het minst bij aan de overstromingskans. De relatief kleine faalkans komt overeen met het beeld dat uit de toetsing volgt, waar de dijken op *macro-stabiliteit binnenwaarts* zijn goedgekeurd. Dit is ook het enige profiel (c.q. vak) dat in de toetsing is beschouwd en daar als 'maatgevend' is beschouwd.

#### Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam

Het beeld dat ontstaat uit de faalkansberekeningen voor dijkvakken 1, 4, 5 en 6 wijkt af van het beeld uit de derde toetsronde (onvoldoende voor grasbekleding zone B voor

het hele dijktraject [ref 15]). Dit verschil kan worden verklaard door een verschil in toegepaste golfcondities. In de toetsing zijn de golfparameters behorend bij toetspeil toegepast op één maatgevende locatie, namelijk ter plaatse van dijkvak 3. Deze maatgevende locatie is van toepassing verklaard op de hele dijkstrekkung. In de faalkansanalyse binnen VNK2 zijn alle golfcondities, met kans van voorkomen, beschouwd. Op basis van de faalkansanalyse blijkt dat dijkvak 3 de grootste faalkans heeft en daarmee overeenkomt met de 'maatgevende locatie' uit de toetsing. De grootste verschillen met het onvoldoende toetsresultaat en relatief kleine faalkansen treedt op bij dijkvakken 1, 4, 5 en 6 vanwege de lagere golfcondities die binnen VNK2 zijn gehanteerd.

De variatie in faalkansen tussen de dijkvakken onderling wordt met name veroorzaakt door verschil in de oriëntatie en de beschutting van het dijkvak. Dijkvak 1 ligt deels in de beschutting van het westelijk gelegen duingebied en de oude veerdam aan de oostzijde. Dijkvak 2 en 3 staan het meeste bloot aan golfaanval, waarbij de oude veerdam nog enige bescherming op met name dijkvak 2 biedt in geval van westen wind. Dijkvak 4 en 5 liggen in de luwte van de Veerdam bij een westelijke windrichting en dijkvak 6 wordt vanwege zijn oriëntatie en voorland alleen belast bij zuidoostelijk georiënteerde windrichtingen.

In de analyses is zowel voor het gras direct boven de inspectieweg als voor het gras hoger gelegen op het talud dezelfde kwaliteit aangehouden. Het laaggelegen gras wordt regelmatig aan zout water blootgesteld wat het mogelijk verzwakt. Daarentegen is het onderste deel ook voorzien van doorgroeiëtenen. Voor het vaststellen van de daadwerkelijke kwaliteit is aanvullend onderzoek nodig. De effecten van de graskwaliteit op de faalkans zijn zowel op vakkniveau als op dijkkringniveau geanalyseerd (zie respectievelijk het achtergrondrapport met de faalmechaniserapporten [ref 14] en Bijlage G).

#### Dijkkring 2, Ameland

Naam dijkvak	Ringdeelnr.	Overloop en golfoverslag	Opbarsten en piping	Macro-stabiliteit	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Faalkans per vak
DV01_0.00km_1.50km	2	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000	<1/1.000.000
DV02_1.50km_3.30km	2	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
DV03_3.30km_3.90km	2	<1/1.000.000	--	-	-	<1/1.000.000
DV04_3.90km_5.50km	2	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
DV05_5.50km_6.70km	2	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
DV06_6.70km_7.45km	2	<1/1.000.000	<1/1.000.000	-	-	<1/1.000.000
DV07_7.45km_8.10km	2	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
DV08_8.10km_9.65km	1	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
DV09_9.65km_11.00km	1	<1/1.000.000	-	-	1/22.000	1/22.000
DV10_11.00km_13.10km	1	<1/1.000.000	-	<1/1.000.000	-	<1/1.000.000
DV11_13.10km_14.40km	1	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
DV12_14.40km_16.30km	1	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
DV13_16.30km_16.50km	1	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000

Tabel 15: Faalkansen (per jaar) op dijkvakniveau, dijkkring 2, Ameland.

---

#### Overloop en golfoverslag

In de faalkansanalyse is de situatie beschouwd na afronding van de lopende versterking. De berekende kleine faalkansen sluiten dan ook aan bij de vooraf verwachte faalkansen.

#### Opbarsten en piping

De kleine faalkans is te verklaren door de kleine strekking met pipinggevoelige lagen binnen het geschematiseerde dijkvak en de relatief dikke deklaag. Dat komt overeen met het beeld uit de toetsing, waar de dijken op *opbarsten en piping* zijn goedgekeurd. Op Ameland wordt momenteel ook het 'Monitoringsplan Livedijk Ameland' uitgevoerd [ref 40].

#### Macrostabieliteit binnenwaarts

De kleine faalkans komt overeen met het beeld dat uit de toetsing volgt, waar de dijken op *macrostabieliteit* zijn goedgekeurd.

#### Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam

In de faalkansanalyse is de situatie beschouwd na afronding van de lopende versterking, waarbij een faalkansanalyse voor dijkvak 1 en 9 is uitgevoerd. Bij de asfaltbekleding (dijkvak 9) is de faalkans erg gevoelig ten aanzien van de asfaltdikte, wat verklaard kan worden vanuit het gehanteerde model. Het wordt dan ook aanbevolen verbeteringen aan het gehanteerde model door te voeren voor een realistischer beeld van de faalkans bij asfalt met kleine diktes, flauwe taluds en hoge kwaliteit c.q. geen ouderdomseffecten.

Voor de grasbekleding is de kwaliteit van de grasmat aangehouden zoals deze in de 2<sup>e</sup> toetsronde is vastgesteld op basis van onderzoek. Volgens het voorontwerp is goed beheer niet noodzakelijk om de dijk te laten voldoen aan de normen, daar waar een verborgen opensteenafalt bekleding aanwezig is. Uit de analyses blijkt dat goed beheer noodzakelijk is om een grasbekleding met een kleine faalkans te krijgen. Op de plaatsen waar geen verborgen opensteenafalt komt te liggen is een matige of goede grasmat nodig om kleine faalkansen te hebben.

### Dijkkring 3, Terschelling

Naam dijkvak	Ringdeelnr.	Overloop en golfoverslag	Opbarsten en piping	Macro-stabiliteit	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Faalkans per vak
DV01_0.00km_0.70km	1	1/760.000				1/760.000
DV02_0.70km_2.00km	1	1/220.000	1/56.000		1/170.000	1/36.000
DV03_2.00km_2.70km	1	1/400.000			1/27.000	1/27.000
DV04_2.70km_3.40km	1	<1/1.000.000			<1/1.000.000	<1/1.000.000
DV05_3.40km_4.60km	1	1/670.000			1/3.300	1/3.300
DV06_4.60km_5.30km	1	<1/1.000.000	1/510.000		<1/1.000.000	1/510.000
DV07_5.30km_6.80km	1	<1/1.000.000			1/24.000	1/24.000
DV08_6.80km_7.40km	1	<1/1.000.000			1/170.000	1/170.000
DV09_7.40km_8.30km	1	<1/1.000.000			<1/1.000.000	<1/1.000.000
DV10_8.30km_9.00km	1	<1/1.000.000				<1/1.000.000
DV11_9.00km_10.00km	1	<1/1.000.000	1/110.000		1/920.000	1/97.000
DV12_10.00km_11.25km	1	1/270.000	1/81.000			1/62.000
DV13_11.25km_12.45km	1	1/270.000		1/23.000		1/21.000
DV14_12.45km_13.40km	1	1/360.000				1/360.000
DV15_13.40km_13.87km	1	1/400.000				1/400.000

Tabel 16: Faalkansen (per jaar) op dijkvakniveau, dijkkring 3, Terschelling.

#### Overloop en golfoverslag

De berekende faalkansen voor *overloop en golfoverslag* zijn allemaal relatief klein. De resultaten voor de toetsing zijn voor het hoogtespoor voor dijkvak 1 en 15 goed. Voor alle andere dijkvakken is met de technische beoordeling voor het hoogtespoor geen oordeel gegeven [ref 14], in verband met een te hoog zandgehalte.

De verschillen in faalkansen zijn voornamelijk te verklaren door verschillen in oriëntatie, de geometrie, het randvoorwaardenpunt en de richting van de maatgevende belasting. Indien de dijk bezwijkt door een overloop situatie dan komt dit in alle gevallen door een situatie met als maatgevende windrichting 330 graden t.o.v. noord. De waterstand in de Waddenzee is met zo'n storm op zijn hoogst. De faalkans wordt voor 80% van de dijkvakken bepaald (dijkvakken 3, 5 en 8 falen door golfoverslag) door het deelfaalmechanisme *overloop*, waarbij de geometrie en oriëntatie net als de graskwaliteit [ref 22] geen invloed hebben op de faalkans.

#### Opbarsten en piping

De faalkansen in dijkkring 3, Terschelling, zijn groter dan de kansen van dijkkringen 2 en 4. Dat wordt met name veroorzaakt door een kleinere kwelweglengte. Daar waar de kwelweglengte groter is, namelijk bij dijkvak 6, is zichtbaar dat de faalkans juist klein is.

In de analyses is rekening gehouden met een aanwezig voorland. Hiervoor is een extra kwelweglengte in rekening gebracht van 20 m. Over de ondoorlatende lagen bestaat echter onzekerheid in hoeverre deze aanwezig zijn (weinig beschikbaar onderzoek) en blijven tijdens maatgevende omstandigheden (morfologisch actief gebied).

In de toetsing zijn de dijkvakken goedgekeurd, indien het waterremmende vermogen van het voorland in rekening wordt gebracht en voor dijkvak 3 (technische beoordeling: 'geen oordeel') de berekening wordt uitgevoerd met Plaxflowberekeningen en een tijdsafhankelijk stromingsmodel.



In de berekende faalkans is geen rekening gehouden met tijdsafhankelijke effecten.

Macrostabiliiteit binnenwaarts

In de toetsing is de dijk goedgekeurd op *macrostabiliiteit binnenwaarts*. De berekende faalkans in VNK2 is ten opzichte van de andere dijkringen relatief groot voor een in de toetsing goedgekeurd dijkvak. De berekende faalkans zou kunnen afnemen indien de onzekerheid in de schematisatie afneemt.

Een verdere detaillering (c.q. het verkleinen van de onzekerheden) van de schematisatie, kan worden bereikt door het kennen (middels metingen) van de stijghoogte in de eerste watervoerende laag en/of de ligging van het freatisch vlak in de dijk en bij de binnenteen.

Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam

In de 3<sup>e</sup> toetsronde [ref 15] zijn de doorgroeistenen binnen dit dijkvak in eerste instantie afgekeurd. Later zijn deze goedgekeurd op basis van de reststerktebenadering uit de 2<sup>e</sup> toetsronde. De andere bekledingstypen zijn goedgekeurd. Uit de faalkansberekening blijkt dat de faalkans met name bepaald wordt door de sterkte van de grasbekleding. De doorgroeistenen zijn in de faalkansberekening ook geschematiseerd als grasbekleding. Geconcludeerd kan worden dat het beeld uit de toetsing en uit de faalkansberekening redelijk overeenkomen.

In het algemeen is de oriëntatie en beschutting van het dijkvak bepalend voor de berekende faalkans. De meer westelijk georiënteerde dijkvakken hebben een grotere faalkans.

Dijkkring 4, Vlieland

Naam dijkvak	Ringdeelnr.	Overloop en golfoverslag	Opbarsten en piping	Macro-stabiliteit	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Faalkans per vak
DV01_0.00km_0.70km	1	<1/1.000.000			<1/1.000.000	<1/1.000.000
DV02_0.70km_2.00km	1	<1/1.000.000	1/260.000	<1/1.000.000	1/910	1/900
DV03_2.00km_2.70km	1	<1/1.000.000			<1/1.000.000	<1/1.000.000

Tabel 17: Faalkansen (per jaar) op dijkvakniveau, dijkkring 4, Vlieland.

Overloop en golfoverslag

Voor Vlieland geldt dat de primaire harde waterkering alleen bezwijkt tijdens overloop situaties. De waterstand die daarbij moet optreden heeft een kans van voorkomen kleiner dan 1/1.000.000 per jaar.

Opbarsten en piping

De relatief kleine faalkans is met name te verklaren door de hoge ligging van het achterland zodat een relatief klein effectief verval ontstaat bij een hoge waterstand en tevens een relatief dikke deklaag aanwezig is. Tevens is voor een aantal invoerparameters een conservatieve waarde aangehouden. Vanwege de relatief kleine faalkans van het dijkvak is geen verdere verfijning van de schematisatie toegepast op deze invoerparameters.

Macrostabiliiteit binnenwaarts

De kleine faalkans komt overeen met het beeld dat uit de toetsing volgt, waar de dijken op *macrostabiliiteit* zijn goedgekeurd.

---

Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam

In de toetsing is de basaltbekleding afgekeurd. Dit is in overeenstemming met het beeld op basis van de berekende relatief grote faalkansen. De faalkans wordt met name bepaald door de kleinere steendikte (0,20 m tegen 0,25 m in de andere dijkringen). Vanuit de toetsrapportage is niet duidelijk waar de gehanteerde steendikte en openruimte (basalt en basaltion) op gebaseerd zijn. Door enkele metingen te verrichten is hier mogelijk een optimalisatie uit te voeren die resulteert in een afname van de faalkans.

3.6.3 *Faalkansen duinen*

De resultaten van de faalkansberekeningen voor de duinen zijn weergegeven in Tabel 18 tot en met Tabel 21.

Dijkring 1, Schiermonnikoog

Naam duinvak	Ringdeelnr.	Faalkans duinvak
DV07_RSP0_RSP180	1	1/12.000
DV08_RSP200_RSP320	2	-
DV09_RSP340_RSP460	2	<1/1.000.000
DV10_RSP480_RSP600	2	-
DV11_RSP620_RSP620	2	-
DV12_RSP640_RSP820	2	-

Tabel 18: *Faalkansen (per jaar) per duinvak, dijkring 1, Schiermonnikoog.*

Duinvak 7 heeft de grootste faalkans en dit is in overeenstemming met [ref 32] en de berekende faalkans is vergelijkbaar met de resultaten van [ref 31]. Dit duinvak is gelegen aan de zuidwestzijde van het eiland. Gezien de oriëntatie van het duinvak ten opzichte van de niet gereduceerde golven op de Noordzee en de aanwezigheid van een buitendelta, zal de hydraulische belasting in werkelijkheid lager zijn dan de belasting die gehanteerd wordt in de huidige aanpak. Binnen de VNK2 methodiek kan de grootte van de reductie van de hydraulische belasting niet worden bepaald. Uit de gedetailleerde toetsing van het westelijke deel van Ameland [ref 33] blijkt dat de reductie kan oplopen tot 50%. Voor duinvak 7 is een reductie van 25% gehanteerd en kan daarom worden aangenomen als een conservatieve aanname.

### Dijkkring 2, Ameland

Naam duinvak	Ringdeelnr.	Faalkans duinvak
DV14_RSP4860_RSP4928	2	1/20.000
DV15_RSP4928_RSP460	3	
DV16_RSP460_RSP820	3	
DV17_RSP820_RSP1080	3	
DV18_RSP1080_RSP1280	4	
DV19_RSP1280_RSP1360	4	
DV20_RSP1360_RSP1520	4	
DV21_RSP1520_RSP1680	4	
DV22_RSP1680_RSP1800	5	

Tabel 19: Faalkansen (per jaar) per duinvak, dijkkring 2, Ameland.

Duinvak 14 is niet volgens de VNK2 methode bepaald. Door de steile vooroever en de afwijkende hydraulische condities kan de faalkans niet met PC-Ring (c.q. DUROS+) worden bepaald. De faalkans van dit duinvak is aangenomen als zijnde (kleiner dan) 1/20.000 per jaar, op basis van de goedkeuring van dit vak in de gedetailleerde toetsing [ref 33].

### Dijkkring 3, Terschelling

Naam duinvak	Ringdeelnr.	Faalkans duinvak
DV1_RSP0_RSP760	2	
DV2_RSP780_RSP860	2	
DV3_RSP880_RSP1160	2	<1/1.000.000
DV4_RSP1180_RSP1340	2	(1/581.400)*
DV5_RSP1360_RSP1540	2	(1/42.400)*
DV6_RSP1560_RSP1760	2	

*\*op basis van een conservatieve en pragmatische benadering met behulp van een waterstand, kans niet meegenomen in de risico bepaling.*

Tabel 20: Faalkansen (per jaar) per duinvak (voorgestelde nieuwe primaire kering), dijkkring 3, Terschelling.

De faalkans van de twee duinvakken van de bestaande (vigerende) primaire waterkering is niet kwantitatief bepaald en is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de andere faalkansen binnen de dijkkring.

De faalkans van duinvak 3 is eveneens klein aangezien de voorgestelde ligging van de primaire waterkering over brede en hoge duinen loopt. In oostelijke richting neemt de sterkte van de eerste duinenrij echter wel af, maar de ligging van de primaire waterkering ligt daar verder landinwaarts zodat de golfbelasting door de voorliggende ondiepe duinvallei wordt gereduceerd. De primaire waterkering loopt hier over een binnenduin, welke een aantal relatief lage en smalle punten heeft. De duinvallei tussen de eerste duinregel en de primaire waterkering staat in open verbinding met duinvak 6 waar de eerste duinregel ten gevolge van verstuing op en aantal plaatsen is doorbroken. De faalkans voor duinafslag voor duinvak 4 en 5 zal daarom bepaald

worden door de kans van voorkomen van een waterstand waarbij de primaire waterkering op de binnenduin faalt. Op basis van deze conservatieve en pragmatische benadering geeft duinvak 5 de grootste faalkans met 1/42.400 per jaar. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit bepaald wordt door één relatief zwak punt in het westen van duinvak 5. Het verdient aanbeveling om het waterkerende vermogen van het leggerprofiel op de binnenduin nader te analyseren gebruikmakende van de aanbevelingen uit [ref 34]. Aangezien een faalkans op basis van waterstand niet in de VNK2 methodiek toegepast kan worden, zijn deze twee duinvakken niet in de analyse van het overstromingsrisico meegenomen.

#### Dijkkring 4, Vlieland

Naam duinvak	Ringdeelnr.	Faalkans duinvak
Duinvak 1	2	
Duinvak 2	2	
DV 3_RSP4970_RSP5023	2	
DV 4_RSP5041_RSP5077	2	1/3.100
DV 5_RSP5095_RSP5165	2	1/140.000
DV 6_RSP5175_RSP5250	2	1/16.000
DV 7_RSP5289_RSP5329	2	1/4.100
DV 8_RSP5345_RSP5440	2	
Duinvak 9	2	

Tabel 21: Faalkansen (per jaar) per duinvak (voorgestelde nieuwe primaire kering), dijkkring 4, Vlieland.

De faalkans van het duinvak van de bestaande (vigerende) primaire waterkering is niet kwantitatief bepaald en is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de andere faalkansen binnen de dijkkring.

In Tabel 21 zijn voor dijkkring 4 (Vlieland) de faalkansen opgenomen van de duinvakken van de voorgestelde ligging van de primaire waterkering. Voor de duinvakken 4 tot en met 7 is een conservatieve golfreductie factor toegepast van 25% in verband met de beschermende werking van de buitendelta.

De faalkans voor duinvak 4 heeft alleen betrekking op het risico voor inundatie van de duinvallei tussen de eerste en tweede duinregel, waar verschillende recreatiewoningen zijn gelegen. Duinvakken 6 en 7 zijn het meest relevant voor het overstromingsrisico van de dijkkring. De relatief grote faalkans voor dit deel van de dijkkring was verwacht op basis van afslagberekeningen in [ref 35] en [ref 36]. Falen van de primaire waterkering leidt tot inundatie van het gebied tussen de eerste duinregel en het huidige tracé.

#### 3.6.4 Faalkansen kunstwerken

De resultaten van de faalkansberekeningen voor de kunstwerken zijn weergegeven in Tabel 22. 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 naam	Faalkans (per jaar)				
	overslag/ overloop	Betrouwbaar- heid sluiting	onder- en achterloops- heid	sterkte en stabiliteit	Gecom- bineerd
Duiker Schiermonnikoog (dkr1, Schiermonnikoog)		1/720			1/720
Duiker Nieuwe Sluis (dkr 3, Terschelling)		1/36.000			1/36.000
Duiker Liessluis (dkr 3, Terschelling)		1/15.000			1/15.000
Coupure Dorpsstraat (dkr4, Vlieland)		1/86.000		<1/1.000.000	1/86.000

Tabel 22: Berekende faalkansen voor de kunstwerken.

Voor de kunstwerken op Ameland is een faalkansanalyse opgesteld [ref 2]. Deze is niet meegenomen in de bepaling van de overstromingskans, omdat de faalkans na afronding van de lopende versterking niet meer juist is. De berekende faalkans is eveneens niet in het overstromingsrisico meegenomen.

De grootste faalkans wordt door het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting* veroorzaakt bij de duiker op Schiermonnikoog (dijkring 1). Deze relatief grote faalkans komt niet overeen met het beeld uit de toetsing. In de toetsing is de eenvoudige beoordeling gehanteerd, waaruit blijkt dat voldaan wordt aan de eisen en de score "goed" is toegekend. Uit de huidige analyse is echter gebleken dat het kunstwerk, in geval de terugslagklep niet sluit, onder dagelijkse omstandigheden kan falen. Dit veroorzaakt een relatief grote faalkans. De noodsluif sluit pas bij een relatief hoog peil. In geval de terugslagklep niet sluit, stroomt het water met zodanig grote kracht door de duiker dat de bodembescherming achter de duiker door het snel stromende water wordt beschadigd of weggeslagen. Hierdoor kan de duiker als geheel bezwijken.

In een aanvullende gevoeligheidsanalyse is bekeken hoe de *betrouwbaarheid sluiting* van het kunstwerk vergroot kan worden. Door het sluitpeil van de noodsluif te verlagen (naar circa NAP+1,50 m, maar vraagt intensieve bediening) en/of de noodsluif op basis van gemeten buitenwaterstanden automatisch te laten sluiten is het mogelijk om te voldoen aan de faalkanseis uit Leidraad Kunstwerken ( $=0,1 \times \text{norm} = 5 \times 10^{-5}$ ). Een andere mogelijkheid om te voldoen aan de faalkanseis uit de Leidraad Kunstwerken 2003 is het doorstroomoppervlak middels de noodsluif permanent voor meer dan de helft te knijpen.

De kunstwerken op Terschelling zijn twee bijna identieke kunstwerken. Naast het verschil in ligging (en daardoor een koppeling aan een ander Hydraulisch randvoovoordenpunt) is er een verschil in afmetingen. De doorstroomopening en de stroomvoerende breedte van de Liessluis zijn groter (3,785 m<sup>2</sup> respectievelijk 5,66 m) dan die van de Nieuwe Sluis (2,63 m<sup>2</sup> respectievelijk 4,40 m)



---

## 4 De gevolgen van overstromingen per ringdeel

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de gevolgen van een overstroming voor de Friese Waddeneilanden (dijkkringgebied 1 t/m 4). In paragraaf 4.1 zijn de aanpak en uitgangspunten opgenomen die bij de overstromingssimulaties en de berekeningen van de schade en de aantallen slachtoffers zijn gehanteerd. In paragraaf 4.2 is per ringdeel een overzicht opgenomen van de overstromingspatronen met de maximale waterdiepten die optreden en de daarbij behorende gevolgen bij verschillende buitenwaterstanden en het maximaal scenario. In paragraaf 4.3 zijn de gevolgen in een samenvattende tabel en grafiek opgenomen.

### 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 en personen. In VNK2 wordt de wijze waarop het dijkkringgebied overstroomd, berekend door middel van overstromingssimulaties. Deze simulaties zijn voor de Friese Waddeneilanden uitgevoerd met SOBEK (versie 2.11.001 en versie 2.13.002). Met behulp van de overstromingskenmerken (waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid) uit de overstromingssimulaties worden de schade en slachtofferaantallen berekend met behulp van HIS-SSM v2.5 [ref 9].

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 overstromingsberekeningen gemaakt voor een aantal belastingcombinaties.

Voor de Friese Waddeneilanden zijn dit voor een doorbraak vanuit de Waddenzee de belastingcombinaties toetspeil (tp), toetspeil minus één decimeringshoogte (tp-1d), toetspeil plus één decimeringshoogte (tp+1d) en toetspeil plus twee decimeringshoogten (tp+2d). Toetspeil is gelijk aan de waterstand behorende bij de normfrequentie. De decimeringshoogte is gelijk aan het verschil tussen het Toetspeil en de waterstand met een tienmaal lagere overschrijdingsfrequentie dan die bij Toetspeil [ref 23].

Dit betekent dat buitenwaterstanden met de volgende overschrijdingskansen worden beschouwd:

- 1/200 per jaar – toetspeil minus 1 decimeringshoogte (tp -1d)
- 1/2.000 per jaar – toetspeil (tp)
- 1/20.000 per jaar – toetspeil plus 1 decimeringshoogte (tp +1d)
- 1/200.000 per jaar – toetspeil plus 2 decimeringshoogten (tp +2d)

Voor een doorbraak vanuit de Noordzee is een situatie beschouwd van rekenpeil plus 2 decimeringshoogten (rp+2d). Het rekenpeil wordt gebruikt voor de toetsing van de duinen en is de waterstand, die wordt gevonden door bij het toetspeil tweederde van de decimeringshoogte op te tellen. Dit is geen extra veiligheidsmarge, maar een rekenwaarde die onderdeel is van de voor de beoordeling van de veiligheid van duinen afgeleide procedure [ref 23][ref 12].

De verwachting is dat een doorbraak vanuit de duinen aan de Noordzee een kleine kans heeft en daarmee een inschatting van de gevolgen voor de situatie rp+2d passend is.

---

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 HISSSM versie 2.5. Uit vergelijking met bevolkingsgegevens van het CBS uit het jaar 2010 blijkt dat er in de dijkkringgebieden Schiermonnikoog, Ameland en Vlieland een bevolkingsafname van respectievelijk 10%, 3% en 1% is (op Schiermonnikoog en Ameland zijn dit circa 100 inwoners en op Vlieland circa 5 inwoners). Op Terschelling is er een bevolkingstoename van 16%. Dit zijn circa 350 inwoners. De bevolkingsafname en bevolkingsgroei hebben naar verwachting een beperkt effect op het berekende aantal slachtoffers.

In de berekening van het aantal slachtoffers is geen rekening gehouden met toeristen. Als rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van toeristen zal het potentieel aantal getroffen en daarmee het aantal slachtoffers groter zijn. Als er bijvoorbeeld van wordt uitgegaan dat er door de aanwezigheid van toeristen gemiddeld twee keer zoveel mensen in het dijkkringgebied zijn ten opzichte van het aantal inwoners, zal het verwacht aantal slachtoffers ook twee keer zo groot zijn, als berekend door HIS-SSM. Dit is een bovengrens benadering aangezien de toeristen niet het gehele jaar aanwezig zijn.

#### 4.1.2 Ringdelen

Een ringdeel omvat een gedeelte van de dijkkring waarvoor geldt dat het overstromd gebied en de schade en aantal slachtoffers vrijwel onafhankelijk zijn van de exacte doorbraaklocatie binnen dat ringdeel. De ringdelen vormen de basis voor de beschrijving van de overstromingsscenario's. Voor dijkkring 1 t/m 4 zijn de ringdelen gedefinieerd, zoals weergegeven in Figuur 28.

- In dijkkringgebied 1 (Schiermonnikoog) zijn 2 ringdelen gedefinieerd: één door de dijken van de Waddenzee en het duinvak ten zuidwesten van de Westerplas (ringdeel 1) en één aan de duinen van de Noordzee (ringdeel 2). Van deze ringdelen zijn alleen bij ringdeel 1 overstromingsberekeningen gemaakt. Daarom is in Figuur 28 ook maar 1 breslocatie opgenomen.
- In dijkkringgebied 2 (Ameland) zijn 5 ringdelen gedefinieerd: twee grenzen aan de Waddenzee en drie aan de Noordzee. Ringdeel 1 is het oostelijk deel van het eiland met dijken aan de Waddenzee tot de verbindingsweg. Ringdeel 2 is het westelijk deel van het eiland tot het duingebied grenzend aan de Noordzee en ringdeel 3 het oostelijk deel en ringdeel 4 het westelijk deel van het eiland grenzend aan de Noordzee. Ringdeel 5 is het duingebied, grenzend aan de kwelder de Zoute Weide aan de Waddenzee.
- In dijkkringgebied 3 (Terschelling) zijn 2 ringdelen gedefinieerd: één aan de Waddenzee en één door de duinen aan de Noordzee.
- In dijkkringgebied 4 (Vlieland) zijn 2 ringdelen gedefinieerd: één door de dijken van de Waddenzee en één door de duinen aan de Noordzee. De verwachting is dat bij het falen van de duinen tot aan het dijkkringgebied de gevolgen van een overstroming gelijk zullen zijn aan de gevolgen van een overstroming vanuit de Waddenzee. Dit vanwege de kleine omvang van het dijkkringgebied. In feite betekent dit dat er 1 ringdeel is bij Vlieland.

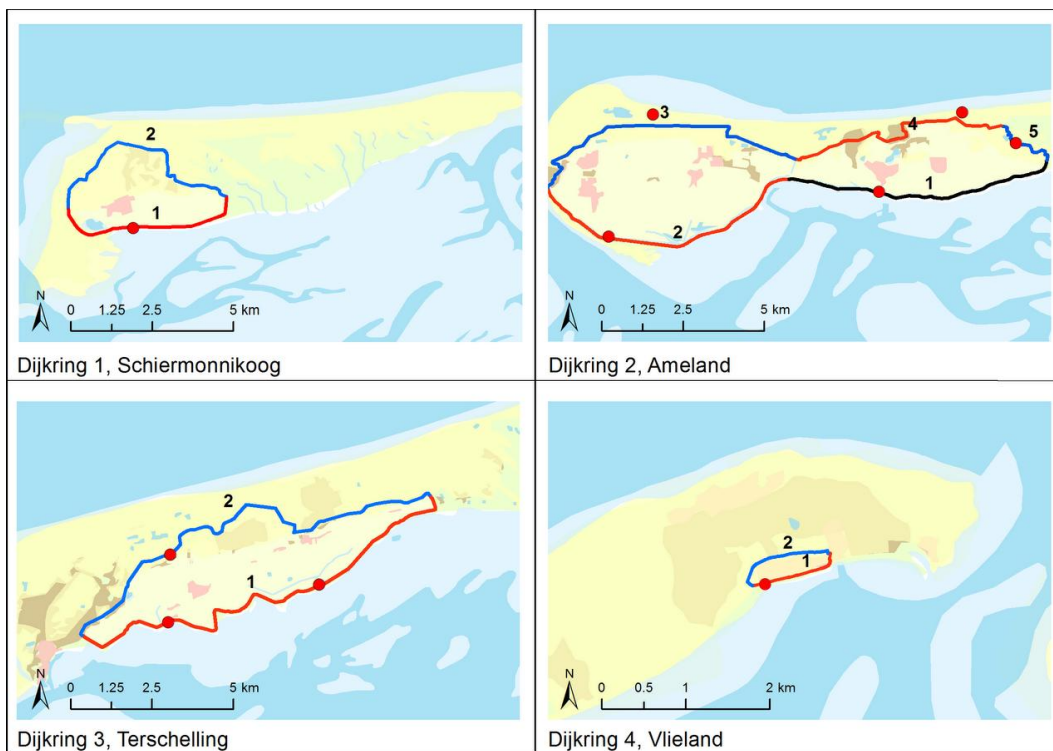
In paragraaf 0 is per dijk- en duinvak aangegeven tot welk ringdeel het betreffende vak behoort. De kunstwerken behoren tot ringdeel 1 van de betreffende dijkkringen. ('Duiker Skutehôn' (dijkkring 2) is daarop feitelijk een uitzondering want die behoort tot ringdeel 2, maar de kunstwerken op dijkkring 2 worden vanaf 2014 versterkt en zijn niet in de overstromingskans meegenomen)

In Figuur 28 is de ligging van de dijkkringgebieden weergegeven volgens de huidige primaire waterkering. Voor dijkkringgebied 3 (Terschelling) en dijkkringgebied 4

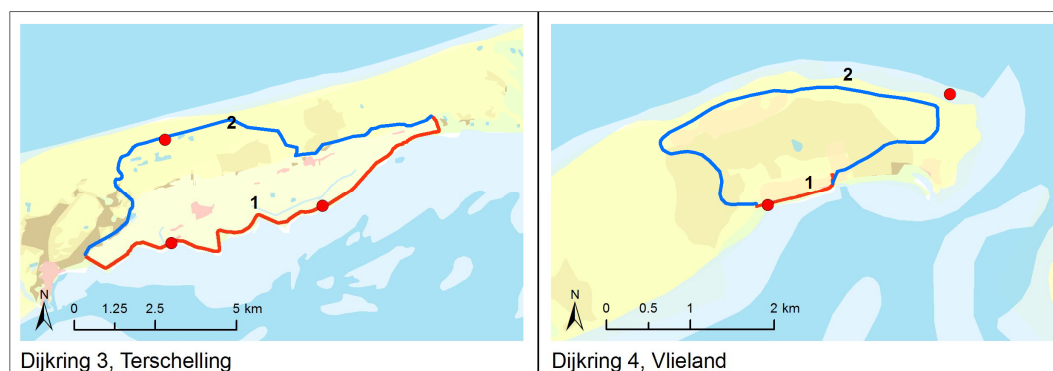




*Figuur 29* de voorgestelde ligging de primaire waterkering voor Terschelling en Vlieland. De ringdeelindeling voor beide dijkringen, blijft ongewijzigd: er ligt één ringdeel aan de Waddenzee en één door de duinen aan de Noordzee. In de overstromingsberekeningen zijn voor deze dijkringen ook overstromingsberekeningen gemaakt waarbij is uitgegaan van deze voorgestelde ligging van de primaire waterkering (zie paragraaf 4.2.3 en paragraaf 4.2.4). Hierbij ontstaat er een bres door alleen de eerste duinenrij.



*Figuur 28:* Ringdelen met bijbehorende breslocaties (rode stippen) voor dijkring 1, Schiermonnikoog; 2, Ameland; 3, Terschelling; en 4 Vlieland.



*Figuur 29:* Ringdelen met bijbehorende breslocaties (rode stippen) van de voorgestelde ligging van de primaire waterkering dijkring 3, Terschelling en 4 Vlieland.

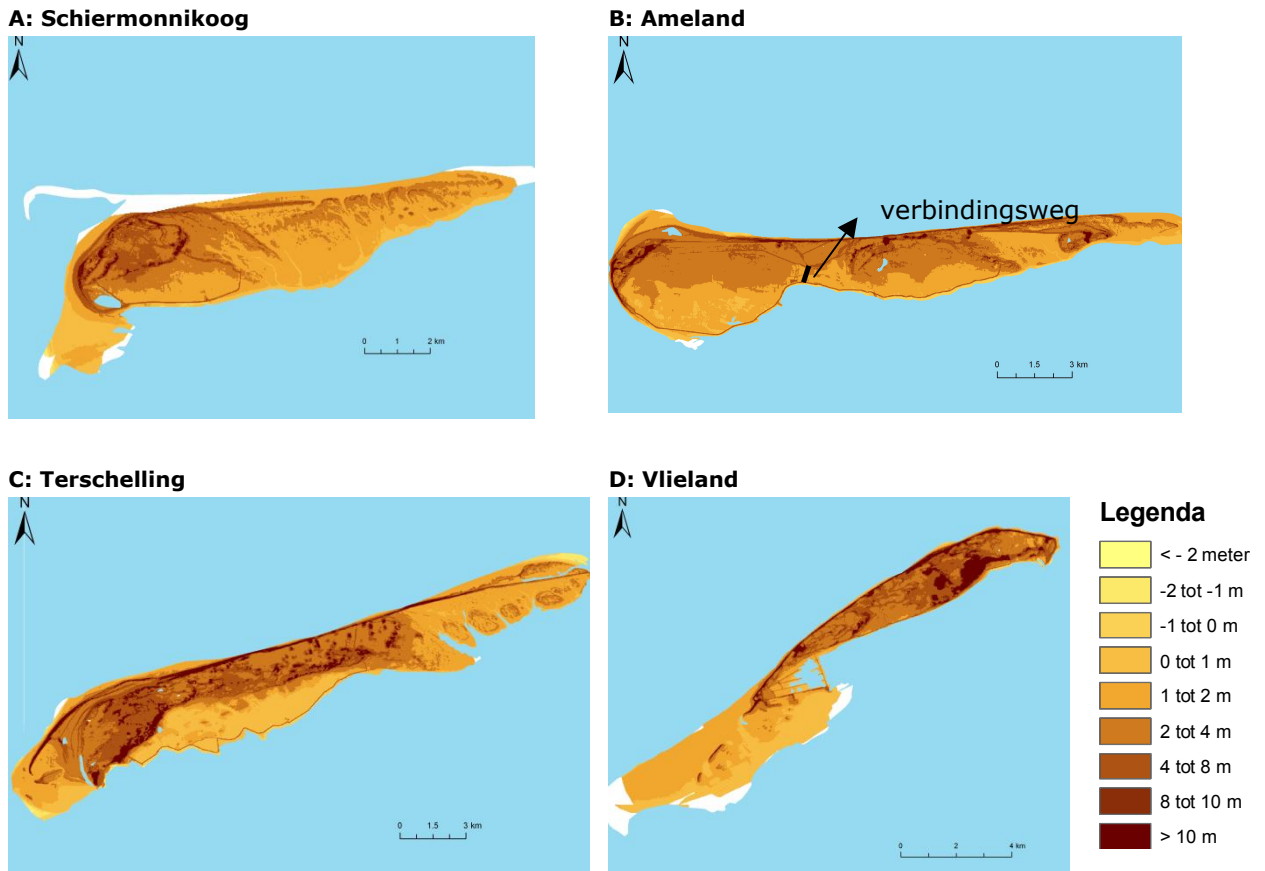
### 4.1.3

#### Hoogteligging

De Friese Waddeneilanden grenzen aan de noordzijde aan de Noordzee en aan de zuidzijde aan de Waddenzee.

Figuur 30 geeft de bodemhoogtegrids van de Friese Waddeneilanden die zijn opgenomen in de modellen. De duingebieden zijn duidelijk te herkennen als hoger

gelegen delen op de eilanden. Bij de overstromingsberekeningen is er van uitgegaan dat regionale keringen en hoog gelegen lijnelementen standzeker zijn. Dit geldt met name voor de verbindingsweg op Ameland, zie Bijlage H.3 en beperkt op Terschelling.

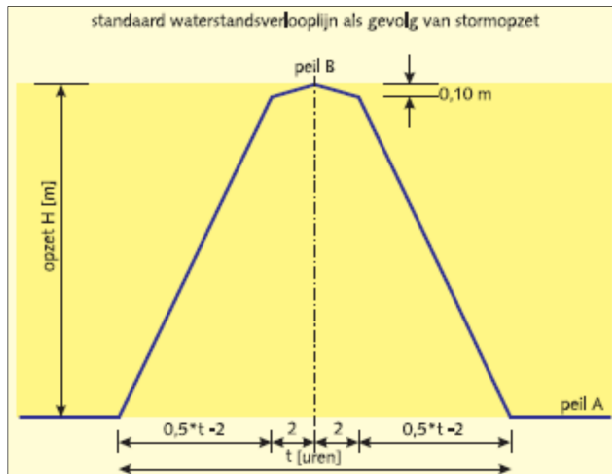


Figuur 30: Bodemhoogtes voor vier Waddeneilanden, zoals opgenomen in modelschematisatie.

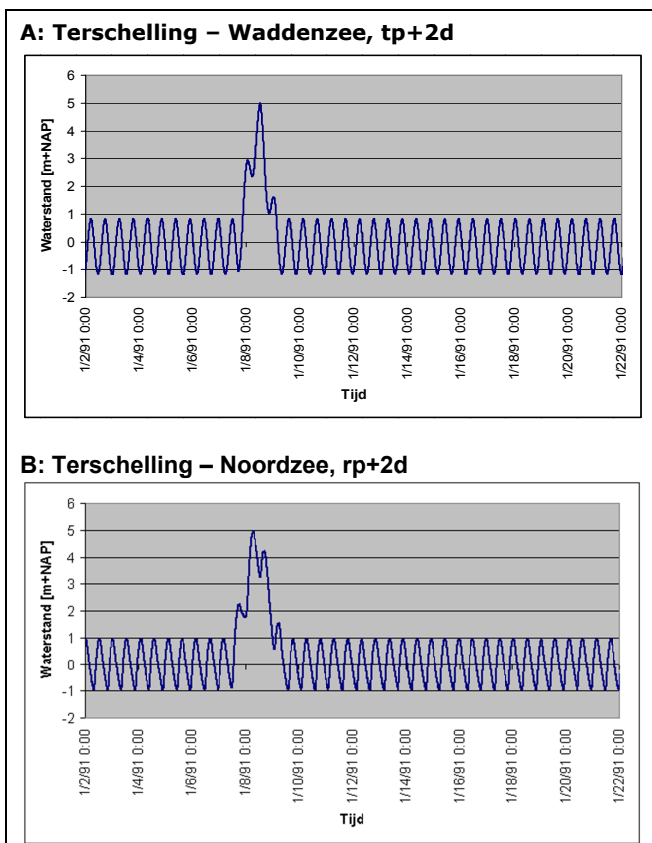
#### 4.1.4 Belastingssituatie en bresontwikkeling

De toegepaste waterstanden voor de overstromingsberekeningen zijn afgeleid uit [ref 21]. Hierin zijn voor dijken de toetspeil-waterstanden opgenomen en voor duinen de rekenpeil waterstanden.

Voor het Waddengebied wordt het verloop van de waterstand in de tijd aangenomen als aangegeven in Figuur 31 met een stormopzetduur van 45 uur. Voor de Noordzee is hiervoor 35 uur aangehouden [ref 28]. Voor peil A in Figuur 31 is een getij gebruikt op basis van de slotgemiddelden. De getijkromme van de betreffende locatie is gesuperponeerd, zodanig dat het tijdstip van de maximale waterstand 4,5 uur is verschoven ten opzichte van de top van de getijkromme. De maximale waterstand wordt hiermee gelijk aan de waterstand als afgeleid uit [ref 21]. Figuur 32 geeft het verloop van de buitenwaterstand van de Waddenzee en van de Noordzee grafisch weer.

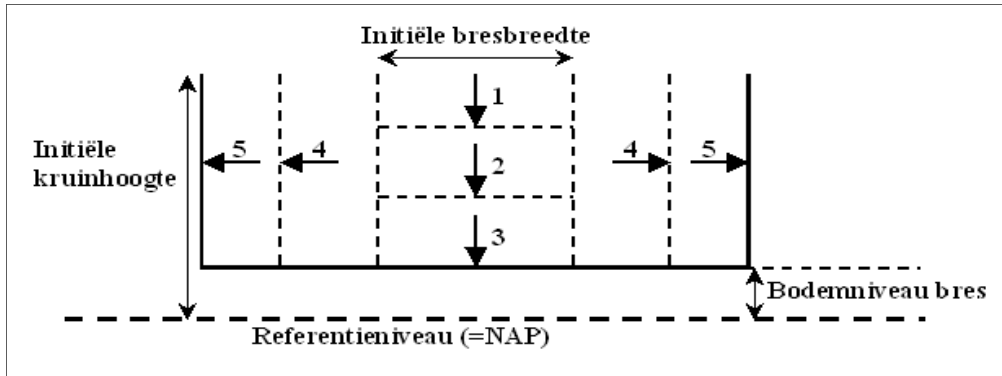


Figuur 31: Standaard waterstandsverlooplijn als gevolg van stormopzet [ref 28].



Figuur 32: Verloop buitenwaterstand bij de breslocatie per Waddeneiland.

Als uitgangspunt is in de VNK2-analyse aangenomen dat de bres ontstaat op het moment dat de maximale waterstand optreedt. Een bres ontwikkelt zich in 10 minuten tot op niveau van maaiveld (stap 1, 2 en 3 in Figuur 33) en groeit vervolgens in de breedte, volgens de formule van Verheij en van der Knaap [ref 29]. Hierbij is uitgegaan van een initiële bresbreedte van 10 m en een coëfficiënt voor kritieke stroomsnelheid van 0,2 m/s bij dijken en 0,1 m/s bij duinen.



Figuur 33: Schematisch overzicht van de verschillende stappen van automatische bresgroei.

#### 4.1.5 Evacuatie

Voor het bepalen van het aantal slachtoffers als gevolg van een overstroming zijn de mogelijkheden voor (preventieve) evacuatie van groot belang<sup>8</sup>. Immers, indien een gebied is geëvacueerd voordat een overstroming optreedt, hoeven er geen slachtoffers te vallen. 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) [ref 7].

In VNK2 wordt rekening gehouden met preventieve evacuatie door het aantal slachtoffers te berekenen voor vier evacuatie-deelscenario's [ref 8]. Elk deelscenario bevat een mogelijke uitkomst van een evacuatie (waaronder de mogelijkheid dat een evacuatie niet heeft plaatsgevonden). De definitie van de deelscenario's berust op de volgende twee aspecten:

1. De voorspellingsduur.
2. Het al dan niet georganiseerd verlopen van de evacuatie.

Elke combinatie van deze aspecten heeft een eigen conditionele kans<sup>9</sup> en een eigen uitkomst. In het kader van het project Waterveiligheid 21ste eeuw (WV21) is een studie gedaan waarin conditionele kansen en evacuatiefracties zijn bepaald [ref 7]. De aanpak en getalswaarden die in het project VNK2 worden gehanteerd sluiten aan bij de resultaten van deze studie. Hierbij wordt er bij de Waddeneilanden vanuit gegaan dat er evacuatie plaatsvindt naar een veilige beschutte plek op het eiland. Evacuatie naar het vaste land is geen optie, aangezien de boot naar verwachting niet zal varen. In Tabel 23 is een overzicht gegeven van de evacuatie-deelscenario's met de bijbehorende ingeschatte kansen van voorkomen voor dijkkringgebied 1 tot en met 4. 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 23 kan worden afgeleid dat de verwachtingswaarde voor evacuatie 0,65 per overstroming is. Dat betekent dat bij een overstroming gemiddeld 65% van de bevolking preventief is geëvacueerd. Er is veel discussie over de te hanteren evacuatiefracties voor de Waddeneilanden. In het Deltadeelprogramma Veiligheid wordt een gemiddelde evacuatiefractie van 50% gehanteerd (april 2014).

<sup>8</sup> 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.

<sup>9</sup> De kansen zijn conditioneel: het zijn kansen *gegeven* het optreden van een overstroming.

Evacuatie-deelscenario		Evacuatiefractie (-)	Conditionele kans (-)
Overstroming kort van tevoren verwacht of onverwacht	1. Geen evacuatie	0,00	0,25
	2. Ongeorganiseerde evacuatie	0,80	0,40
Overstroming ruim van tevoren verwacht	3. Ongeorganiseerde evacuatie	0,80	0,10
	4. Georganiseerde evacuatie	1,00	0,25

Tabel 23: Evacuatiefracties en conditionele kans voor vier verschillende evacuatie-deelscenario's – Waddengebied.

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.

Zoals in paragraaf 4.1.1 al vermeld is in de berekening van het aantal slachtoffers in HIS-SSM geen rekening gehouden met toeristen.

## 4.2 Resultaten overstromingsberekeningen per ringdeel

De volgende subparagrafen beschrijven per ringdeel de overstromingsverlopen en de gevolgen van de overstromingen. 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. De verwachte schade is steeds afgerond op vijf miljoen euro en het verwachte aantal slachtoffers op vijf personen. Voor elke overstromingsberekening wordt een range in slachtofferaantallen genoemd. Dit is het effect van de doorgerekende evacuatie-deelscenario's. Het minimum van de range is het verwachte slachtofferaantal bij een optimaal georganiseerde evacuatie (evacuatie-deelscenario 4). Het maximum van de range is het verwachte slachtofferaantal wanneer geen evacuatie plaatsvindt (evacuatie-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 Dijkkringgebied 1: Schiermonnikoog

Bij een doorbraak bij de Jachthaven (Figuur 34), overstroomt op het duingebied na, nagenoeg het hele dijkkringgebied. Bij de verschillende buitenwatersituaties is het overstroomd gebied vergelijkbaar van omvang maar de waterdiepte wordt wel groter bij een kleinere overschrijdingsfrequentie. Wat ook opvalt is dat bij de tp+2d situatie het water over het dijkje naast de Westerplas loopt en de Westerplas overstroomt. In de tp situatie is de waterdiepte in de lage delen tot 2,5 meter diep. In de situatie tp+2d is de schade een factor 2 keer toegenomen ten opzichte van de situatie tp-1d.

Voor ringdeel 2 in Schiermonnikoog (Figuur 35) is een inschatting van de waterdiepte in het gebied gedaan voor een maximale buitenwaterstand van zowel tp+2d als rp+2d. In de situatie van tp+2d is de schade 0,6 miljoen euro; in de situatie rp+2d is deze 1,2 miljoen euro. Er zit dus weliswaar een factor 2 in schadeverschil in, maar beide zijn kleiner dan 5 miljoen euro.

Het maximaal scenario (Figuur 36) is voor dijkkringgebied 1 een samengesteld scenario van ringdeel 1 en 2. Aangezien de gevolgen van een doorbraak in ringdeel 2 klein zijn ten opzichte van de gevolgen van een doorbraak bij ringdeel 1, zijn de gevolgen in het maximaal scenario nagenoeg gelijk aan de gevolgen van een doorbraak bij ringdeel 1 in de situatie tp+2d.

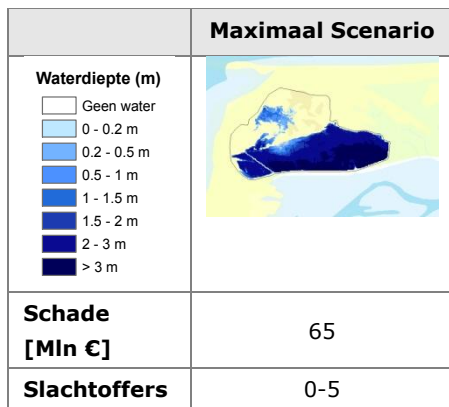
Als rekening gehouden wordt met een dubbel aantal getroffen en door de aanwezigheid van toeristen veranderd de range in slachtoffers alleen bij de tp+2d situatie bij een doorbraak bij de Jachthaven en het maximaal scenario van 0 – 5 naar 0 – 10 slachtoffers. Bij de overige situaties blijft de range 0 – 5 slachtoffers.

	tp-1d	tp	tp+1d	tp+2d
<b>Waterdiepte (m)</b>				
<b>Schade [Mln €]</b>	20	35	50	65
<b>Slachtoffers</b>	0-5	0-5	0-5	0-5

Figuur 34: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij de Jachthaven (ringdeel 1) voor vier buitenwaterstanden, dijkkringgebied 1.

	tp+2d	rp+2d
<b>Waterdiepte (m)</b>		
<b>Schade [Mln €]</b>	< 5	< 5
<b>Slachtoffers</b>	0-5	0-5

Figuur 35: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak vanuit de Noordzee voor twee buitenwaterstanden, dijkkringgebied 1.



Figuur 36: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij het maximale scenario, dijkkringgebied 1.

#### 4.2.2 Dijkkringgebied 2: Ameland

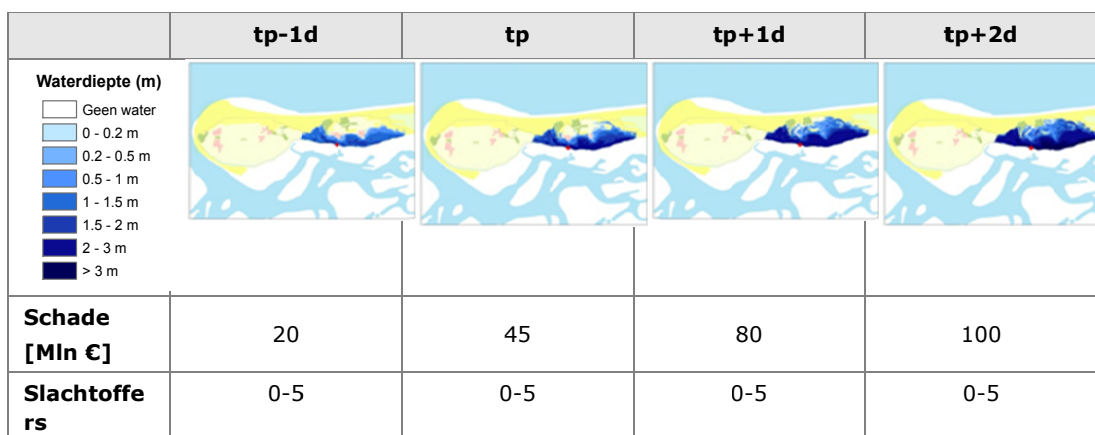
Bij een doorbraak vanuit Nes (Figuur 37) neemt het overstroomd oppervlak toe bij toenemende hydraulische belasting. Er stroomt geen water over de verbindingsweg naar het westelijk deel van het eiland. De verbindingsweg is hoog gelegen en als standzeker verondersteld. Daar waar het water bij tp-1d en tp nog een groot deel van het bebouwde gebied van Nes en Buren niet bereikt, is dit wel het geval voor de bovenmaatgevende scenario's tp+1d en tp+2d en komt het water tot aan de duinen te staan. Het in toenemende mate overstromen van stedelijk gebied verklaart de toename in schade bij de situatie tp en tp+1d. In de situatie tp is de waterdiepte in de lage delen iets dieper dan 2 meter. In het stedelijk gebied is dit ruim 0,5 m. In de situatie tp+1d is dit iets meer dan 2,5 meter diep in de lage delen. In het stedelijk gebied kan dit lokaal 1 m zijn. Met het in grotere mate doen overstromen van het stedelijk gebied nemen de slachtoffers wel toe, maar blijven wel binnen dezelfde range. Als rekening gehouden wordt met een dubbel aantal getroffen door de aanwezigheid van toeristen verandert de range in slachtoffers bij de tp+1d situatie naar 0 – 10 en in de tp+2d situatie naar 0 – 15.

Bij een doorbraak vanuit Hollum (Figuur 38) neemt het overstroomd oppervlak toe bij toenemende hydraulische belasting. Er stroomt geen water over de verbindingsweg naar het westelijk deel van het eiland. De verbindingsweg is hoog gelegen en als standzeker verondersteld. Daar waar het water bij tp-1d en tp nog een groot deel van het bebouwde gebied van Hollum en Bal niet bereikt, is dit wel het geval voor de bovenmaatgevende scenario's tp+1d en tp+2d en komt het water tot aan de duinen te staan. Het in toenemende mate overstromen van stedelijk gebied verklaart de toename in schade bij de situatie tp en tp+1d. In de tp situatie is de waterdiepte in de lage delen tot 2 meter diep. In het stedelijk gebied is dit ruim 0,5 m. In de situatie tp+1d is dit iets meer dan 2,5 meter diep in de lage delen en kan dit in het stedelijk gebied lokaal 1 m zijn. Als rekening gehouden wordt met een dubbel aantal getroffen door de aanwezigheid van toeristen verandert de range in slachtoffers bij de tp+1d situatie en in de tp+2d situatie naar 0 – 10.

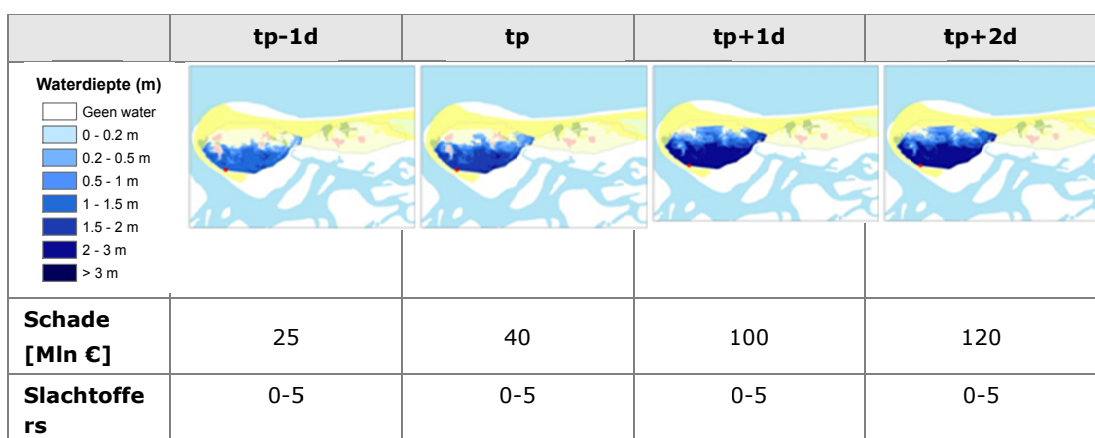
Bij een doorbraaklocatie vanuit de Noordzee in het westelijk en oostelijk deel van het eiland overstroomt er nagenoeg geen stedelijk gebied (Figuur 39). Beide doorbraken vanuit de Noordzee geven een vergelijkbaar beeld op het gebied van schade en slachtoffers. In vergelijking bij een doorbraak vanuit de Waddenzee bij de situatie tp+2d is de schade een factor 10 kleiner.

Bij een doorbraak in ringdeel 5 ontstaat er een bres in de Kooiduinen vanuit de kwelder De Zoute Weide (Figuur 40). De kwelder De Zoute Weide ligt aan de Waddenzee. In de overstromingsberekening is daarom een buitenwatersituatie gehanteerd van de Waddenzee, maar ontstaat er een bres in de duinen. Bij een doorbraak vanuit de kwelder overstroomt een zelfde gebied als bij een doorbraak vanuit Nes, maar zijn in de situatie tp-1d, tp en tp+1d de schade en slachtofferaantallen kleiner. Bij een doorbraak vanuit de kwelder is de bresbreedte weliswaar groter dan bij een doorbraak vanuit Nes, maar door de hoge maaiveldligging bij de bres vanuit de kwelder (circa 2,5 m+NAP) is de periode van instroom van water kort. Opvallend is dat in de situatie tp+2d de gevolgen vergelijkbaar (zelfs iets groter) zijn dan bij een doorbraak vanuit Nes in de situatie tp+2d. In deze situatie is de periode van instroom toegenomen, en stroomt er door de bredere bresbreedte een vergelijkbare hoeveelheid water het dijkkringgebied in.

Het maximaal scenario (Figuur 41) is voor dijkkringgebied 2 een samengesteld scenario van alle ringdelen. Voor het maximaal scenario bedraagt de economische schade 230 miljoen euro en vallen er 15 slachtoffers. Dit is nagenoeg gelijk aan de som van de gevolgen van een doorbraak vanuit de Waddenzee bij Nes en Hollum in de situatie t+2d.


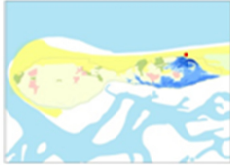


Figuur 37: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Nes (ringdeel 1) voor vier buitenwaterstanden, dijkkringgebied 2.



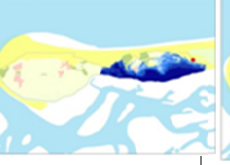
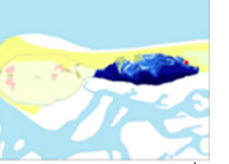


Figuur 38: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Hollum (ringdeel 2) voor vier buitenwaterstanden, dijkkringgebied 2.




	Ringdeel 3		Ringdeel 4	
	rp+2d		rp+2d	
<b>Waterdiepte (m)</b>				
<b>Schade [Mln €]</b>	10		10	
<b>Slachtoffers</b>	0-5		0-5	

Figuur 39: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak vanuit de Noordzee in ringdeel 3 en 4 voor één buitenwaterstand, dijkringgebied 2.

	tp-1d	tp	tp+1d	tp+2d
<b>Waterdiepte (m)</b>				
<b>Schade [Mln €]</b>	10	25	60	105
<b>Slachtoffers</b>	0-5	0-5	0-5	0-5

Figuur 40: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak vanuit de kwelder (ringdeel 5) voor vier buitenwaterstanden, dijkringgebied 2.

	Maximaal Scenario
<b>Waterdiepte (m)</b>	
<b>Schade [Mln €]</b>	230
<b>Slachtoffers</b>	0-15

Figuur 41: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij het maximale scenario, dijkringgebied 2.

#### 4.2.3

##### Dijkringgebied 3: Terschelling

Bij een doorbraak bij Kinnum (Figuur 42) is het overstromd oppervlak bij de verschillende buitenwatersituaties vergelijkbaar van omvang. Ook in de situatie van tp-1d overstromen er delen van het stedelijk gebied op Terschelling. Bij een

toenemende hydraulische belasting neemt de waterdiepte in het overstromd gebied toe. In de situatie tp is de waterdiepte in de lage delen tot 2,5 m diep. In de situatie tp+1d is dit tot 3 m diep.

Voor dijkkring 3, Terschelling is van de standaard VNK2-aanpak afgeweken om één bres per ringdeel aan te houden. In overleg met de provincie is voor Terschelling dezelfde systematiek aangehouden als dijkkring 6. Daar is eveneens is afgeweken indien er relatief lange ringdelen zijn met een vlak niet gecompartmenteerd achterland waardoor de gevolgen met één bres mogelijk onderschat zouden worden.

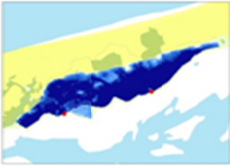
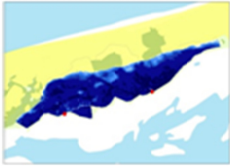
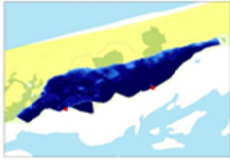
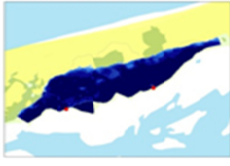
Bij een doorbraak met meervoudige bressen (waaronder Kinnum) in ringdeel 1 overstromt het gehele dijkkringgebied (Figuur 43). Er is nagenoeg geen verschil in overstromd oppervlak bij de verschillende hydraulische belastingsituaties. De toename in schade ten opzichte van één breslocatie bij Kinnum is een factor 1,5 – 2. Voor het aantal slachtoffers is dit een factor 3 – 4. Dat de slachtoffers sterker toenemen dan de schade wordt verklaard doordat er bij het ontstaan van 2 bressen grotere stijgsnelheden ontstaan ten opzichte van de situatie met 1 bres. Deze grote stijgsnelheden zijn er in het hele dijkkringgebied, niet alleen in de nabijheid van de bressen.

Een bres in de eerste duinenrij (voorgestelde ligging primaire waterkering) geeft nauwelijks schade (0,01 miljoen euro) en geen slachtoffers (Figuur 44). Het water blijft in de duinpan staan en bereikt het huidige dijkkringgebied niet. Bij een bres door de tweede duinenrij overstromt vrijwel het gehele dijkkringgebied. Qua omvang en schade en aantal slachtoffers is dit scenario vergelijkbaar met een doorbraak vanuit Kinnum bij toetspeil. De gevolgen van een doorbraak vanuit de Noordzee zijn bij vergelijkbare buitenwatersituaties kleiner dan bij een doorbraak vanuit de Waddenzee omdat de maaiveldhoogte bij de bres hoger is en de duur van de storm op de Noordzee korter. Hierdoor stroomt er minder water het gebied in dan bij een doorbraak vanuit de Waddenzee bij een vergelijkbare buitenwaterstand.


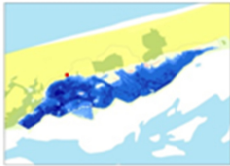
Het maximaal scenario (Figuur 45) is voor dijkkringgebied 3 een samengesteld scenario van alle ringdelen. Voor het maximaal scenario bedraagt de economische schade 180 miljoen euro en vallen er maximaal 50 slachtoffers. De schade in het maximaal scenario is gelijk aan de schade bij de tp+2d situatie met 2 doorbraken vanuit de Waddenzee. Er is wel een toename in slachtoffers in het maximaal scenario ten opzichte van die situatie. Dit komt doordat in het maximaal scenario de grotere stijgsnelheden bij een doorbraak vanuit de Noordzee worden gecombineerd met diepe waterdiepten doordat er ook een bres ontstaat vanuit de Waddenzee.

	tp-1d	tp	tp+1d	tp+2d
<b>Waterdiepte (m)</b>				
<b>Schade [Mln €]</b>	60	80	130	140
<b>Slachtoffers</b>	0-5	0-5	0-10	0-10


Figuur 42: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Kinnum (ringdeel 1) voor vier buitenwaterstanden, dijkkringgebied 3.

	tp-1d	tp	tp+1d	tp+2d
<b>Waterdiepte (m)</b> 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				
<b>Schade [Mln €]</b>	115	140	160	180
<b>Slachtoffers</b>	0-5	0-10	0-20	0-40

Figuur 43: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een dubbele doorbraak in ringdeel 1 voor vier buitenwaterstanden, dijkkringgebied 3.

	Ringdeel 2 1 <sup>e</sup> duinenrij		Ringdeel 2 2 <sup>e</sup> duinenrij	
	rp+2d		rp+2d	
<b>Waterdiepte (m)</b> 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				
<b>Schade [Mln €]</b>	< 5		70	
<b>Slachtoffers</b>	0-5		0-5	

Figuur 44: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak vanuit de Noordzee voor de 1e en 2e duinenrij bij één buitenwaterstand, dijkkringgebied 3.

	Maximaal Scenario
<b>Waterdiepte (m)</b> 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	
<b>Schade [Mln €]</b>	180
<b>Slachtoffers</b>	0-50

Figuur 45: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij het maximale scenario, dijkkringgebied 3.

#### 4.2.4

##### *Dijkkringgebied 4: Vlieland*

Bij een doorbraak vanuit de Waddenzee is vanaf de situatie bij toetspeil dijkkringgebied 4 geheel overstromd. Bij een doorbraak van Vlieland (Figuur 46) is het overstromd oppervlak bij de verschillende buitenwatersituaties vergelijkbaar van omvang. Het gehele dijkkringgebied overstromt in nagenoeg alle situaties. Bij een toenemende hydraulische belasting neemt de waterdiepte in het overstromd gebied toe. In de situatie tp is de waterdiepte in de diepe delen tot 2 m diep. In de situatie tp+1d is dit meer dan 2,5 m. Opvallend is dat in de situatie tp+2d de gevolgen niet veel toenemen ten opzichte van de situatie tp+1d.

Voor de huidige dijkkringligging is er geen overstromingsberekening beschikbaar voor een doorbraak vanuit de Noordzee. Verwacht wordt dat het overstromingspatroon en gevolgen vergelijkbaar zullen zijn met een doorbraak vanuit de Waddenzee in de situatie tp+2d. Voor de situatie van de huidige dijkkringligging is het maximaal scenario dan ook het overstromingspatroon vanuit de Waddenzee in de situatie tp+2d.

Voor de voorgestelde ligging van de primaire waterkering is wel een overstromingsberekening beschikbaar met een doorbraak vanuit de Noordzee (Figuur 47). Hierin is het falen van de eerste duinenrij berekend bij een buitenwatersituatie van rp+2d. In deze situatie overstromt het huidige dijkkringgebied niet. Het noordelijk deel van de woonwijk ten noordoosten van het dijkkringgebied Vlieland overstromt. De waterdiepte in dit gebied is 0,5 – 1 m.

Voor de voorgestelde ligging van de primaire waterkering is het maximaal scenario (Figuur 48) een samengesteld scenario van een doorbraak vanuit de Waddenzee en de Noordzee door de eerste duinenrij. Voor het maximaal scenario bedraagt de economische schade 30 miljoen euro en vallen er maximaal vijf slachtoffers.

	tp-1d	tp	tp+1d	tp+2d
<b>Waterdiepte (m)</b>				
<b>Schade [Mln €]</b>	5	10	20	20
<b>Slachtoffers</b>	0-5	0-5	0-5	0-5

Figuur 46: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een dubbele doorbraak in ringdeel 1 voor vier buitenwaterstanden, dijkkringgebied 4.

	<b>Ringdeel 2 1<sup>e</sup> duinenrij</b>
	<b>rp+2d</b>
<b>Waterdiepte (m)</b>	
<b>Schade [Mln €]</b>	10
<b>Slachtoffers</b>	0-5

Figuur 47: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak vanuit de Noordzee voor de 1e duinenrij bij één buitenwaterstand, dijkringgebied 4.

	<b>Maximaal Scenario</b>
<b>Waterdiepte (m)</b>	
<b>Schade [Mln €]</b>	30
<b>Slachtoffers</b>	0-5

Figuur 48: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij het maximale scenario, dijkringgebied 4, voorgestelde ligging van de primaire waterkering van Vlieland. (door de schaal van het figuur is het detail/rekenraster van de berekening zichtbaar)

### 4.3 Overzicht resultaten overstromingsberekeningen

De resultaten van de overstromingsberekeningen per doorbraaklocatie zijn samengevat in Tabel 59 en Figuur 63 van Bijlage D.

Uit de resultaten van de overstromingsberekeningen kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- De gevolgen van een overstroming in Ameland en Terschelling zijn groter dan in Schiermonnikoog en Vlieland. Dit is te verklaren doordat Ameland en Terschelling grotere eilanden zijn dan Schiermonnikoog en Vlieland en er meer stedelijk gebied is op Ameland en Terschelling. De gevolgen bij een doorbraak op Vlieland zijn het kleinst. Dit is ook het kleinste dijkringgebied.
- De gevolgen van een doorbraak vanuit de Noordzee, bij een doorbraak vanuit de eerste duinenrij zijn kleiner in vergelijking met een doorbraak bij vergelijkbare buitenwatersituaties vanuit de Waddenzee. Bij een doorbraak vanuit de Noordzee vanaf de tweede duinenrij hoeft dit niet het geval te zijn.
- Op Ameland heeft de verbindingsweg een compartimenterende werking op het overstromingspatroon.

- 
- Op Terschelling is voor ringdeel 1 een situatie doorgerekend met 1 bres en 2 bressen. Bij 2 breslocaties in 1 ringdeel is er vooral een effect in slachtoffers ten opzichte van een enkele bres. Dit wordt verklaard door een grotere stijgsnelheid in geval van 2 bressen ten opzichte van 1 bres.

---

## 5 Overstromingsscenario's en scenariokansen

In dit hoofdstuk zijn de scenariokansen opgenomen, voor de verschillende overstromingsscenario's van dijkkring 1, 2, 3 en 4. 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 Aanpak bepaling scenariokansen

Een scenariokans is de kans op het optreden van een bepaald overstromingsscenario. 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 per dijkkring een set met scenario's samengesteld die representatief is voor alle mogelijke scenario's.

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

1. De onderverdeling van de dijkkring in ringdelen (zie hoofdstuk 4).
2. 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).
3. De afhankelijkheid tussen de betrouwbaarheden van de verschillende ringdelen: bij grotere afhankelijkheden neemt de kans op een meervoudige doorbraak toe.

### 5.2 Opstellen scenario's

De hydraulische belasting voor dijkringen 1, 2, 3 en 4 wordt bepaald door twee systemen, namelijk de Noordzee en de Waddenzee. Dit zijn grote waterlichamen waarbij verwacht mag worden dat een overstroming geen dusdanige waterstandsverlaging teweegbrengt dat er sprake is van significante ontlasting. De hydraulische belasting verandert niet als een ringdeel faalt. Voor de dijkringen 1, 2, 3 en 4 is daarom voor alle ringdelen uitgegaan van 'geen ontlasten'.

In Tabel 24 zijn het aantal ringdelen per dijkkring aangegeven en het maximaal aantal scenario's.

Dijkkring	Aantal ringdelen	Aantal mogelijke scenario's
Dijkkring 1, Schiermonnikoog	2	3
Dijkkring 2, Ameland	5	31
Dijkkring 3, Terschelling (huidige dijkkring)	2	3
Dijkkring 3, Terschelling (voorgestelde dijkkring)	2	3
Dijkkring 4, Vlieland (huidige dijkkring)	2	3
Dijkkring 4, Vlieland (voorgestelde dijkkring)	2	3

Tabel 24: Overstromingskans per dijkkring.

In paragraaf 0 is per dijk- en duinvak aangegeven in welk ringdeelnummer de betreffende vakken vallen. Hieruit is af te leiden dat niet voor alle ringdelen een faalkans is bepaald, omdat de verwachte faalkansbijdrage ten opzichte van de andere dijkvakken verwaarloosbaar is verondersteld. Op basis van de ringdelen met faalkansen is per dijkkring een set scenario's opgesteld die een bijdrage leveren aan de overstromingskans. In Tabel 25 zijn de scenario's gedefinieerd, waarbij bijvoorbeeld het scenario "01" overeenkomt met het falen van ringdeel 1 en scenario 0102 met het falen van ringdeel 1 én ringdeel 2.

Dijkkring	Scenario's	Opmerkingen
Dijkkring 1, Schiermonnikoog	01 02 0102	
Dijkkring 2, Ameland	01 02 0102	Ringdelen 3, 4 en 5 betreffen duinen met een verwaarloosbare faalkans op een doorbraak tot in het dijkkringgebied.
Dijkkring 3, Terschelling (huidige dijkkring)	01	Ringdeel 2 betreft duinen met een verwaarloosbare faalkans op een doorbraak tot in het dijkkringgebied.
Dijkkring 3, Terschelling (voorgestelde dijkkring)	01 02 0102	De ligging van ringdeel 2 (en de bijbehorende faalkansen) is verschillend ten opzichte van de huidige ligging.
Dijkkring 4, Vlieland (huidige dijkkring)	01	Ringdeel 2 betreft duinen met een verwaarloosbare faalkans op een doorbraak tot in het dijkkringgebied.
Dijkkring 4, Vlieland (voorgestelde dijkkring)	01 02 0102	De ligging van ringdeel 2 (en de bijbehorende faalkansen) is verschillend ten opzichte van de huidige ligging.

Tabel 25: Gedefinieerde scenario's.

### 5.3 Berekenen scenariokansen

De berekening van de scenariokansen is uitgevoerd met PC-Ring waarbij gebruik is gemaakt van alle faalkansresultaten per faalmechanisme, per vak en kunstwerk, per ringdeel en per combinatie van ringdelen.



## 5.4

### Scenariokansen

De kansen van de doorbraakscenario's zijn in Tabel 26 weergegeven.

Dijkkring	Scenario's	Scenariokansen [per jaar]	Kansbijdrage t.o.v. ringkans
Dijkkring 1, Schiermonnikoog	01	2.87E-03	100%
	02	1.27E-07	≈0%
	0102	6.76E-10	≈0%
Dijkkring 2, Ameland	01	4.63E-05	47%
	02	5.20E-05	53%
	0102	3.67E-09	≈0%
Dijkkring 3, Terschelling (huidige dijkkring)	01	4.78E-04	100%
Dijkkring 3, Terschelling (voorgestelde dijkkring)	01	4.78E-04	100%
	02	6.15E-14	≈0%
	0102	2.94E-17	≈0%
Dijkkring 4, Vlieland (huidige dijkkring)	01	1.12E-03	100%
Dijkkring 4, Vlieland (voorgestelde dijkkring)	01	1.12E-03	73%
	02	4.08E-04	27%
	0102	4.56E-07	≈0%

Tabel 26: Scenariokansen.



---

## 6 Overstromingsrisico

Het overstromingsrisico van de categorie a-kering is bepaald door de berekende kans op verschillende overstromingsscenario's te koppelen aan de gevolgen van deze scenario's. Daarbij is zowel gekeken naar economische schade als slachtoffers.

### 6.1 Aanpak berekening overstromingsrisico

Het overstromingsrisico is de combinatie van de kansen en gevolgen van overstromingen. De gevolgen worden uitgedrukt in schade en slachtoffers. Het slachtofferrisico wordt onder andere weergegeven als groepsrisico en als lokaal individueel risico. Hiertoe zijn de volgende stappen doorlopen:

- Stap 1: Samenstellen meervoudige doorbraken
- Stap 2: Keuze evacuatiefactoren en conditionele kansen
- Stap 3: Koppelen en berekenen gevolgen meervoudige doorbraken
- Stap 4: Berekenen van overstromingsrisico

#### *Stap 1: Samenstellen meervoudige doorbraken*

De provincie Friesland heeft voor VNK2 de overstromingsberekeningen laten uitvoeren [ref 10] waarmee de gevolgen zijn bepaald met behulp van HIS-SSM, zie hoofdstuk 4. Voor meervoudige doorbraken zijn geen aparte overstromingsberekeningen uitgevoerd. In het geval van meervoudige doorbraken zijn de overstromingspatronen bepaald op basis van de overstromingssimulaties van de enkelvoudige doorbraken.

#### *Stap 2: Keuze evacuatiefactoren en conditionele kansen voor meervoudige doorbraken*

Voor scenario's met meervoudige doorbraken zijn de evacuatiefactoren en conditionele kansen overgenomen van enkelvoudige doorbraken (zie hoofdstuk 4). De evacuatiefactoren en conditionele kansen voor zowel de Noordzee als de Waddenzee zijn gelijk zodat hier eveneens geen onderscheid in is gemaakt.

#### *Stap 3: Koppelen en berekenen gevolgen meervoudige doorbraken*

Standaard wordt in VNK2 de waarde van de belastingvariabelen in het ontwerp punt gebruikt om de koppeling te leggen tussen scenariokansen en gevolgen. Voor de dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4 blijkt dit geen werkbare aanpak te zijn in verband met onjuiste waarden in de ontwerp punten door PC-ring. Gekozen is om de overschrijdingskans van de waterstand van de overstromingssimulaties te gebruiken om een koppeling te maken met een scenario en de bijbehorende scenariokans. Steeds is de overstromingssimulatie geselecteerd die hoort bij de eerstvolgende, kleinere, overschrijdingskans van de waterstand. De faalkans is altijd kleiner dan de overschrijdingskans van de ontwerp puntwaarde van de buitenwaterstand. Dit houdt in dat deze wijze van koppelen meestal tot een conservatieve koppeling leidt, maar niet per definitie conservatiever is. 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 zijn gemaakt bij een overschrijdingskans van de waterstand die gelijk is aan het toetspeil ( $tp$ ) en toetspeil plus of min een decimeringshoogte ( $d$ ) en bij het toetspeil plus twee decimeringshoogten. Kortweg aangeduid zijn doorbraken bij de volgende waterstanden doorgerekend:  $tp-1d$ ,  $tp$ ,  $tp+1d$  en  $tp+2d$ . Aangevuld voor de duinen met rekenpeil + twee decimeringshoogte, zie hoofdstuk 4.

De schade en slachtoffers zijn na het koppelen van de enkelvoudige doorbraken, in combinatie met de evacuatiefactoren en conditionele kansen (zie hoofdstuk 4), met behulp van HIS-SSM bepaald. De resultaten uitgedrukt in schade en slachtoffers per evacuatiescenario en per overstromingscenario zijn opgenomen in het achtergrondrapport [ref 3].

*Stap 4: Berekenen van overstromingsrisico*

De berekening van het overstromingsrisico omvat de sommatie van de scenariokansen maal de bijbehorende gevolgen.

## 6.2 Overstromingsrisico

### 6.2.1 Economisch risico

De verwachtingswaarde van de economische schade per jaar is in Tabel 27 opgenomen (de verwachtingswaarde volgt uit de vermenigvuldiging van kansen en gevolgen). Tevens is Tabel 27 de minimale, het gemiddelde<sup>10</sup> en de maximale schade opgenomen als er een overstroming optreedt.

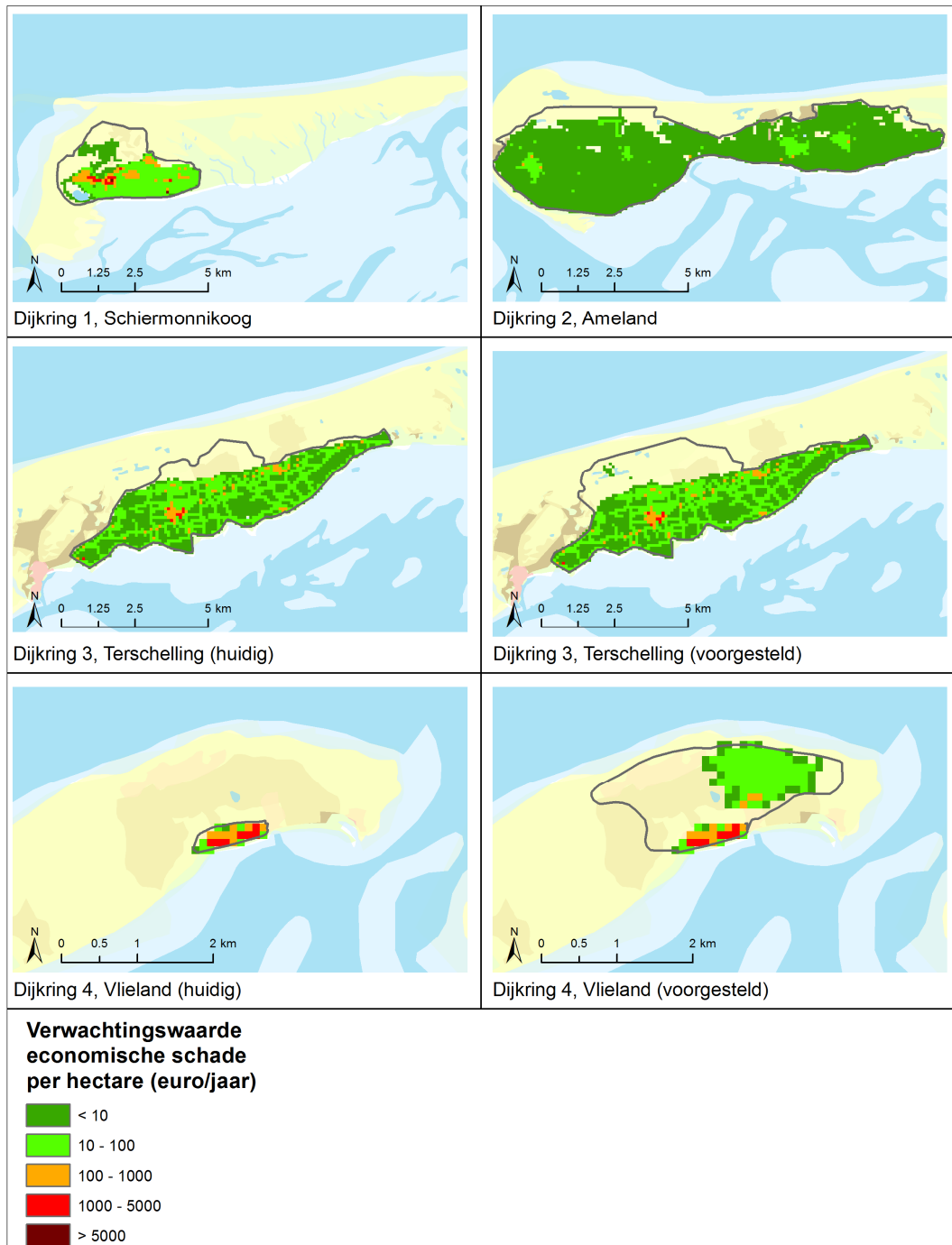
Dijkring	Verwachtingswaarde economische schade [M€ per jaar]	Minimale economische schade per overstroming [M€]	Gemiddelde economische schade per overstroming [M€]	Maximaal economische schade per overstroming [M€]
Dijkring 1, Schiermonnikoog	0,10	2	36	64
Dijkring 2, Ameland	0,01	94	97	220
Dijkring 3, Terschelling (huidige dijkkring)	0,07	137	138	139
Dijkring 3, Terschelling (voorgestelde dijkkring)	0,07	0,01	138	181
Dijkring 4, Vlieland (huidige dijkkring)	0,01	12	12	12
Dijkring 4, Vlieland (voorgestelde dijkkring)	0,02	8	11	12

Tabel 27: Verwachtingswaarde van de economische schade per jaar.

De verwachtingswaarde van de economische schade per jaar op Ameland is gebaseerd op de situatie na versterking. Daarbij dient de kanttekening te worden gemaakt dat de aanname is gemaakt dat de kunstwerken na versterking geen significante bijdrage leveren aan het overstromingsrisico. Indien de kunstwerken niet zouden worden versterkt is het overstromingsrisico aanzienlijk hoger, namelijk naar een waarde van 3,45 miljoen euro per jaar.

In Figuur 49 is de verdeling van de verwachtingswaarde van de economische schade over de dijkkringgebieden weergegeven.

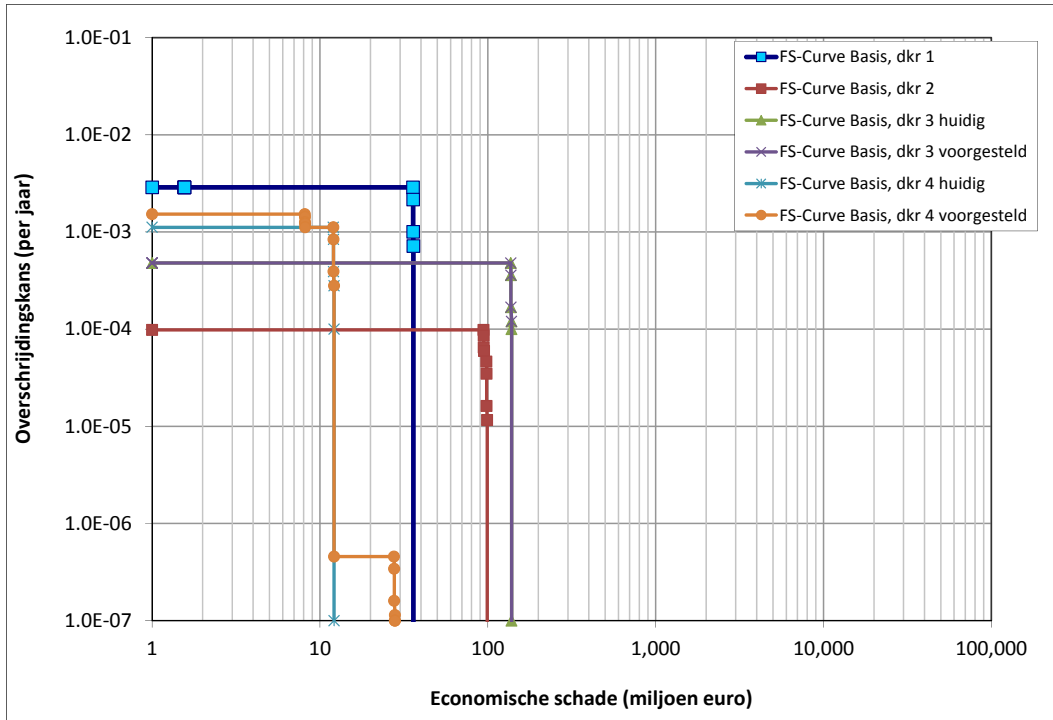
<sup>10</sup> Verwachtingswaarde van het economisch risico gedeeld door overstromingskans



Figuur 49: Verwachtingswaarde van de economische schade per hectare in euro's per jaar.

In Figuur 50 zijn de kansen op overschrijding van bepaalde schadebedragen getoond. De kans op tenminste 100 miljoen euro schade wordt voor de dijkringen 1 en 4 niet gehaald en voor dijkringen 2 en 3 is deze kleiner dan 1/1.000 per jaar.

De maximale schade die in Figuur 50 is getoond is circa 180 miljoen euro voor dijkring 3 met de voorgestelde dijkkringligging. De kans op een grotere economische schade is verwaarloosbaar klein.



Figuur 50: Overschrijdingskans van de economische schade (FS-curve).

In Tabel 28 staat per scenario de verwachtingswaarde van het economisch risico per jaar en de bijdrage aan het totale economisch risico van elke dijkkring. Indien de bijdrage aan het totale economisch risico (Tabel 28) wordt vergeleken met de bijdrage aan de overstromingskans (Tabel 26) dan is zichtbaar dat deze redelijk vergelijkbaar zijn. Dat wil zeggen dat een maatregel gericht op de reductie van een overstromingskans ook een (orde grootte) vergelijkbaar effect heeft op het economisch risico.

Dijkkring	Scenario's	Verwachtingswaarde economisch risico in miljoen euro per jaar	Bijdrage aan het totale economisch risico
Dijkkring 1, Schiermonnikoog	01	0,10	100%
	02	<0,01	≈0%
	0102	<0,01	≈0%
Dijkkring 2, Ameland	01	0,005	48%
	02	0,005	52%
	0102	<0,01	≈0%
Dijkkring 3, Terschelling (huidige dijkkring)	01	0,07	100%
Dijkkring 3, Terschelling (voorgestelde dijkkring)	01	0,07	100%
	02	<0,01	≈0%
	0102	<0,01	≈0%
Dijkkring 4, Vlieland (huidige dijkkring)	01	0,01	100%
Dijkkring 4, Vlieland (voorgestelde dijkkring)	01	0,01	80%
	02	0,003	20%
	0102	<0,01	≈0%

Tabel 28: Risicobijdrage aan de verwachtingswaarde van het economisch risico per jaar.

## 6.2.2

### Slachtofferrisico

De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is in Tabel 29 opgenomen (de verwachtingswaarde volgt uit de vermenigvuldiging van kansen en gevolgen). Tevens is in Tabel 29 het minimale, het gemiddelde<sup>11</sup> en het maximale aantal slachtoffers opgenomen als er een overstroming optreedt. Uitgangspunt in de berekening is het bewonersaantal op de eilanden zonder rekening te houden met toeristen of seizoenen, zie paragraaf 4.1.

Dijkkring	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers	Minimale aantal slachtoffers per overstroming	Gemiddelde aantal slachtoffers per overstroming	Maximaal aantal slachtoffers per overstroming
Dijkkring 1, Schiermonnikoog	0,001	0	0,3	5
Dijkkring 2, Ameland	<0,001	0	1,9	13
Dijkkring 3, Terschelling (huidige dijkkring)	0,002	0	3,8	11
Dijkkring 3, Terschelling (voorgestelde dijkkring)	0,002	0	3,8	48
Dijkkring 4, Vlieland (huidige dijkkring)	<0,001	0	0,3	1
Dijkkring 4, Vlieland (voorgestelde dijkkring)	<0,001	0	0,2	1

Tabel 29: Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar.

De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar op Ameland is gebaseerd op de situatie na versterking. Daarbij dient de kanttekening te worden gemaakt dat de aanname is gemaakt dat de kunstwerken na versterking geen significante bijdrage leveren aan het overstromingsrisico. Indien de kunstwerken niet zouden worden versterkt stijgt het overstromingsrisico aanzienlijk, namelijk naar een waarde van 0,024 slachtoffers per jaar.

Het plaatsgebonden risico (PR) is de kans dat een persoon die zich gedurende een jaar continu op dezelfde plek bevindt, daar het slachtoffer wordt van een overstroming. Het effect van evacuatie wordt bij de berekening van het plaatsgebonden risico niet meegenomen. Bij het lokaal individueel risico (LIR) wordt het effect van evacuatie wel meegenomen. In Figuur 51 is het plaatsgebonden risico (PR) getoond, Figuur 52 het lokaal individueel risico (LIR)<sup>12</sup>.

Uit een vergelijking van Figuur 51 met Figuur 52 blijkt dat het PR en LIR maximaal één klasse van elkaar verschillen. Dit is een gevolg van het feit dat de verwachtingswaarde van de evacuatiefractie 0,65 per overstroming is. Het verschil tussen LIR en PR bedraagt een factor drie (namelijk:  $1/(1-0,65) = 2,99$ ). De stapgrootte van de klasse gaat echter met een factor tien, zodat op enkele locaties een verandering in klasse zichtbaar is.

Het LIR in dijkkring 1 is groter dan  $10^{-5}$  (1/100.000) per jaar, met name in het oostelijke deel van de dijkkring. Dit is tevens het meest diep gelegen deel van de polder

<sup>11</sup> Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers gedeeld door overstromingskans

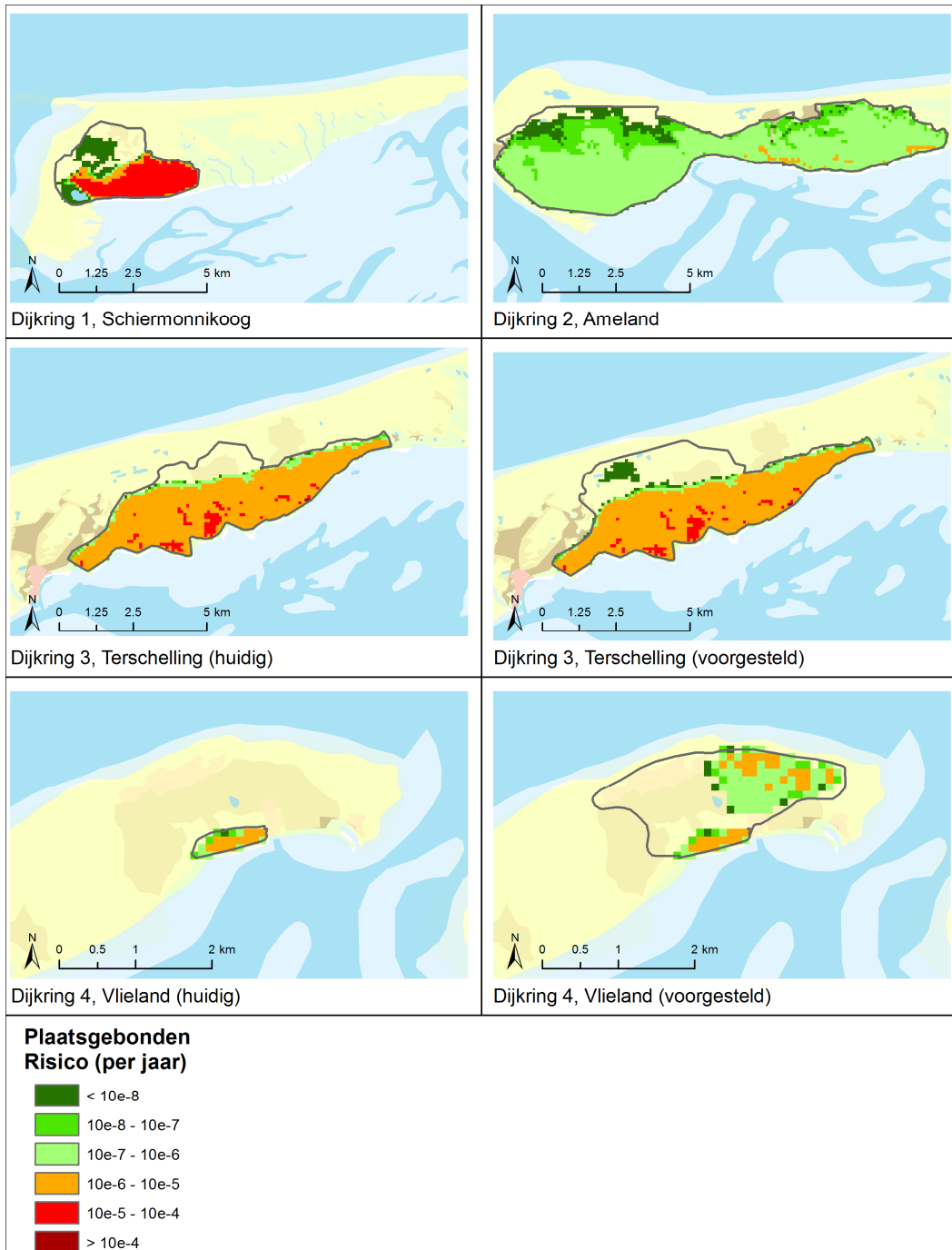
<sup>12</sup> Het LIR en het PR zijn getoond voor het gehele dijkkringgebied, niet alleen voor het bebouwd gebied.

waar de waterdiepte bij een overstroming het grootst zal zijn (>2,5 m). Dit is voornamelijk onbebouwd gebied.

In dijkkring 2 is zowel het PR als het LIR overal kleiner dan  $10^{-5}$  (1/100.000) per jaar.

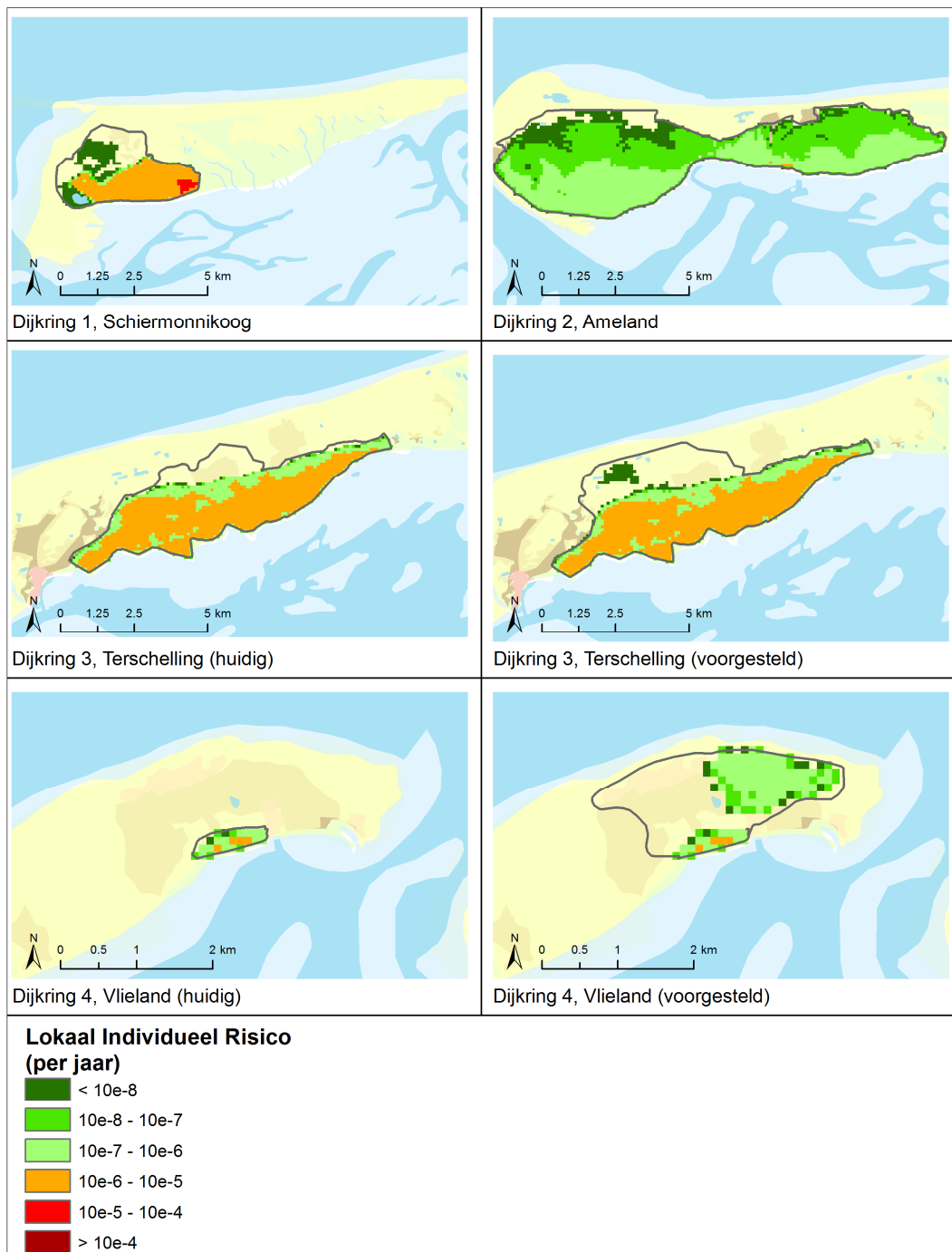
Voor dijkkring 3 wordt deze grens overal gehaald indien rekening wordt gehouden met de preventieve evacuatie (LIR in Figuur 52).

In dijkkring 4 is zowel het PR als het LIR overal kleiner dan  $10^{-5}$  (1/100.000) per jaar.



Figuur 51: Het plaatsgebonden risico (PR) in dijkkringen 1, 2, 3 en 4 (kans op overlijden per jaar).





Figuur 52: Het lokaal individueel risico (LIR) in dijkringen 1, 2, 3 en 4 (kans op overlijden per jaar incl. evacuatie).

Het groepsrisico beschrijft de kansen op overschrijding van bepaalde slachtofferaantallen en wordt vaak weergegeven in een zogenaamde FN-curve. In verband met het beperkte aantal te verwachten slachtoffers bij een overstroming is, rekening houdend met preventieve evacuatie, nauwelijks sprake van een groep (meer dan 10 slachtoffers). Volledigheidshalve is de FN-curve in Bijlage G opgenomen.

In Tabel 30 staat per scenario de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar en de bijdrage aan het totale slachtofferrisico van elke dijkkring. Indien de bijdrage aan het totale slachtofferrisico (Tabel 30) wordt vergeleken met de bijdrage aan de overstromingskans (Tabel 26) dan is zichtbaar dat deze redelijk vergelijkbaar zijn. Dat

wil zeggen dat een maatregel gericht op de reductie van een overstromingskans ook een (orde grootte) vergelijkbaar effect heeft op het slachtofferisico.

Dijkring	Scenario's	Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar	Bijdrage aan het totale slachtoffer risico
Dijkring 1, Schiermonnikoog	01	0,001	100%
	02	<0,001	≈0%
	0102	<0,001	≈0%
Dijkring 2, Ameland	01	<0,001	57%
	02	<0,001	43%
	0102	<0,001	≈0%
Dijkring 3, Terschelling (huidige dijkring)	01	0,002	100%
Dijkring 3, Terschelling (voorgestelde dijkring)	01	0,002	100%
	02	<0,001	≈0%
	0102	<0,001	≈0%
Dijkring 4, Vlieland (huidige dijkring)	01	<0,001	100%
Dijkring 4, Vlieland (voorgestelde dijkring)	01	<0,001	89%
	02	<0,001	11%
	0102	<0,001	≈0%

Tabel 30: Risicobijdrage aan de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar.

---

## 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 ook inzicht in het effect van versterkingen of aanpassingen in het beheer. Het gaat om gevoeligheidsanalyses ten aanzien van aspecten die voor een groot aantal dijkvakken tegelijk relevant zijn of om de overstromingskans op ringniveau te verkleinen door generieke maatregelen te treffen.

In het achtergrondrapport [ref 3] en bijbehorende faalmechanismerapporten zijn de resultaten beschreven van de gevoeligheidsanalyses die op dijkvakniveau zijn uitgevoerd. Deze zijn verricht om goede vakschematisaties op te kunnen stellen en te tonen hoe alternatieve schematisatiekeuzen doorwerken in de resultaten op vakniveau.

De selectie van onderwerpen voor de gevoeligheidsanalyses is het resultaat van overleg tussen de verschillende betrokkenen (projectbureau, beheerder en provincies). De volgende (gevoeligheids)analyses zijn uitgevoerd:

- Gevoeligheidsanalyses op kansniveau
- Gevoeligheidsanalyse op risiconiveau

Deze analyses zijn in de volgende paragrafen beschreven. Tevens zijn in Bijlage H nog aanvullende analyses opgenomen met betrekking tot de golfbelasting, graskwaliteit en standzekerheid regionale kering Ameland.

### 7.1 Gevoeligheidsanalyses op kansniveau

Op kansniveau zijn twee gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, die in de volgende subparagrafen zijn beschreven. De analyses zijn:

- Maatregelen gericht op overstromingskansafname
- Maatregelen gericht op overstromingskans DPV (Deltaprogramma veiligheid)

#### 7.1.1 *Maatregelen gericht op overstromingskansafname*

Met het treffen van maatregelen bij vakken (of kunstwerken) met een relatief grote faalkans kan de overstromingskans van het dijkkringgebied naar beneden bijgesteld worden. Het effect van deze aanpassingen kan worden gesimuleerd door deze vakken niet mee te nemen bij het bepalen van de overstromingskans. Hierbij wordt het faalmechanisme met de grootste faalkans over de gehele dijkkring geselecteerd en het vak met de grootste faalkans van dat faalmechanisme "uitgezet". De overstromingskans zal hierdoor afnemen. De redenering hierachter is dat wanneer er een maatregel wordt uitgevoerd bij een vak of kunstwerk, dit op een dusdanige manier wordt gedaan, dat de bijdrage van dit vak of kunstwerk voor het desbetreffende faalmechanisme verwaarloosbaar klein wordt. Als eerste stap in deze gevoeligheidsanalyse is gekeken welke vakken (en bijbehorende faalmechanismen) de grootste bijdrage hebben aan de overstromingskans van het dijkkringgebied. Het aantal stappen is bepaald tot dat de overstromingskans kleiner is dan (of gelijk aan), de arbitraire grens van, 1/10.000 per jaar.

In Tabel 31 tot en met Tabel 36 is weergegeven wat de overstromingskans van het betreffende dijkkringgebied zou worden indien een faalmechanisme in de berekening wordt "uitgezet". Hierbij moet worden opgemerkt dat deze werkwijze niet per definitie in overeenstemming is met de realiteit, waarin dijkvakken die zwak scoren op één faalmechanisme vaak integraal worden verbeterd. Dit zou pleiten voor in het geheel "uitzetten" van een vak, in plaats van het uitzetten van alleen één faalmechanisme.

Anderzijds is het niet per definitie zo dat een vak dat bijvoorbeeld wordt verbeterd op piping, ook een verbeterde bekleding krijgt of een hogere kruin.

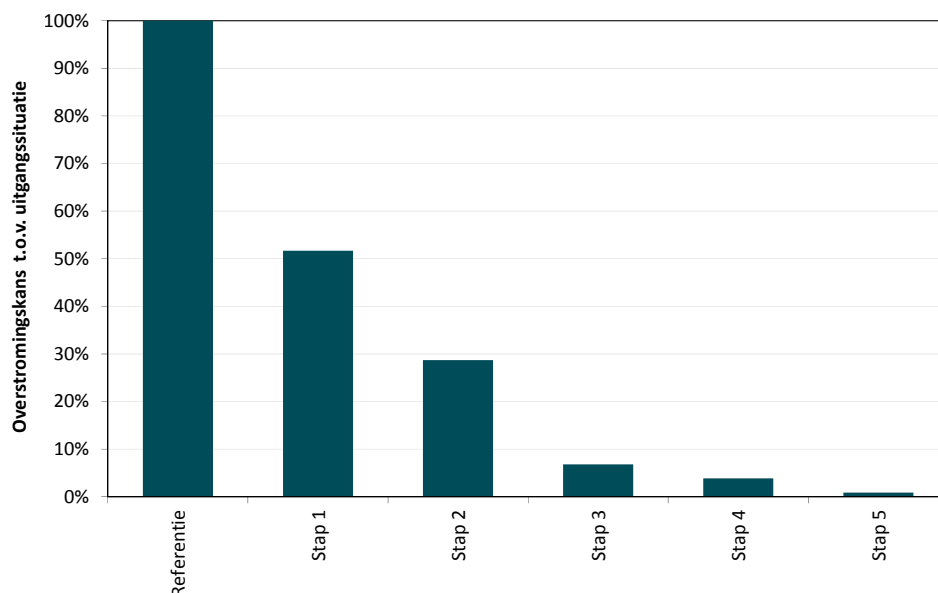
#### Dijkring 1, Schiermonnikoog

Om de overstromingskans van dijkring 1, Schiermonnikoog, te verkleinen door het treffen van een verbetermaatregel van het zwakste deel (c.q. grootste faalkans) zijn de stappen in Tabel 31 nodig.

Aantal stappen	Vak of kunstwerk (faalkans betreffende faalmechanisme)	Faalmechanisme waarvoor een maatregel getroffen moet worden	Overstromingskans na maatregel[per jaar]	
0			2.87E-03	1/350
1	VNK.01.08.001 (1/720 per jaar)	Betrouwbaarheid sluiten (kunstwerk)	1.48E-03	1/680
2	DV03_1.60km_2.60km (1/730 per jaar)	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	8.19E-04	1/1.200
3	DV02_0.60km_1.60km (1/1.400 per jaar)	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1.93E-04	1/5.200
4	DV04_2.60km_3.10km (1/11.000 per jaar)	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1.12E-04	1/9.000
5	DV07_RSP0.00_RSP1.80 (1/712.000 per jaar)	Duinafslag	2.48E-05	1/40.000

Tabel 31: Invloed van het weglaten van faalmechanismen met relatief grote bijdrage aan de overstromingskans van dijkring 1, Schiermonnikoog.

De afname van de overstromingskans is in Figuur 53 uitgezet. Hierin is zichtbaar dat de procentuele afname ten opzichte van de referentie situatie in het begin het meest afneemt.



Figuur 53: Afnemende meeropbrengst bij het treffen van verbetermaatregel dijkring 1, Schiermonnikoog.

### Dijkkring 2, Ameland

Voor dijkkring 2, Ameland, staat de start van de uitvoering/gunning van de dijkversterking in het kader van het HWBP2 gepland in 2014. In de VNK2 analyses is uitgegaan van de situatie na versterking zodat de overstromingskans van dijkkring 2 al kleiner is dan 1/10.000 per jaar. Voor dijkkring 2 is geen aanvullende analyse uitgevoerd in een afname van de overstromingskans door het treffen van maatregelen.

Aantal stappen	Vak of kunstwerk	Faalmechanisme waarvoor een maatregel getroffen moet worden	Overstromingskans na maatregel[per jaar]	
0			9.75E-05	1/10.000

Tabel 32: Overstromingskans van dijkkring 2, Ameland (geen maatregelen nodig om de overstromingskans te laten afnemen tot 1/10.000 per jaar).

### Dijkkring 3, Terschelling

Voor dijkkring 3, Terschelling, is de huidige situatie geanalyseerd en de situatie met de voorgestelde ligging van de primaire waterkering. De analyse naar de te treffen maatregelen van de voorgestelde ligging van de primaire waterkering (Tabel 33) levert dezelfde stappen op als in de analyse in de huidige situatie. Voor de volledigheid is deze in Tabel 34 opgenomen.

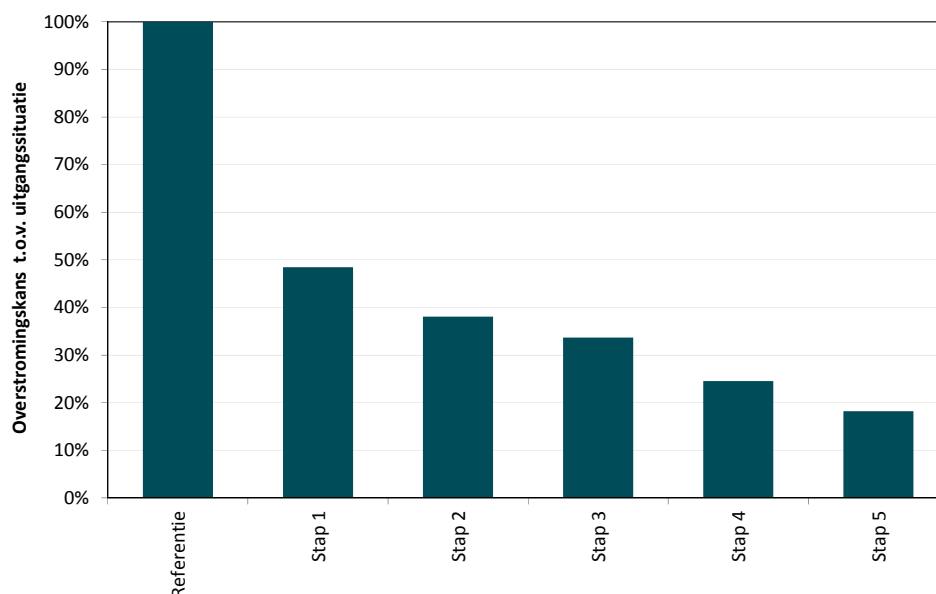
Aantal stappen	Vak of kunstwerk	Faalmechanisme waarvoor een maatregel getroffen moet worden	Overstromingskans na maatregel[per jaar]	
0			4.78E-04	1/2.100
1	DV05_3.40km_4.60km (1/3.300 per jaar)	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	2.37E-04	1/4.200
2	VNK.03.08.002 (Liessluis) (1/15.000 per jaar)	Betrouwbaarheid (kunstwerk)	1.88E-04	1/5.300
3	DV07_5.30km_6.80km (1/24.000 per jaar)	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1.68E-04	1/6.000
4	DV13_11.25km_12.45km (1/23.000 per jaar)	Macrostabieleit binnenwaarts	1.21E-04	1/8.200
5	DV03_2.00km_2.70km (1/27.000 per jaar)	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	9.14E-05	1/11.000

Tabel 33: Invloed van het weglaten van faalmechanismen met relatief grote bijdrage aan de overstromingskans van dijkkring 3, Terschelling (huidige situatie).

Aantal stappen	Vak of kunstwerk	Faalmechanisme waarvoor een maatregel getroffen moet worden	Overstromingskans na maatregel[per jaar]	
0			4.78E-04	1/2.100
1	DV05_3.40km_4.60km (1/3.300 per jaar)	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	2.37E-04	1/4.200
2	VNK.03.08.002 (Liesluis) (1/15.000 per jaar)	Niet sluiten (kunstwerk)	1.88E-04	1/5.300
3	DV07_5.30km_6.80km (1/24.000 per jaar)	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1.68E-04	1/6.000
4	DV13_11.25km_12.45km (1/23.000 per jaar)	Macrostabieleit binnenwaarts	1.21E-04	1/8.200
5	DV03_2.00km_2.70km (1/27.000 per jaar)	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	9.14E-05	1/11.000

Tabel 34: Invloed van het weglaten van faalmechanismen met relatief grote bijdrage aan de overstromingskans van dijkring 3, Terschelling (voorgestelde ligging).

De afname van de overstromingskans is in Figuur 54 uitgezet. Hierin is zichtbaar dat de procentuele afname ten opzichte van de referentie situatie (voor zowel de huidige primaire waterkering als de voorgestelde ligging van de primaire waterkering) met de eerste stap het meest afneemt.



Figuur 54: Afnemende meeropbrengst bij het treffen van verbetermaatregel dijkring 3, Terschelling (voor zowel de huidige primaire waterkering als de voorgestelde ligging van de primaire waterkering).

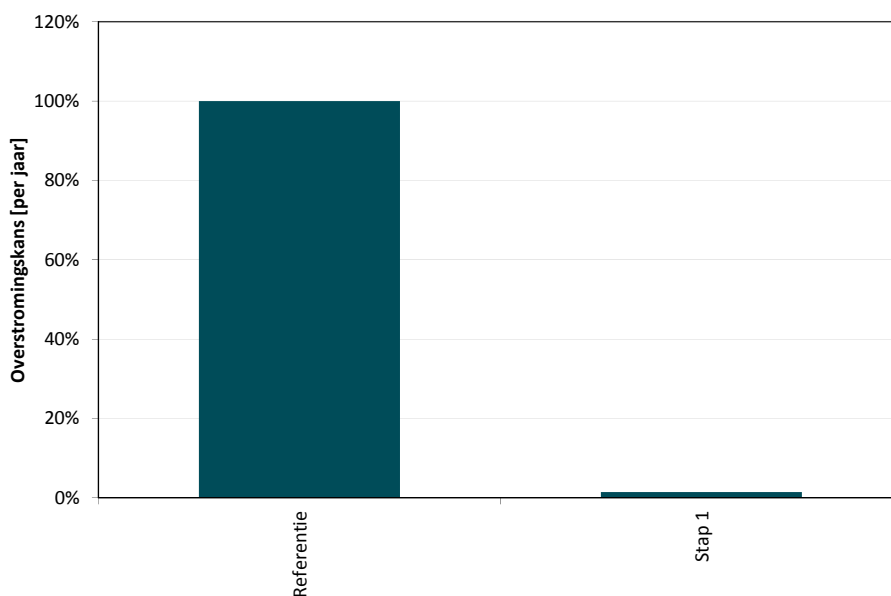
#### Dijkring 4, Vlieland

Voor dijkring 4, Vlieland, is dijkvak 2 het vak met de grootste faalkans. Indien dit dijkvak wordt versterkt zal de faalkans aanzienlijk afnemen, zie Tabel 35. De faalkans wordt veroorzaakt door de basaltontbekleding die in de toetsing de score 'onvoldoende' heeft gekregen.

Aantal stappen	Vak of kunstwerk	Faalmechanisme waarvoor een maatregel getroffen moet worden	Overstromingskans na maatregel[per jaar]	
0			1.12E-03	1/900
1	DV2_km_0.373-km_1.155 (1/910 per jaar)	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1.59E-05	1/63.000

Tabel 35: Invloed van het weglaten van faalmechanismen met relatief grote bijdrage aan de overstromingskans van dijkkring 4, Vlieland (huidige situatie).

De afname van de overstromingskans is in Figuur 56 uitgezet. Hierin is zichtbaar dat de procentuele afname ten opzichte van de referentie situatie (van de huidige primaire waterkering) met de eerste stap sterk afneemt (tot 1%).



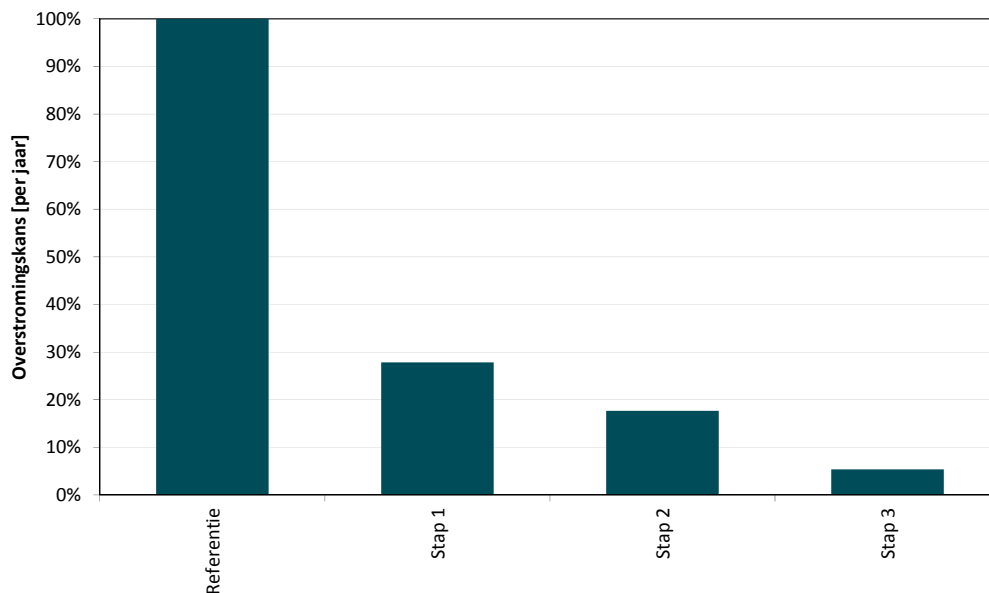
Figuur 55: Afnemende meeropbrengst bij het treffen van verbetermaatregel dijkkring 4, Vlieland (voorgestelde ligging van de primaire waterkering).

Voor dijkkring 4, Vlieland, met de voorgestelde ligging van de primaire kering neemt de faalkans na verbetering van dijkvak 2 minder snel af (zie Tabel 36) dan ten opzichte van de huidige situatie (zie Tabel 35).

Aantal stappen	Vak of kunstwerk	Faalmechanisme waarvoor een maatregel getroffen moet worden	Overstromingskans na maatregel[per jaar]	
0			1.52E-03	1/660
1	DV2_km_0.373-km_1.155 (1/910 per jaar)	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	4.25E-04	1/2.400
2	Duinvak 4 (1/3.100 per jaar)	Duinafslag	2.70E-04	1/3.700
3	Duinvak 7 (1/4.100 per jaar)	Duinafslag	8.18E-05	1/12.000

Tabel 36: Invloed van het weglaten van faalmechanismen met relatief grote bijdrage aan de overstromingskans van dijkkring 4, Vlieland (voorgestelde ligging).

De afname van de overstromingskans is in Figuur 56 uitgezet. Hierin is zichtbaar dat de procentuele afname ten opzichte van de referentie situatie (voor zowel de huidige primaire waterkering als de voorgestelde ligging van de primaire waterkering) met de eerste stap het meest afneemt.



Figuur 56: Afnemende meeropbrengst bij het treffen van verbetermaatregel dijkkring 4, Vlieland (voorgestelde ligging van de primaire waterkering).

#### Samenvattende tabel

In Tabel 37 zijn het aantal maatregelen opgenomen om tot een bepaalde overstromingskans te komen.

Dijkkring	Overstromingskans [per jaar]	Stappen om te komen tot overstromingskans (per jaar):	
		1/2.000	1/10.000
Dijkkring 1, Schiermonnikoog	1/350	3	5
Dijkkring 2, Ameland	1/10.000	-	-
Dijkkring 3, Terschelling (huidige dijkkring)	1/2.100	-	5
Dijkkring 3, Terschelling (voorgestelde dijkkring)	1/2.100	-	5
Dijkkring 4, Vlieland (huidige dijkkring)	1/900	1	1
Dijkkring 4, Vlieland (voorgestelde dijkkring)	1/660	1	3

Tabel 37: Samenvattende tabel met het aantal verbeterstappen om te komen tot een bepaalde overstromingskans.



### 7.1.2

#### *Maatregelen gericht op overstromingskans DPV*

Ter onderbouwing van de nieuwe waterveiligheidsnormen is binnen WV21 in 2011 een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) uitgevoerd. In deze studie is gekeken naar de kosten en baten van 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 [ref 25]. Dit betreft nog een werknorm en kan daardoor nog variëren. Daarin is wederom gekeken naar economisch optimale beschermingsniveaus, ditmaal voor een meer verfijnde trajectindeling.

In deze technisch-inhoudelijke uitwerking is de primaire waterkering, categorie-a van de vier dijkringen in twee trajecten per dijkkring ingedeeld, te weten de Waddenzee-zijde en de Noordzee-zijde, weergegeven in Tabel 38.

Dijkkring	DPV traject	VNK2-Ringdeel	VNK2 Duinvakken, Dijkvakken en kunstwerken	Huidige overstromingskans traject [per jaar]	"Norm" (1-3-10) [per jaar]
1	1_1	2	(duin)vak 8 t/m 12	< 1/30.000	Nog niet bepaald
	1_2	1	(dijk)vak 1 t/m 6 en duiker en (duin)vak 7	1/350	1/1.000
2	2_1	3, 4, 5	(duin)vak 15 t/m 22	< 1/30.000	Nog niet bepaald
	2_2	1 en 2	(dijk)vak 1 t/m 13 en kunstwerken en (duin)vak 14	1/10.000	1/300
3 (huidige situatie)	3_1	2	Duinvak 0, 1, 4, 5 en 6	< 1/30.000	Nog niet bepaald
	3_2	1	dijkvak 1 t/m 15 en kunstwerken	1/2.100	1/1.000
3 (voorgestelde ligging)	3_1	2	duinvak 1 t/m 6	< 1/30.000	Niet bepaald
	3_2	1	dijkvak 1 t/m 15 en kunstwerken	1/2.100	1/1.000
4 (huidige situatie)	4_1	2	Duinvak 0	< 1/30.000	Nog niet bepaald
	4_2	1	dijkvak 1 t/m 3 en coupure	1/900	1/1.000
4 (voorgestelde ligging)	4_1	2	duinvak 1 t/m 9	1/2.400	Niet bepaald
	4_2	1	dijkvak 1 t/m 3 en coupure	1/900	1/1.000

Tabel 38: Deltaprogramma Veiligheid trajecten en "norm" [ref 25].

Per DPV-traject [ref 25] is bepaald welke maatregelen nodig zijn om tot een bepaalde overstromingskans te komen. Daartoe is eerst de overstromingskans per traject bepaald (de vakken die niet tot het traject behoren zijn uitgezet). Afhankelijk van de berekende overstromingskans van het traject is vervolgens steeds het faalmechanisme per vak of kunstwerk met de grootste kansbijdrage uitgezet en is de overstromingskans bepaald. De te nemen verbeteringen om te voldoen aan de overstromingskans zijn weergegeven in Tabel 39. De drie waarden (normklasse) die daarbij zijn gehanteerd zijn afgeleid van de reeds afgeleide overstromingskans zoals deze zijn opgenomen in [ref 25]. Daaruit volgt dat met name de overstromingskans 1/1.000 per jaar wordt gehanteerd. In deze analyse is daar voor alle trajecten ook de

situatie van een strengere (1/3.000 per jaar) en soepelere (1/300 per jaar) normklasse beschouwd. Op basis van Tabel 39 is af te leiden dat er geen verbetermaatregelen nodig zijn om te voldoen aan de 1/300 per jaar overstromingskans, dit geldt dus ook voor de overstromingskans 1/100 per jaar (=één normklasse soepeler dan 1/300 per jaar).

Dijkring	DPV traject	Huidige overstromingskans per traject [per jaar]	Verbetering om te komen tot norm 1/300 per jaar	Verbetering om te komen tot norm 1/1.000 per jaar	Verbetering om te komen tot norm 1/3.000 per jaar
1	1_1	< 1/30.000	-	-	-
	1_2	1/350	-	Duiker (BS) * <sup>1</sup> DV3, grasbekl.* <sup>2</sup>	Duiker (BS) * <sup>1</sup> DV2& 3, grasbekl.* <sup>2</sup>
2	2_1	< 1/30.000	-	-	-
	2_2	1/10.000	-	-	-
3 (huidige situatie)	3_1	< 1/30.000	-	-	-
	3_2	1/2.100	-	-	DV5, grasbekl.* <sup>2</sup>
3 (voorgestelde ligging)	3_1	< 1/30.000	-	-	-
	3_2	1/2.100	-	-	DV5, grasbekl.* <sup>2</sup>
4 (huidige situatie)	4_1	< 1/30.000	-	-	-
	4_2	1/900	-	DV2, Basalton bekl.	DV2, Basalton bekl.
4 (voorgestelde ligging)	4_1	1/2.400	-	-	Duinvak 4
	4_2	1/900	-	DV2, Basalton bekl.	DV2, Basalton bekl.

BS: Betrouwbaarheid sluiten

DV: dijkvak

∴ geen verbetering nodig

\*<sup>1</sup>) haalbaar door eerdere automatisch sluiting noodsluif of doorstroomopening permanent voor meer dan de helft te knijpen

\*<sup>2</sup>) haalbaar met een 'goede' graskwaliteit (erosiebestendigheid) in plaats van de huidige gehanteerde 'matige' graskwaliteit

Tabel 39: Invloed weglaten faalmechanisme met een grote bijdrage aan de overstromingskans per DPV-traject, na uitvoering HWBP2 versterkingen (lichtgroen gearceerd: waarde volgens [ref 25] indien bekend).

Om te voldoen aan de "norm" zoals opgenomen in Tabel 38 (c.q. [ref 25]) zijn voor dijkkring 1 en 4 verbeterstappen nodig.

#### Dijkring 1, Schiermonnikoog

Voor dijkkring 1 betreft dat het verhogen van de betrouwbaarheid sluiting van het kunstwerk en daarmee het verkleinen van de faalkans, zie toelichting in paragraaf 3.6.4.

---

Tevens dient voor dijkkring 1 (traject 1\_1) een maatregel getroffen te worden waardoor de faalkans van de grasbekleding van dijkvak 3 afneemt. Dit is onder andere mogelijk door de graskwaliteit (en daarmee de erosiebestendigheid) te verhogen van een aangehouden 'matige' graskwaliteit naar een 'goede' graskwaliteit. In Bijlage H is een gevoeligheidsanalyse beschreven waarin de faalkans is bepaald bij een verhoging van graskwaliteit.

Het overstromingsrisico dat hoort bij deze beide verbetermaatregelen is opgenomen in Figuur 57 en Tabel 40. Dat betreft de analyse die is uitgevoerd naar het LIR (paragraaf 7.2.1), waarbij dezelfde verbetermaatregelen nodig zijn.

Indien voor de Waddenzeedijk, DPV-traject 1\_2, een waarde wordt gehanteerd van 1/3.000 per jaar moet naast een maatregel aan de duiker en de grasbekleding van dijkvak 2 ook een maatregel worden getroffen aan de grasbekleding van dijkvak 3.

#### Dijkkring 2, Ameland

Voor dijkkring 2, Ameland zijn geen maatregelen nodig om te voldoen aan de waarde uit de technisch-inhoudelijke uitwerking van de normen [ref 25], zelfs niet bij een normklasse strenger.

#### Dijkkring 3, Terschelling

Voor dijkkring 3, Terschelling zijn geen maatregelen nodig om te voldoen aan de waarde uit de technisch-inhoudelijke uitwerking van de normen [ref 25].

Indien voor dijkkring 3, Terschelling een strengere waarde zou worden gehanteerd dan in de technisch-inhoudelijke uitwerking van de normen [ref 25] is een maatregel aan de grasbekleding van dijkvak 5 noodzakelijk. Voor de duinen hoeft om te voldoen aan de zelfde normklasse geen verbetermaatregel te worden uitgevoerd.

#### Dijkkring 4, Vlieland

Voor dijkkring 4, Vlieland, moet één maatregel getroffen worden om aan de waarde uit de technisch inhoudelijk uitwerking [ref 25] te voldoen. Voor de basaltontbekleding van dijkvak 3 (eveneens in de toetsing afgekeurd) zal dan een verbetermaatregel moeten worden uitgevoerd. Het bijbehorende risico is opgenomen in paragraaf 7.2.1 (Figuur 60 en Tabel 42).

Indien voor dijkkring 4, Vlieland een strengere waarde zou worden gehanteerd dan in de technisch-inhoudelijke uitwerking van de normen [ref 25] is geen aanvullende maatregel noodzakelijk. Voor de situatie met de voorgestelde ligging van de primaire waterkering is om te kunnen voldoen aan de overstromingskans van 1/3.000 per jaar een maatregel noodzakelijk aan duinvak 4.

Tot slot dient nog de kanttekening geplaatst te worden door verschil in detail en methode tussen VNK2 en DPV. Hierdoor is het mogelijk dat in de VNK2-analyse wordt voldaan aan de normwaarde volgens de DPV, maar nog niet aan de basisveiligheidseis van 1/100.000 per jaar. Bij de bepaling van de DPV-LIR eis is de mediaan van de mortaliteit op buurtniveau genomen om de norm af te leiden. In de VNK2-analyse is dat niet het geval, hierdoor kunnen er lokaal plekken (cq. pixels) zijn die niet voldoen aan de LIR-eis (10-5 per jaar), terwijl op buurtniveau wel wordt voldaan.

---

## 7.2 Gevoeligheidsanalyse op risiconiveau

Op risiconiveau zijn drie gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, die in de volgende sub-paragrafen zijn beschreven. De analyses zijn:

- Maatregelen gericht op afname LIR en PR
- Overstromingsrisico na afname overstromingskans
- Invloed van de verwachtingswaarden van de evacuatiefracties

Voor de bepaling van het overstromingsrisico is in deze paragraaf dezelfde aanpak gehanteerd zoals opgenomen in paragraaf 6.1. De koppeling van de scenariokansen aan de gevolgenberekeningen zijn indien nodig aangepast aan de nieuwe scenariokansen.

### 7.2.1 *Maatregelen gericht op afname LIR en PR*

In deze paragraaf zijn de resultaten opgenomen van een analyse waarbij in een zo beperkt mogelijk aantal stappen het LIR en PR in dijkkringgebieden 1 en 3 onder de waarde  $10^{-5}$  per jaar wordt gebracht. Voor dijkringen 2 en 4 is de LIR- en PR-waarde overall al kleiner dan  $10^{-5}$  per jaar.

In paragraaf 6.2.2 is het slachtofferrisico opgenomen. Daar is zowel het plaatsgebonden risico (PR) als het lokaal individueel risico (LIR) opgenomen. Het plaatsgebonden risico is het risico zonder rekening te houden met mogelijke preventieve evacuatie terwijl in het lokaal individueel risico de preventieve evacuatie wel in de berekening is meegenomen. Daaruit is geconcludeerd dat de kans op overlijden in een aantal gevallen voor de huidige situatie<sup>13</sup> groter is dan 1/100.000 per jaar ( $10^{-5}$  per jaar). Voor het LIR geldt dat alleen voor dijkkring 1, Schiermonnikoog, deze waarde wordt overschreden. Voor het PR wordt deze waarde ook overschreden in dijkkring 3, Terschelling, in zowel de huidige situatie als de voorgestelde ligging van de primaire waterkering. Met de aangehouden verwachtingswaarde van de evacuatiefractie (0,65) is het LIR voor dijkkring 3, Terschelling, kleiner dan 1/100.000 per jaar ( $10^{-5}$  per jaar).

Door gericht maatregelen te treffen bij beeldbepalende vakken (of kunstwerken) kan de waarde van het LIR worden verlaagd. Die analyse is uitgevoerd voor dijkkring 1, Schiermonnikoog en dijkkring 3, Terschelling.

#### Dijkkring 1, Schiermonnikoog

De overschrijding van locaties met een LIR groter dan 1/100.000 per jaar ( $10^{-5}$  per jaar) wordt veroorzaakt door het falen van keringen grenzend aan de Waddenzee. Door maatregelen te nemen wordt deze faalkans verkleind en daardoor het LIR. De stappen die zijn geïdentificeerd in paragraaf 7.1.1 blijken hiervoor het meest effectief.

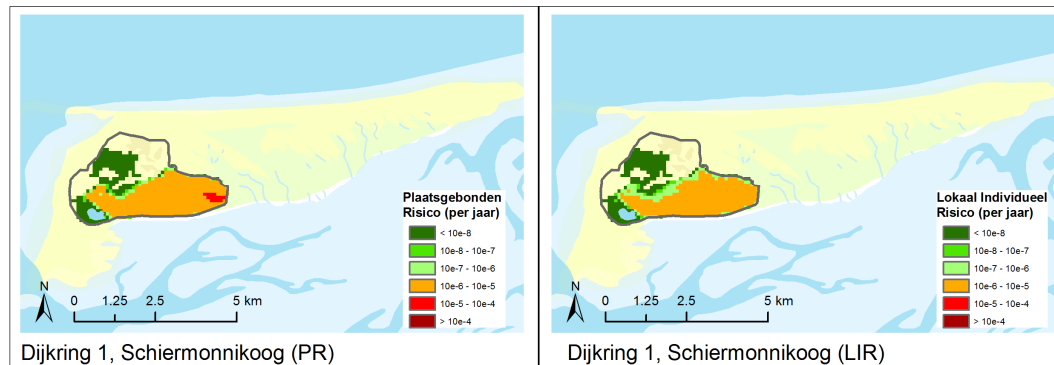
Met de aangehouden verwachtingswaarde van de evacuatiefractie (0,65) is na 2 verbeterstappen het LIR overall kleiner dan 1/100.000 per jaar ( $10^{-5}$  per jaar). Het betreft verbetering aan:

- duiker Waddenzeedijk (betrouwbaarheid sluiten) en
- dijkvak 3 (grasbekleding).

Het PR en LIR na twee verbeterstappen is opgenomen in Figuur 57.

---

<sup>13</sup> Voor dijkkring 2, Ameland, betreft het de situatie na afronding van het HWBP2.

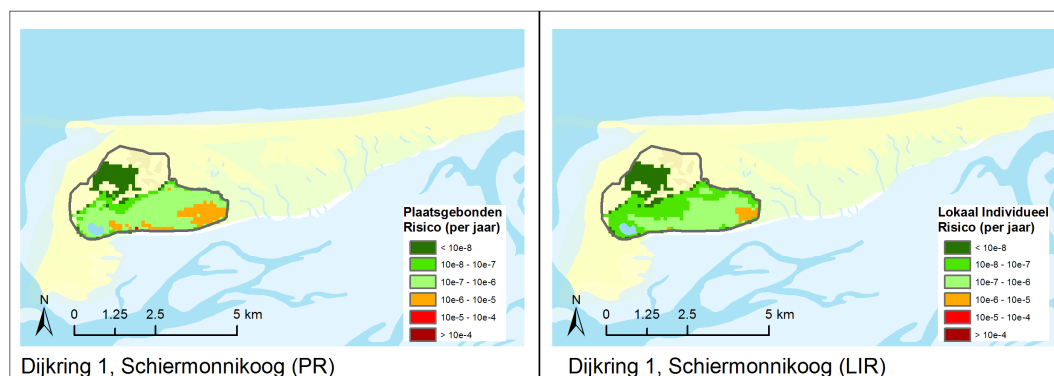


Figuur 57: PR en LIR, dijkkring 1, Schiermonnikoog, na 2 verbeterstappen.

Indien geen rekening wordt gehouden met preventieve evacuatie of als er bijvoorbeeld geen preventieve evacuatie mogelijk blijkt te zijn zullen meer verbeterstappen moeten worden genomen om het risico (PR) kleiner dan 1/100.000 per jaar ( $10^{-5}$  per jaar) te krijgen. Naast de twee hiervoor genoemde verbeteringen moet er ook maatregelen worden getroffen aan:

- dijkvak 2 (grasbekleding)
- dijkvak 4 (grasbekleding)
- duinvak7

Het PR en LIR na vijf verbeterstappen is opgenomen in Figuur 58.



Figuur 58: PR en LIR, dijkkring 1, Schiermonnikoog, na 5 verbeterstappen.

De overstromingskans van dijkkring 1, Schiermonnikoog is na uitvoering van deze drie en eerdere twee verbeterstappen 1/40.000 per jaar. In Tabel 40 zijn de overstromingskans en het overstromingsrisico opgenomen.

Situatie	Overstromingskans [per jaar]	Verwachtingswaarde economische schade [M€ per jaar]	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers [per jaar]
Referentie	1/350	0,103	0,0014
Ná 2 verbeterstappen gericht op LIR	1/1.200	0,029	0,0004
Ná 5 verbeterstappen gericht op PR	1/40.000	0,001	<0,0001

Tabel 40: Overstromingskans en risico huidige situatie en ná verbeterstappen gericht op LIR en PR voor dijkkring 1, Schiermonnikoog.

Voor de andere drie dijkringen geldt dat het LIR overall kleiner is dan 1/100.000 per jaar ( $10^{-5}$  per jaar).

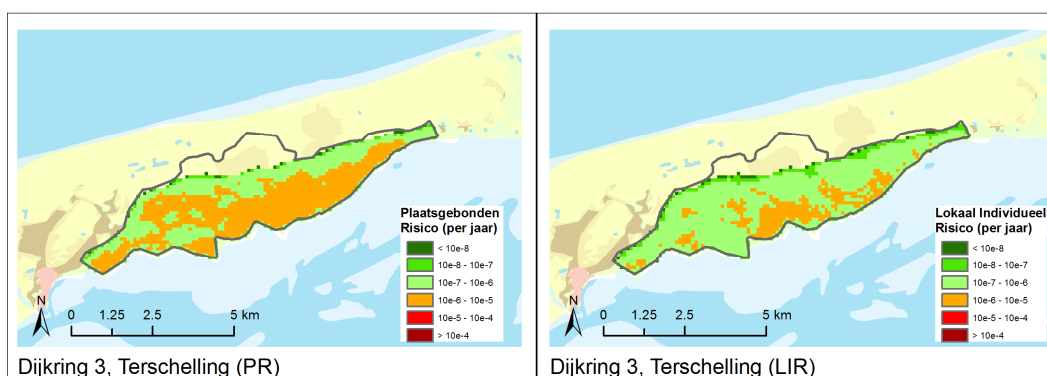
### Dijkring 3, Terschelling

Indien de preventieve evacuatie buiten beschouwing wordt gelaten of als er geen preventieve evacuatie mogelijk blijkt te zijn, zijn meerdere verbetermaatregelen nodig om het LIR kleiner dan 1/100.000 per jaar te laten zijn op dijkring 3, Terschelling. Het plaatsgebonden risico (PR) geeft een dergelijke situatie, zonder preventieve evacuatie weer. Door verbetermaatregelen in de berekening mee te nemen kan het PR kleiner dan 1/100.000 per jaar worden. De analyse heeft betrekking op dijkring 3 in de huidige situatie maar is eveneens geldig voor de voorgestelde ligging van de primaire waterkering.

Met verbetermaatregelen aan de volgende vijf delen van de primaire waterkering wordt het PR kleiner dan 1/100.000 per jaar:

- dijkvak 5 (grasbekleding)
- Liessluis (betrouwbaarheid sluiten)
- dijkvak 7 (grasbekleding)
- dijkvak 13 (macrostabiliteit binnenwaarts)
- dijkvak 3 (grasbekleding)

Het PR en LIR na vijf verbeterstappen is opgenomen in Figuur 59.



Figuur 59: PR en LIR, dijkring 3, Terschelling, na 5 verbeterstappen.

Situatie	Overstromingskans [per jaar]	Verwachtingswaarde economische schade [M€ per jaar]	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers [per jaar]
Referentie	1/2.100	0,07	0,002
Ná 5 verbeterstappen gericht op PR	1/11.000	0,01	0,001

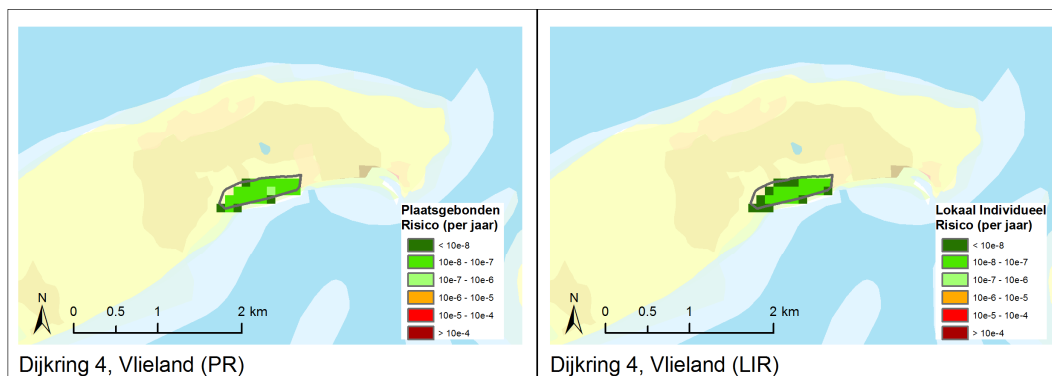
Tabel 41: Overstromingskans en risico huidige situatie en ná verbeterstappen gericht op PR voor dijkring 3, Terschelling (huidige ligging primaire waterkering).

### 7.2.2 Overstromingsrisico na afname overstromingskans

In paragraaf 7.1.1 is een analyse opgenomen waarbij de maatregelen worden getroffen in de vakken en kunstwerken met de grootste faalkansen per dijkring. Dit resulteert in een afname in de overstromingskans. Het bijbehorende risico is daarvoor ook bepaald, zoals dat ook is bepaald voor maatregelen gericht op afname van het LIR. Daarbij zijn voor zowel dijkring 1 als voor dijkring 3 de risico's na vijf dezelfde

verbeterstappen opgenomen. Voor dijkkring 1 Tabel 40 en Figuur 58 en voor dijkkring 3 Tabel 41 en Figuur 59. Deze figuren en tabellen zijn hier niet herhaald.

Voor dijkkring 4, Vlieland, is in paragraaf 7.1.1 voor de huidige situatie de overstromingskans opgenomen na één verbeterstap en voor de voorgestelde ligging van de primaire kering drie stappen. Het PR en LIR na één verbeterstap voor dijkkring 4 is opgenomen in Figuur 60. De verwachtingswaarde van de economische schade per jaar en de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar zijn opgenomen in Tabel 42.

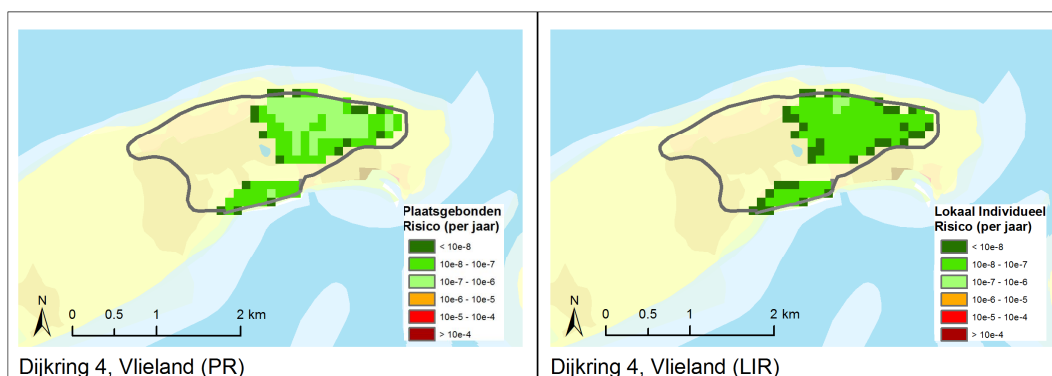


Figuur 60: Het PR en LIR in dijkkring 4 (kans op overlijden per jaar), na verbetering dijkvak 2 (huidige primaire kering).

Situatie	Overstromingskans [per jaar]	Verwachtingswaarde economische schade [M€ per jaar]	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers [per jaar]
Referentie	1/900	0,0134	0,0004
Ná 1 verbeterstap gericht op verlaging overstromingskans	1/63.000	0,0003	<0,0001

Tabel 42: Overstromingskans en risico huidige situatie en ná één verbeterstap, dijkkring 4, Vlieland (huidige ligging primaire waterkering).

Het PR en LIR na drie verbeterstap voor dijkkring 4 met de voorgestelde primaire kering is opgenomen in Figuur 61. De verwachtingswaarde van de economische schade per jaar en de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar zijn opgenomen in Tabel 43.



Figuur 61: Het PR en LIR in dijkkring 4 (kans op overlijden per jaar), na drie verbetermaatregelen (voorgestelde primaire waterkering).

Situatie	Overstromingskans [per jaar]	Verwachtings- waarde economische schade [M€ per jaar]	Verwachtings- waarde aantal slachtoffers [per jaar]
Referentie	1/660	0,0168	0,0004
Ná 3 verbeterstappen gericht op verlaging overstromingskans	1/12.000	0,0008	<0,0001

Tabel 43: Overstromingskans en risico huidige situatie en ná drie verbeterstappen, dijkkring 4, Vlieland (voorgestelde ligging primaire waterkering).

### 7.2.3 Invloed van de verwachtingswaarden van de evacuatiefracties

In deze paragraaf zijn de resultaten opgenomen van een analyse waarbij de verwachtingswaarde van de evacuaties zijn aangepast naar 0% (dus geen preventieve evacuatie = PR) en naar 80% (de gedachte daarachter is dat circa 20% van de bevolking geen gehoor geeft aan een evacuatie oproep [ref 7]). Het doel van deze analyse is tweeledig, namelijk om de:

1. theoretische bandbreedte van de evacuatiefractie op het overstromingsrisico inzichtelijk te maken en
2. inzicht te geven in de toe- of afname die mogelijk is in de derde laag van de meerlaagsveiligheidsbenadering (MLV).

Binnen VNK2 worden vier evacuatie-deelscenario's meegenomen, variërend van geen preventieve evacuatie tot een goed georganiseerde preventieve evacuatie (met dus voldoende evacuatie-tijd).

In de huidige situatie is met alle evacuatie-deelscenario's rekening gehouden (variërend van onvoldoende tijd of een onverwachte overstroming tot voldoende tijd en een verwachte overstroming).

In de situatie zonder evacuatie, is geen rekening gehouden met een preventieve evacuatie. Het betreft in dat geval een onverwachte overstroming zonder evacuatie of een overstroming waarbij te weinig tijd of mogelijkheden zijn om een preventieve evacuatie uit te voeren. De preventieve evacuatiefractie is dus gelijk aan nul. In werkelijkheid zal deze bovengrens niet gehaald worden aangezien niet alle overstromingen onverwacht optreden en zelfs zonder georganiseerde evacuatie er inwoners op eigen initiatief zullen evacueren.

In de situatie met een 'goede' evacuatie, is rekening gehouden met een verwachte overstroming en voldoende tijd voor een georganiseerde evacuatie met voldoende middelen en mogelijkheden. Voor overstromingen is daarbij rekening gehouden met een preventieve evacuatie percentage van 80%. Dit percentage wordt naar verwachting in de praktijk niet gehaald. Deze ondergrens van het aantal slachtoffers (c.q. bovengrens van het aantal preventief geëvacueerde) zal dus niet gehaald worden. Niet alle overstromingen zijn namelijk van te voren te voorspellen/verwachten waarbij dan tevens tijdig de keus gemaakt wordt (c.q. gemaakt kan worden) om te evacueren.

De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is in Tabel 44 opgenomen (de verwachtingswaarde volgt uit de vermenigvuldiging van kansen en gevolgen) voor de verschillende verwachtingswaarde van de evacuatiefractie.



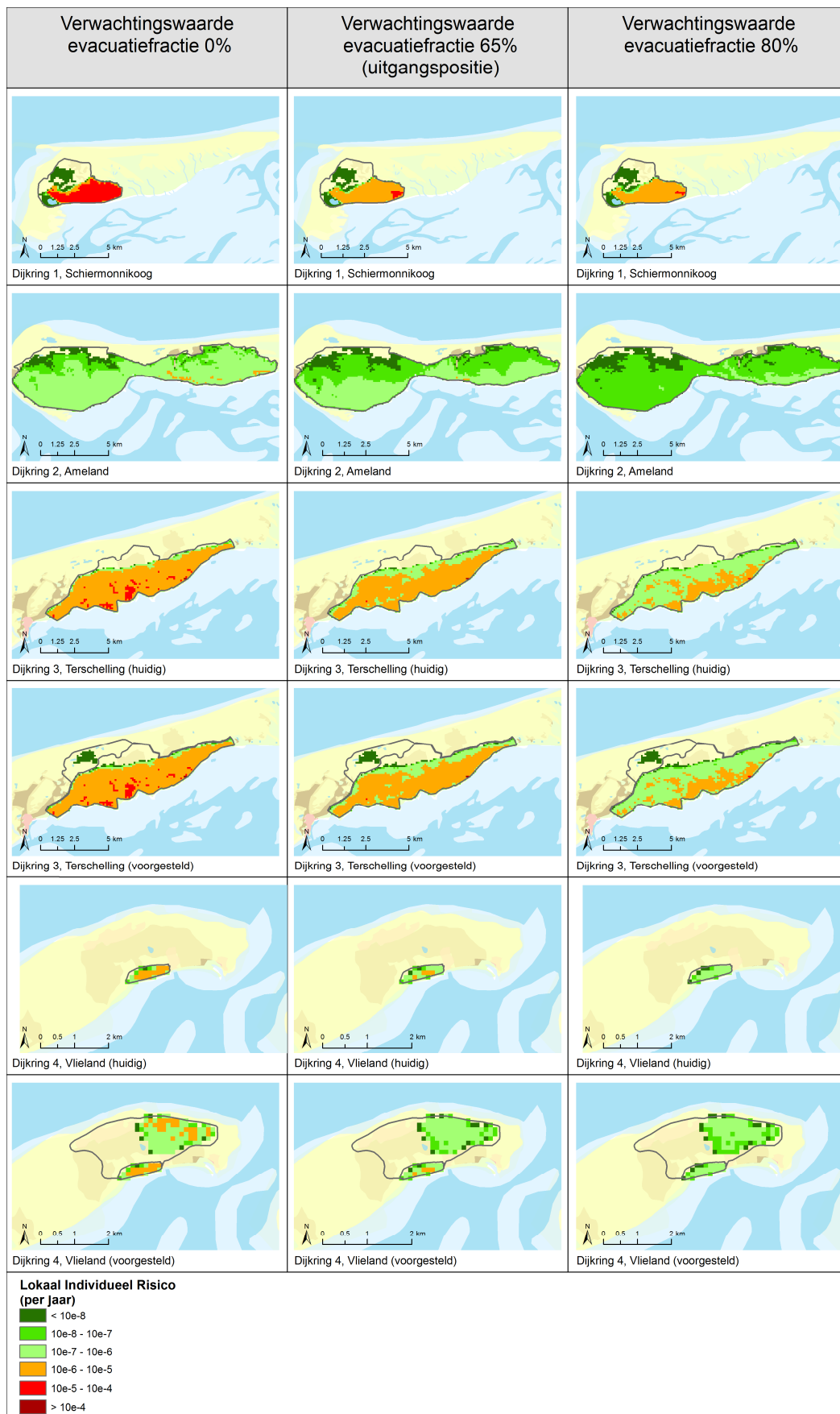
Dijkkring	Verwachtings- waarde aantal slachtoffers (eva.fr.0%)	Verwachtings- waarde aantal slachtoffers (eva.fr.65%)	Verwachtings- waarde aantal slachtoffers (eva.fr.80%)
Dijkkring 1, Schiermonnikoog	0,0040	0,00142	0,00082
Dijkkring 2, Ameland	0,0005	0,0002	0,0001
Dijkkring 3, Terschelling (huidige dijkkring)	0,0050	0,0018	0,0010
Dijkkring 3, Terschelling (voorgestelde dijkkring)	0,0050	0,0018	0,0010
Dijkkring 4, Vlieland (huidige dijkkring)	0,0010	0,0004	0,0002
Dijkkring 4, Vlieland (voorgestelde dijkkring)	0,0012	0,0004	0,0002

Tabel 44: Verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar afhankelijk van de evacuatiefractie (eva.fr.)

De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is gebaseerd op het aantal inwoners in het dijkkringgebied. De waarde ten opzichte van andere gebieden in Nederland zijn laag. Dit komt met name door de beperkte aantal inwoners in de kleine dijkkringen. De extra slachtoffers die kunnen vallen door de aanwezigheid van toeristen zijn niet opgenomen in de analyse.

Momenteel (medio 2014) is er onvoldoende kennis over o.a.: de aanwezigheid van het aantal toeristen, spreiding over het jaar, op welke locatie en de eventuele evacuatiemogelijkheden. In samenspraak met het waterschap, Rijkswaterstaat, de provincie en het projectbureau VNK2, is besloten om hier geen gevoeligheidsanalyse voor uit te voeren. De resultaten zullen namelijk omkleed zijn met te veel onzekerheden, waarbij de meerwaarde dus zeer beperkt is (of in ieder geval niet hoger dan simpelweg aan te nemen dat de toeristen het risico op slachtoffers met 2, 3 of een andere factor, ten opzichte van het aantal eilandbewoners verhogen indien er respectievelijk factor 2, 3 of een ander aantal toeristen ten opzichte van eilandbewoners aanwezig zijn).

In Figuur 62 is het lokaal individueel risico weergegeven voor met de verschillende verwachtingswaarde van de evacuatiefractie. Daarbij kan worden opgemerkt dat het LIR met een verwachtingswaarde van 0% van de evacuatiefractie gelijk is aan het PR, zoals in Figuur 51 is opgenomen (in het PR wordt namelijk per definitie geen rekening gehouden met evacuatie).



Figuur 62: Het lokaal individueel risico (LIR) in dijkringen 1, 2, 3 en 4 (kans op overlijden per jaar incl. evacuatie) voor drie verschillende evacuatiefracties.

---

## 8 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste conclusies en aanbevelingen opgenomen, die volgen uit de analyse naar het overstromingsrisico van dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4 respectievelijk Schiermonnikoog, Ameland, Terschelling en Vlieland. De conclusies en aanbevelingen betreffen zowel de beschikbaarheid van gegevens, de faalkansen, de gevolgen, als het overstromingsrisico.

### 8.1 Conclusies

#### 8.1.1 *Kans op een overstroming in dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4*

- De berekende overstromingskansen van dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4 zijn respectievelijk 1/350, 1/10.000, 1/2.100 en 1/900 per jaar. De overstromingskansen voor dijkkring 3 en 4 met de voorgestelde ligging van de primaire waterkering zijn respectievelijk 1/2.100 en 1/660 per jaar.
- De faalmechanismen *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* en de *betrouwbaarheid sluiting* zijn de dominante faalmechanismen voor de dijkringen. 1, 2, 3 en 4.
  - Dijkkring 1 heeft een overstromingskans die voor 48% wordt bepaald door het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* van 1 km dijk met grasbekleding en ook voor 48% door de *betrouwbaarheid sluiting* van het kunstwerk. Deze twee faalmechanismen bepalen voor 96% de totale overstromingskansen.
  - Dijkkring 2 heeft een relatief kleine overstromingskans, doordat de dijk daar nu wordt versterkt.
  - Dijkkring 3 heeft eveneens een relatief kleine faalkans, die wordt gedomineerd door het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam*.
  - Dijkkring 4 heeft een overstromingskans die voor 99% wordt bepaald door het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* van 0,8 km dijk met basaltbekleding.
- Bij de berekende overstromingskans zijn de volgende kanttekeningen te plaatsen:
  - In de bepaling van de overstromingskans is de 'huidige' situatie beschouwd, waarbij voor dijkkring 2 geldt dat rekening is gehouden met de afgeronde dijkversterking (momenteel nog in uitvoering).
  - De berekende faalkansen zijn gebaseerd op de beschikbare informatie. Indien deze informatie ontbreekt of relatief onzeker is kan dit tot uiting komen in een relatief grote faalkans. Daarbij kan worden gedacht aan: onzekerheid over de intreeweerstand door Wadafzettingen of de kwaliteit van de grasbekleding.
  - De faalmechanismen met relatief grote faalkansen worden gedomineerd door één vak of kunstwerk, waardoor de verbeteropgave een relatief beperkte omvang heeft (zoals in de gevoeligheidsanalyses is bepaald).
- Het beeld uit de toetsronde (voldoende/onvoldoende) is vergeleken met het beeld van de resultaten uit de VNK2-analyses (faalkansen). In het algemeen komt het beeld overeen. Daar waar verschillen aanwezig zijn is dat te verklaren.
  - Voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* komt het beeld uit VNK2 overeen met de toetsing.
  - Voor het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* zijn, in tegenstelling tot de toetsing, relatief kleine faalkansen berekend. Dit komt doordat naast het falen van de bekleding ook de reststerkte van de dijk in rekening is gebracht. Waar een relatief grote faalkans is berekend, is dat te wijten aan een slechte of matige graskwaliteit of op Vlieland door een slechte

---

basaltonbekleding. De faalkansen blijken (erg) gevoelig voor de geschematiseerde kwaliteit van de grasbekleding (wortellengte, erosiebestendigheid van het gras en de klei).

Daarnaast is per dijkvak rekening gehouden met de reductie van de belasting op het dijkvak. Hierdoor worden op Schiermonnikoog ook kleinere faalkansen berekend van dijkvakken, terwijl deze in de toetsing zijn afgekeurd. In de toetsing is namelijk uitgegaan van één representatief vak (dat overeenkomt met de grootste faalkans die is berekend in de VNK2-analyse).

- Voor het faalmechanisme *macrostabieliteit binnenwaarts* komt het beeld uit VNK2 overeen met de toetsing.
  - Voor het faalmechanisme *opbarsten en piping* komt het beeld uit VNK2 overeen met de toetsing. De kanttekeningen die bij de toetsing zijn gemaakt gelden ook voor de analyses in VNK. In zowel de toetsing als in VNK2 is extra kwelweglengte toegekend op basis van de slibafzettingen in de Waddenzee. In de toetsing wordt gesteld dat de extra kwelweglengte kan worden toegepast indien de geulen op voldoende afstand van de teen van de dijk blijven liggen (dit wordt met behulp van metingen periodiek gecontroleerd). Op Ameland (dijkring 2) wordt een meetcampagne uitgevoerd waaruit naar verwachting aanvullende gegevens komen die de onzekerheid over de invoerparameters van de analyse verkleinen en dus de betrouwbaarheid van het resultaat vergroten.
  - Voor het faalmechanisme *duinafslag* komt het beeld uit VNK2 overeen met de toetsing.
  - Voor de faalmechanisme van *betrouwbaarheid sluiting kunstwerk* komt het beeld uit VNK2 niet in alle gevallen overeen met die uit de toetsing. De verschillen zijn in de rapporten per kunstwerk uitvoerig besproken. Het grootste verschil treedt op bij de duiker op Schiermonnikoog (dijkring 1). In de toetsing is de eenvoudige beoordeling gehanteerd, waaruit blijkt dat voldaan wordt aan de eisen en de score "goed" is toegekend. Uit de huidige analyse is echter gebleken dat het kunstwerk, in het geval dat de terugslagklep niet sluit, onder dagelijkse omstandigheden kan falen. De noodsluif mag dus niet meegenomen worden in de analyse, waardoor de betrouwbaarheid van het sluitproces een stuk lager is dan in de toetsing aangehouden.
- Om de overstromingskans van de gehele dijkring te verkleinen naar bijvoorbeeld 1/2.000 per jaar moeten enkele ingrepen worden uitgevoerd op Schiermonnikoog (dijkring 1) en Vlieland (dijkring 4):
    - Dijkring 1, Schiermonnikoog: de betrouwbaarheid sluiten van het kunstwerk en van drie dijkvakken (nr. 2, 3 en 4) de grasbekleding.
    - Dijkring 2, Ameland: geen aanvullende ingrepen (naast de in uitvoering zijnde versterking)
    - Dijkring 3, Terschelling: geen aanvullende ingrepen. Dit geldt zowel voor de situatie huidige ligging van de waterkering als voor de situatie met de voorgestelde ligging van de waterkering.
    - Dijkring 4, Vlieland: de basaltonbekleding van dijkvak 2 (dijk direct grenzend aan de Waddenzee). Dit geldt zowel voor de situatie huidige ligging van de waterkering als voor de situatie met de voorgestelde ligging van de waterkering.

#### 8.1.2 Gevolgen van overstromingen in dijkringgebieden 1, 2, 3 en 4

- De gevolgen van de overstroming in het betreffende dijkringgebied zijn sterk afhankelijk van de locatie van de bres(sen). Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de hoogte van het achterliggende gebied en de aanwezigheid van verhoogde lijnelementen, zoals regionale waterkeringen of voormalige waterkeringen, die compartimenterend kunnen werken. In de rekenmethodes is er van uitgegaan dat deze verhoogde elementen tijdens de overstroming in stand blijven. Op basis van

---

een gevoeligheidsanalyse blijkt (voor dijkkring 2) dat een aanzienlijke (factor 2) onderschatting kan optreden. Dit geldt alleen voor Ameland en betreft een conservatieve benadering. Voor de betreffende analyse geldt dat het overstromingsrisico eveneens zal toenemen, maar in absolute waarde nog steeds klein blijft.

- De grootste economische schade en de meeste slachtoffers zijn te verwachten bij doorbraken vanuit de Waddenzee. Doorbraken vanuit de Noordzee veroorzaken kleinere gevolgen vanwege de hoge ligging van het achterland en de compartimenterende werking van het duingebied.
- Het falen van de dijk bij Kinnum (dijkkring 3) veroorzaakt de grootste economische schade en de meeste slachtoffers van de vier eilanden. De schade bedraagt 140 miljoen euro en er kunnen tot 10 slachtoffers vallen. De schade kan voor dat ringdeel oplopen tot 180 miljoen euro schade en 40 slachtoffers indien de doorbraak bij hogere dan in de referentieberekening veronderstelde buitenwaterstanden plaatsvindt.
- De evacuatiefractie heeft een beperkte invloed op de absolute waarde van de overstromingsrisico's, aangezien deze relatief klein zijn. Om te voldoen aan de basisveiligheid (overlijdenskans van een individu moet kleiner zijn dan 1/100.000 per jaar) is de evacuatiefractie relevant. Verandering hiervan kan de opgave voor de te verbeteren vakken en kunstwerken vergroten. Dit is onderzocht door de grenzen van de evacuatiefractie te verkennen. In de referentie berekeningen is uitgegaan van een evacuatiefractie 65%. De hoogst haalbare fractie is 80%, aangezien er landelijk wordt uitgegaan dat 20% van de aanwezigen geen gehoor zal geven aan een evacuatiebevel. Het meest pessimistisch scenario is dat niemand geëvacueerd is.
  - Voor bijvoorbeeld dijkkring 1 neemt de opgave van één kunstwerk en één kilometer dijk toe naar 2,5 kilometer dijk, één kunstwerk en bijna twee kilometer duin (Waddenzee zijde), als de evacuatiefractie afneemt van 65% naar 0%.
  - Voor dijkkring 3 neemt de opgave toe naar 4,6 km dijk en één kunstwerk ten opzichte van geen opgave indien de evacuatiefractie afneemt van 65% naar 0%.
  - Voor dijkkring 2 en 4 heeft de evacuatiefractie geen consequenties bij een eis op een kans kleiner dan 1/100.000 per jaar.
- In de gevolgenberekening is geen rekening gehouden met de aanwezigheid van toeristen. De verwachting is dat dit op de absolute waarde van het slachtofferrisico geen significante invloed heeft, omdat het slachtoffer risico klein is.

### 8.1.3

#### *Overstromingsrisico's in dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4*

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, zie Tabel 45.

De overstromingsrisico's zijn relatief klein ten opzichte van bijvoorbeeld dijkkring 6, Friesland-Groningen. De verwachtingswaarde van de economische schade in dijkkring 6 is 22 miljoen euro per jaar en de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers 1,2 per jaar (na uitvoering van HWBP2-versterkingen).

		Dijkkring 1 Schier- monnikoog	Dijkkring 2 Ameland	Dijkkring 3 Terschelling	Dijkkring 4 Vlieland
Economisch risico	Verwachtingswaarde economische schade (M€ per jaar)	0,10	0,01	0,07	0,01
	Minimale economische schade bij een overstroming (M€)	2	94	137	12
	Gemiddelde <sup>14</sup> economische schade per overstroming (M€)	36	97	138	12
	Maximaal <sup>15</sup> economische schade bij een overstroming (M€)	64	220	139	12
Slachtoffer- risico	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers (per jaar)	0,001	<0,001	0,002	<0,001
	Minimaal aantal slachtoffers bij een overstroming	0	0	0	0
	Gemiddeld <sup>14</sup> aantal slachtoffers per overstroming	0,3	1,9	3,8	0,3
	Maximaal <sup>15</sup> aantal slachtoffers bij een overstroming	5	13	11	1
	Overlijdenskans van een individu per locatie, exclusief het effect van preventieve evacuatie (per jaar) (plaatsgebonden risico)	ca.40% >10 <sup>-5</sup>	overall <10 <sup>-5</sup>	ca.5% >10 <sup>-5</sup>	overall <10 <sup>-5</sup>
	Overlijdenskans van een individu per locatie, inclusief het effect van preventieve evacuatie (per jaar) (lokaal individueel risico)	ca.5% >10 <sup>-5</sup>	overall <10 <sup>-5</sup>	overall <10 <sup>-5</sup>	overall <10 <sup>-5</sup>

Tabel 45: Resultaten risicoberekeningen voor dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4.

<sup>14</sup> De gemiddelde economische schade of het gemiddeld aantal slachtoffers is de verwachtingswaarde gedeeld door de overstromingskans

<sup>15</sup> 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.

		Voorgestelde ligging dijkkring 3	Voorgestelde ligging dijkkring 4
Economisch risico	Verwachtingswaarde economische schade (M€ per jaar)	0,07	0,02
	Minimale economische schade bij een overstroming (M€)	0,01	8
	Gemiddelde <sup>16</sup> economische schade per overstroming (M€)	138	11
	Maximaal <sup>17</sup> economische schade bij een overstroming (M€)	181	12
Slachtoffer-risico	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers (per jaar)	0,002	<0,001
	Minimaal aantal slachtoffers bij een overstroming	0	0
	Gemiddeld <sup>16</sup> aantal slachtoffers per overstroming	3,8	0,2
	Maximaal <sup>17</sup> aantal slachtoffers bij een overstroming	48	1
	Overlijdenskans van een individu per locatie, exclusief het effect van preventieve evacuatie (per jaar) (plaatsgebonden risico)	ca.5% >10 <sup>-5</sup>	<10 <sup>-5</sup>
	Overlijdenskans van een individu per locatie, inclusief het effect van preventieve evacuatie (per jaar) (lokaal individueel risico)	<10 <sup>-5</sup>	<10 <sup>-5</sup>

Tabel 46: Resultaten risicoberekeningen voor voorgestelde ligging dijkkring 3 en 4.

- Het plaatsgebonden risico (risico zonder preventieve evacuatie) is voor een deel van het dijkkringgebied 1, Schiermonnikoog en dijkkringgebied 3, Terschelling, groter dan 1/100.000 (10<sup>-5</sup>) per jaar. Dit betreft gebieden zonder permanenten bewoning. In dijkkring 2 en 4 is het plaatsgebonden risico kleiner dan 1/100.000 (10<sup>-5</sup>) per jaar.
- Om het plaatsgebonden risico (PR, exclusief preventieve evacuatie) te verkleinen tot kleiner dan 1/100.000 per jaar, moeten er maatregelen worden genomen voor (Het plaatsgebonden risico kan ook worden beschouwd als het LIR met een evacuatiefractie van 0%):
  - dijkkring 1, Schiermonnikoog  
Om het plaatsgebonden risico overal te verkleinen tot kleiner dan 1/100.000 per jaar zijn verbeteringen nodig aan één kunstwerk, drie dijkvakken (grasbekleding) en één duinvak. Door de verbeteringen aan dijkkring 1, neemt de overstromingskans af naar 1/40.000 (van 1/350) per jaar en het overstromingsrisico neemt met een factor 67 af voor de verwachtingswaarde van het economische risico (van 0,103 naar 0,002 miljoen euro per jaar) en een factor 36 voor de verwachtingswaarde van het slachtofferrisico (van 0,0014 naar <0,0001 slachtoffers per jaar).
  - dijkkring 3, Terschelling  
Om het plaatsgebonden risico overal te verkleinen tot kleiner dan 1/100.000 per jaar zijn verbeteringen nodig aan één kunstwerk, drie dijkvakken (grasbekleding) en één dijkvak macrostabiliteit binnenwaarts). Door de verbeteringen aan dijkkring 3, neemt de overstromingskans af naar 1/11.000 (van 1/2.100) per jaar en het overstromingsrisico neemt met een factor van bijna 5 af voor de verwachtingswaarde van het economische risico (van 0,065 naar 0,015 miljoen euro per jaar) en bijna een factor van 3 voor de

<sup>16</sup> De gemiddelde economische schade of het gemiddeld aantal slachtoffers is de verwachtingswaarde gedeeld door de overstromingskans

<sup>17</sup> 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.

---

verwachtingswaarde van het slachtofferrisico (van 0,0018 naar 0,0006 slachtoffers per jaar).

- Het lokaal individuele risico (LIR, risico met preventieve evacuatie) is alleen in het oosten van dijkkringgebied 1, Schiermonnikoog groter dan  $1/100.000$  ( $10^{-5}$ ) per jaar. Dit wordt met name veroorzaakt door de grote waterdiepte. In dijkkring 2, 3 en 4 is het lokaal individuele risico kleiner dan  $1/100.000$  ( $10^{-5}$ ) per jaar.
- Om het lokaal individueel risico (LIR, inclusief preventieve evacuatie) overal te verkleinen tot kleiner dan  $1/100.000$  per jaar zijn verbeteringen nodig aan het kunstwerk en het dijkvak ten westen van de overgang met de Veerweg (grasbekleding). Voor de overige drie dijkringen is het LIR kleiner dan  $1/100.000$  per jaar. Door de verbeteringen aan dijkkring 1, neemt de overstromingskans af naar  $1/1.200$  (van  $1/350$ ) per jaar en het overstromingsrisico neemt met een factor 3,5 af voor zowel de verwachtingswaarde van het economische risico (van 0,103 naar 0,029 miljoen euro per jaar) als voor de verwachtingswaarde van het slachtofferrisico (van 0,0014 naar 0,0004 slachtoffers per jaar).
- Op basis van de risicoberekening is de kans op ten minste 100 miljoen euro schade kleiner dan  $1/1.000$  per jaar voor dijkringen 2 en 3. Voor dijkkring 1 en 4 is de schade kleiner dan 100 miljoen euro.  
De kans op ten minste 10 dodelijke slachtoffers is circa  $1/10.000$  per jaar voor dijkkring 3, Terschelling. De kans op een significant aantal slachtoffers in de dijkkringgebieden 1, 2 en 4 bij een overstroming is relatief klein. Een groepsgrootte van 10 slachtoffers wordt volgens de risicoberekeningen in die dijkringen niet gehaald (hierbij is rekening gehouden met preventieve evacuatie).
- In de dijkringen 1, 2, 3 en 4 blijkt dat het uitvoeren van ingrepen die de kans op een overstroming verkleinen, automatisch tot een daling van het overstromingsrisico leiden. Dit komt door het feit dat de locaties waar de kans op een doorbraak het grootste is tevens een dominante invloed op het overstromingsrisico hebben.
- De bandbreedte van het slachtofferrisico is bepaald door de preventieve evacuatiefractie gelijk te stellen aan 0% (ondergrens van aantal geëvacueerde) en 80% (theoretische bovengrens van aantal geëvacueerde). Dit heeft geen invloed op de overstromingskans en weinig invloed op het economisch risico. Zonder preventieve evacuatie (0%) neemt de verwachtingswaarde van het slachtofferrisico met bijna een factor 3 toe. Bij de gehanteerde bovengrenswaarde van 80% preventieve evacuatie neemt de verwachtingswaarde van het slachtofferrisico af met bijna een factor 2.



- Om te voldoen aan de overstromingskans per dijktraject zoals gedefinieerd in het Deltaprogramma Veiligheid [ref 25], versie van 6 januari 2014<sup>18</sup> zijn verbeteringen nodig voor dijkkring 1, Schiermonnikoog en voor dijkkring 4 Vlieland (voor beide dijkkringen 1/1.000 per jaar, voor de andere dijkkringen zijn geen verbeteringen nodig om te voldoen aan de overstromingskans).
  - Dijkkring 1, Schiermonnikoog:  
Verbetering is nodig voor de betrouwbaarheid sluiten van het kunstwerk en de grasbekleding ten westen van de overgang met de Veerweg (1km dijk). Hierdoor neemt de overstromingskans af naar 1/1.200 (van 1/350) per jaar en het overstromingsrisico neemt met een factor 3,5 af voor zowel de verwachtingswaarde van het economische risico (van 0,103 naar 0,029 miljoen euro per jaar) als voor de verwachtingswaarde van het slachtofferisico (van 0,0014 naar 0,0004 slachtoffers per jaar).
  - Dijkkring 4, Vlieland:  
Verbetering is nodig met de basaltbekleding van het 0,8 km dijktraject direct grenzend aan de Waddenzee. Dit geldt voor zowel de huidige ligging van de waterkering als van de voorgestelde ligging van de waterkering. Hierdoor neemt de overstromingskans af naar 1/63.000 (van 1/900) per jaar en het overstromingsrisico, zowel het economisch risico als het slachtofferisico neemt af tot bijna nul. Dit geldt voor zowel de huidige ligging van de waterkering als van de voorgestelde ligging van de waterkering.

## 8.2 Aanbevelingen

### 8.2.1 Faalkansen

#### *Algemeen*

- Voor de dijkvakken en kunstwerken met grote faalkansen wordt aanbevolen om, voorafgaand aan een versterking, nader onderzoek uit te voeren naar de werkelijke situatie in het veld. In de huidige faalkansbepalingen is er bij gegevenstekort met de kansen van voorkomen van uiteenlopende sterkte-eigenschappen gerekend. Door gericht metingen te verrichten, kunnen deze kansen veranderen, waardoor het beeld van de veiligheid mogelijk wijzigt. Dijkvakken met relatief grote faalkansen zijn dijkvakken 2, 3 en 4 op Schiermonnikoog en dijkvak 2 op Vlieland. Tevens heeft het kunstwerk op Schiermonnikoog een relatief hoge faalkans.
- In de gevoeligheidsanalyses is geen onderscheid gemaakt in de wijze waarop een verbetermaatregel uitgevoerd kan worden en dus ook niet wat de kosten zijn. De kosten van een verbetermaatregel kunnen relatief beperkt zijn. Als voorbeeld kan de relatief grote faalkans voor grasbekleding mogelijk eenvoudig worden gereduceerd door een grasmat (aan te kunnen tonen) met voldoende erosiebestendigheid te hebben of de betrouwbaarheid sluiten van kunstwerken te kunnen garanderen (c.q. verbeteren).

#### *Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam*

- Ten aanzien van grasbekledingen wordt opgemerkt dat de invoerwaarden voor met name de parameters worteldiepte, coëfficiënt gras, coëfficiënt erosie afdeklaag en versnelling erosieproces grofstoffelijk worden bepaald. Aangezien dit parameters zijn die relatief grote invloed hebben op de sterkte van grasbekledingen is een nadere detaillering wenselijk. Tevens is het van belang dat er duidelijker relaties komen tussen meetwaarden en invoerwaarden van de faalkansberekening.

<sup>18</sup> Voor de trajecten aan de Noordzee zijn nog geen waarde opgenomen in de technisch inhoudelijke uitwerking van 6 januari 2014. In Tabel 39 zijn wel de verbetermaatregelen opgenomen om te voldoen aan de 'normklasse' 1/300, 1/1.000 en 1/3.000 per jaar.

- 
- Op basis van de ervaring met de faalkansberekeningen met asfaltbekleding blijkt de asfaltdikte en de standaardafwijking zeer grote invloed te hebben op het resultaat. Tevens is de kwaliteit van de asfaltbekleding geen stochast of invoerparameter. Aanbevolen wordt om bij toekomstige (probabilistische) modellen hier rekening mee te houden.

#### *Opbarsten en piping*

- Voor het faalmechanisme *opbarsten en piping* zijn geen specifieke aanbevelingen gedaan. Wel wordt aangesloten bij de aanbevelingen uit de toetsing van dijkkring 3. Daar wordt aanbevolen de migratie van de geulen te blijven monitoren. In zowel de toetsing als in VNK2 is extra kwelweglengte toegepast. Indien deze lengte, door verplaatsing van de geulen naar de teen van de dijk, niet meer in rekening kan worden gebracht neemt de faalkans aanzienlijk toe.

#### *Duinafslag*

- Voor een nauwkeuriger resultaat van de probabilistische berekeningen (met PC-Ring op basis van DUROS+) dienen meerdere modelverbeteringen worden doorgevoerd, zodat nauwkeuriger rekening kan worden gehouden met aspecten zoals: een steile vooroever, gereduceerde golfbelasting, meerdere (onregelmatige) duinregels, gekromde kust. Aanbevolen wordt om bij toekomstige (probabilistische) modellen hier rekening mee te houden.

#### *Kunstwerken*

- Om de bijdrage van kunstwerken aan de overstromingskans te verkleinen wordt aanbevolen om nader onderzoek (verlagen sluitpeil, automatische sluiting, doorstroomoppervlak verkleinen, updaten sluitingsprotocol) uit te voeren naar de betrouwbaarheid van het sluitproces, met name voor de duiker op Schiermonnikoog.

### 8.2.2

#### *Risico's*

- Om te komen tot de 'norm', zoals is opgesteld in de technisch inhoudelijk uitwerking in het Deltaprogramma Veiligheid, dienen een beperkt aantal verbeterstappen te worden uitgevoerd nadat de versterkingen van het HWBP2 zijn afgerond. De technisch inhoudelijke uitwerking betreft het concept van 6 januari 2014, indien hier wijzigingen in optreden wordt het aanbevolen de analyse van nodige verbeterstappen te herzien.
- Voor de reductie van het overstromingsrisico zijn, afhankelijk van de analyse, diverse verbeterstappen voorgesteld. In de prioritering van deze verbeterstappen is nog geen rekening gehouden met de kosten en impact op de omgeving van een verbeterstap, waardoor het mogelijk is enkele verbeterstappen te combineren en/of een andere prioriteit te geven. Het wordt aanbevolen hier rekening mee te houden.

---

## Bijlage A Literatuur

- ref 1. Rijkswaterstaat-Waterdienst, 2012, Van Ruwe Data tot Overstromingsrisico. Versie 2.4b, 15 oktober 2012.
- ref 2. Rijkswaterstaat-WVL, 2014, Overall Kunstwerkenrapport, Dijkkring 1, Schiermonnikoog, Dijkkring 2, Ameland, Dijkkring 3 Terschelling, Dijkkring 4, Vlieland, 12 mei 2014.
- ref 3. Rijkswaterstaat-WVL, 2014, Dijkringen 1, 2, 3 en 4: Achtergrondrapport, 15 september 2014.
- ref 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.
- ref 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.
- ref 6. Steenbergen, H.M.G.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M., 2003, Theoriehandleiding PC-Ring, Versie 4.0, Deel C: Rekentechnieken, april 2003, TNO.
- ref 7. Maaskant, B. et al. 2009, Evacuatieschattingen Nederland. PR1718.10. HKV LIJN IN WATER, juli 2009.
- ref 8. VNK2, 2009, Conditionele kansen en evacuatiefracties binnen VNK2 Memorandum, oktober 2009.
- ref 9. Kok, M., et al., 2004, Standaardmethode2004 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen, DWW-2005-005, HKV LIJN IN WATER, november 2004.
- ref 10. Leenders, J., M. Janssen, 2014, Overstromingsberekeningen dijkkring 1 t/m 4 (Fryske wadden), PR1653.20, 28 februari 2014.
- ref 11. Groeneweg, J., C. Gautier, 2011, Verschilanalyse concept HR2011 en HR2006 voor de harde keringen in de Waddenzee, projectnummer 1204143-002, Deltares, november 2011. (niet openbaar).
- ref 12. ENW-TRDA2006 (2007). ENW-uitgave van Technisch Rapport Duinafslag. Beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering ten behoeve van Voorschrift Toetsing op Veiligheid 2006. WL | Delft Hydraulics (H4357). Mei 2007.
- ref 13. CBS, bevolkingsaantallen Vlieland, Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog, via: [www.cbs.nl](http://www.cbs.nl) (statline), januari 2014.
- ref 14. Janzen, R. et al., 2010, Samenvattend rapport derde veiligheidstoetsing, Waddenzeekering Ameland (dijkkring 2) en Waddenzeekering Terschelling (dijkkring 3), Wetterskip Fryslân, 10 augustus 2010.
- ref 15. DHV, augustus 2010, 'Toets dijkkring 1 t/m 4, waterkeringen bij Rijkswaterstaat in beheer', WG-SE20081627.
- ref 16. Deltares, Atlas 13 kustplaatsen oktober 2010.
- ref 17. Deltares, 2013, Geologische beschrijving dijkkring 1, in opdracht van Rijkswaterstaat VNK, 1206930-000-BGS-0037, 1 mei 2013.
- ref 18. Deltares, 2013, Geologische beschrijving dijkkring 2, in opdracht van Rijkswaterstaat VNK, 1206930-000-BGS-0038, 1 mei 2013.
- ref 19. Deltares, 2013, Geologische beschrijving dijkkring 3, in opdracht van Rijkswaterstaat VNK, 1206930-000-BGS-0039, 26 april 2013.

- 
- ref 20. Deltares, 2013, Geologische beschrijving dijkkring 4, in opdracht van Rijkswaterstaat VNK, 1206930-000-BGS-0040, 26 april 2013.
- ref 21. Rijkswaterstaat, 2008, Decimeringshoogten TMR2006, RW1708-1/zeir/006, 19 juni 2008.
- ref 22. Alterra, 2004, Hazebroek, E., Beoordeling dijkgrasland Friese Kust, Waddenzeedijk Terschelling, Alterra-rapport 1002, ISSN 1566-7197
- ref 23. Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007). Hydraulische randvoorwaarden primaire waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR 2006).
- ref 24. Waterwet, 29 januari 2009, inwerkingtreding 22 december 2009.
- ref 25. Deltaprogramma Veiligheid, 2014. Technisch-Inhoudelijke uitwerking DPV 2.0. Werkdocument Deelprogramma Veiligheid, concept van 6 januari 2014.
- ref 26. Witteveen & Bos, juni 2013, Projectplan dijkverbetering Waddenzeedijk Ameland.
- ref 27. Witteveen & Bos, augustus 2013, oplegnotitie bij het projectplan dijkverbetering Waddenzeedijk Ameland.
- ref 28. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004, De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nedeland, Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001 – 2006 (VTV).
- ref 29. Verheij H.J., Knaap, van der, 2003, Aanpassen van het bresgroeimodel binnen HIS-OM; Deltares, Q3299, november 2003.
- ref 30. KNMI, [http://www.knmi.nl/klimatologie/storm\\_okt13.html](http://www.knmi.nl/klimatologie/storm_okt13.html) en <http://weerverleden.nl/20131028&all>.
- ref 31. HKV (2012). Overstromingskansen voor de Nederlandse kust. Oktober 2012.
- ref 32. Deltaprogramma kust (2012). Aandachtslocaties veiligheid kust. Juli 2012.
- ref 33. Alkyon (2010). Analyse veiligheid kustvak Ameland – bijdrage aan beheerdersoordeel Rijkswaterstaat (DNN). September 2010.
- ref 34. Werkgroep Waterkeringen Vlieland/Terschelling (2012). De primaire waterkering Terschelling: onderzoek naar alternatieve tracés. Versie 1.6, April 2012.
- ref 35. Werkgroep Waterkeringen Vlieland/Terschelling (2012). De primaire waterkering Vlieland: onderzoek naar alternatieve tracés. Versie 1.6, April 2012.
- ref 36. Inspectie Verkeer en Waterstaat (2011). Derde toets primaire waterkeringen. November 2011.
- ref 37. Wiertsema&Partners, 5 november 2008, 'Resultaten grondonderzoek ten behoeve van dijktoetsing van het waddeneiland Schiermonnikoog', opdracht nr: VN-46514.
- ref 38. Alterra, 2004, 'Beoordeling erosiebestendigheid dijkgrasland Friese kust, 3. Waddenzeedijk Ameland', ISSN 1566-7197
- ref 39. Witteveen & Bos, 2011, Notitie: Maatregelen tegen piping, AME5-3/zutd/003, 20 september 2011.
- ref 40. Luijendijk, M. S., 2013, Monitoringsplan Livedijk Ameland, kenmerk 1206727-000-GEO-0003, Deltares, 8 januari 2013.
- ref 41. Steendam, G.J., 2005, Uitgebreide Rapportage Veiligheidstoetsing Ameland, versie 1.0, projectnummer 04i053, Infram, januari 2005.
- ref 42. Cirkel, J.H. et al, 2010, Toets dijkkring 1 t/m 4, Waterkeringen bij Rijkswaterstaat in beheer (volgens VTV2006), Dossier B3037.73.001, DHV, 11 mei 2010.

---

## 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.

**Dijkring**

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

**Dijkringgebied**

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

**Dijkringsegment**

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

**Dijkvak**

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

**Duin**

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

**Duinafslag**

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

**Faalmechanisme**

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

**Falen**

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

**Gemiddelde waarde van een stochast**

De verwachtingswaarde ( $\mu$ ) van een stochast.

**Gevolgenmatrix**

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

**Golfoploop**

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

**Golfoverslag**

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

---

**Grensprofiel**

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

**Grenstoestand**

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

**Groepsrisico**

Het groepsrisico beschrijft de kansen op overschrijding van bepaalde 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.

---

**Macrostabiliiteit**

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 *macrostabiliiteit 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 dijkring) op één of meer plaatsen faalt.

**Overstromingsrisico**

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

**Overstromingsberekening**

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



---

### **Overstromingsscenario**

Een 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 VNK2-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 grootte. 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 ( $\sigma$ ) en het gemiddelde ( $\mu$ ):  
 $V = \sigma/\mu$ .

**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 dijkringen 1, 2, 3 en 4

nr	Dijkvaknaam	van [km]	tot [km]	Reden grens (t.p.v. einde vak)
01	DV01_0.00km_0.60km	0,00	0,60	Grens toetsvak
02	DV02_0.60km_1.60km	0,60	1,60	i.v.m. lengte extra knip
03	DV03_1.60km_2.60km	1,60	2,60	Grens toetsvak
04	DV04_2.60km_3.10km	2,60	3,10	Grens toetsvak
05	DV05_3.10km_3.60km	3,10	3,60	Grens toetsvak
06	DV06_3.60km_4.00km	3,60	4,00	einde dijk

Tabel 47: Dijkvakindeling met reden van dijkvakgrens dijkkring 1, Schiermonnikoog.

nr	Dijkvaknaam	van [km]	tot [km]	Reden grens (t.p.v. einde vak)
01	DV01_0.00km_1.50km	0,00	1,50	Grens toetsvak
02	DV02_1.50km_3.30km	1,50	3,30	Grens toetsvak (piping)
03	DV03_3.30km_3.90km	3,30	3,90	Grens toetsvak
04	DV04_3.90km_5.50km	3,90	5,50	Grens toetsvak
05	DV05_5.50km_6.70km	5,50	6,70	Grens toetsvak
06	DV06_6.70km_7.45km	6,70	7,45	Grens toetsvak (stabiliteit)
07	DV07_7.45km_8.10km	7,45	8,10	Grens toetsvak
08	DV08_8.10km_9.65km	8,10	9,65	reduceren vaklengte en oriëntatie
09	DV09_9.65km_11.00km	9,65	11,00	Grens toetsvak
10	DV10_11.00km_13.10km	11,00	13,10	Grens toetsvak
11	DV11_13.10km_14.40km	13,10	14,40	Grens toetsvak (hoogte)
12	DV12_14.40km_16.30km	14,40	16,30	Grens projectplanvak
13	DV13_16.30km_16.50km	16,30	16,50	einde dijk

Tabel 48: Dijkvakindeling met reden van dijkvakgrens dijkkring 2, Ameland.

nr	Dijkvaknaam	van [km]	tot [km]	Reden grens (t.p.v. einde vak)
01	DV01_0.00km_0.70km	0,00	0,70	Grens toetsvak
02	DV02_0.70km_2.00km	0,70	2,00	Grens toetsvak
03	DV03_2.00km_2.70km	2,00	2,70	Grens toetsvak
04	DV04_2.70km_3.40km	2,70	3,40	Grens toetsvak
05	DV05_3.40km_4.60km	3,40	4,60	Grens toetsvak
06	DV06_4.60km_5.30km	4,60	5,30	Grens toetsvak (hoogte)
07	DV07_5.30km_6.80km	5,30	6,80	Grens toetsvak
08	DV08_6.80km_7.40km	6,80	7,40	Grens toetsvak
09	DV09_7.40km_8.30km	7,40	8,30	Grens toetsvak
10	DV10_8.30km_9.00km	8,30	9,00	lengte en dijkverloop
11	DV11_9.00km_10.00km	9,00	10,00	Grens toetsvak
12	DV12_10.00km_11.25km	10,00	11,25	Grens toetsvak (hoogte)
13	DV13_11.25km_12.45km	11,25	12,45	Grens toetsvak (hoogte)
14	DV14_12.45km_13.40km	12,45	13,40	Grens toetsvak
15	DV15_13.40km_13.87km	13,40	13,87	einde dijk

Tabel 49: Dijkvakindeling met reden van dijkvakgrens dijkkring 3, Terschelling.

nr	Dijkvaknaam	van Hectometrering Zeedijk	tot Hectometrering Zeedijk	Reden grens (t.p.v. einde vak)
1	DV1_km_1.155-km_1.340	0	100	Grens toetsvak
2	DV2_km_0.373-km_1.155	100	860	Grens toetsvak
3	DV3_km_0.213-km_0.373	860	940	einde dijk

(Verschil in hectometrering en kilometrering komt o.a. voort uit startpunt van de 'dijk' en gebrek aan exacte locatie vakgrens tijdens de toetsing. Dit heeft geen invloed op het resultaat)

Tabel 50: Dijkvakindeling met reden van dijkvakgrens dijkring 4, Vlieland.

nr.	duinvaknaam	van RSP	tot RSP	Reden grens (t.p.v. einde vak)
07	DV07_RSP0_RSP180	0	180	Hoogteligging achterland
08	DV08_RSP200_RSP320	200	320	Lengte
09	DV09_RSP340_RSP460	340	460	Oriëntatie en voorland
10	DV10_RSP480_RSP600	480	600	Oriëntatie
11	DV11_RSP620_RSP620	620	620	Oriëntatie
12	DV12_RSP640_RSP820	640	820	Einde duin (dijk/duin)

Tabel 51: Duinvakindeling met de reden van de grens dijkring 1, Schiermonnikoog.

nr.	duinvaknaam	van [km]	tot [km]	Reden grens (t.p.v. einde vak)
14	DV14_RSP4860_RSP4928	4860	4928	Oriëntatie en hoogte achterland
15	DV15_RSP4928_RSP460	4928	460	Oriëntatie
16	DV16_RSP460_RSP820	460	820	Oriëntatie en voorland
17	DV17_RSP820_RSP1080	820	1080	Oriëntatie
18	DV18_RSP1080_RSP1280	1080	1280	Oriëntatie en voorland
19	DV19_RSP1280_RSP1360	1280	1360	Oriëntatie en voorland
20	DV20_RSP1360_RSP1520	1360	1520	Oriëntatie en voorland
21	DV21_RSP1520_RSP1680	1520	1680	Oriëntatie en belasting
22	DV22_RSP1680_RSP1800	1680	1800	Einde duin (dijk/duin)

Tabel 52: Duinvakindeling met de reden van de grens dijkring 2, Ameland.

nr.	duinvaknaam	van RSP	tot RSP	Reden grens (t.p.v. einde vak)
1	DV1_RSP0_RSP760	0	760	Oriëntatie
2	DV2_RSP780_RSP860	780	860	Oriëntatie en voorland
3	DV3_RSP880_RSP1160	880	1160	Oriëntatie en voorland
4	DV4_RSP1180_RSP1340	1180	1340	Oriëntatie en voorland
5	DV5_RSP1360_RSP1540	1360	1540	Lengte (knip westelijk-oostelijk deel)
6	DV6_RSP1560_RSP1760	1560	1760	Einde duin (dijk/duin)

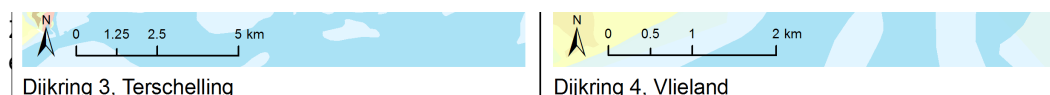
Tabel 53: Duinvakindeling (voorstel primaire kering) met de reden van de grens dijkring 3, Terschelling.

De huidige ligging van de primaire kering van dijkring 3, Terschelling, is vergelijkbaar met de indeling uit Tabel 53, alleen de ligging van duinvak 2 en 3 (en een stukje van duinvak 4) is anders. De start en eindlocatie van de RSP zijn identiek.

nr.	duinvaknaam	van RSP	tot RSP	Reden grens (t.p.v. einde vak)
1	Duinvak 1	n.v.t.	n.v.t.	Einde massief hoge duin
2	Duinvak 2	n.v.t.	n.v.t.	Oriëntatie en voorland
3	DV 3_RSP4970_RSP5023	4970	5023	Verskil in achterland
4	DV 4_RSP5041_RSP5077	5041	5077	Overgang naar massievere duinregel
5	DV 5_RSP5095_RSP5165	5095	5165	Overgang naar kleinere duinregel
6	DV 6_RSP5175_RSP5250	5175	5250	Lengte en verschil jarkusprofielen
7	DV 7_RSP5289_RSP5329	5289	5329	Oriëntatie
8	DV 8_RSP5345_RSP5440	5345	5440	Oriëntatie en belasting Waddenzee
9	Duinvak 9	n.v.t.	n.v.t.	Einde duin (dijk/duin)

Tabel 54: Duinvakindeling (voorstel primaire kering) met de reden van de grens dijkkring 4, Vlieland.

De huidige ligging van de primaire kering van dijkkring 4, Vlieland, is verschillend ten opzichte van de indeling uit Tabel 54. Het duinvak in de huidige situatie gaat ten noorden van de dorpskern van de ene dijk-duin overgang naar de andere dijk-duin-overgang.



Figuur 29(paragraaf 4.1.2).

In Tabel 55 tot en met Tabel 58 staan voor de dijktrajecten de resultaten uit de derde toetsronde en de selectie voor de kwantitatieve analyse. De selectie van kunstwerken is beschreven in het achtergrondrapport kunstwerken en de selectie van duinen in het faalmechanisme rapport duinafslag.

Dijkvak definitief	Hoogte	Piping	Stabiliteit	Bekleding	Hoogte	Piping	Stabiliteit	Bekleding	Opmerkingen
01	V	G	G	O	X		X	X	
02	V	G	G	O	X			X	
03	V	G	G	O	X			X	
04	V	G	G	O	X			X	
05	V	G	G	O	X			X	
06	G	G	G	O	X			X	

Score op basis van technisch oordeel derde toetsronde [ref 42]

Tabel 55: Overzicht van faalmechanismen per dijkvak, dijkkring 1 (legenda is opgenomen onder Tabel 58)

Dijkvak definitief	Hoogte	Piping	Stabiliteit	Bekleding	Hoogte	Piping	Stabiliteit	Bekleding	Opmerkingen
01	V	G	G	O	X			X	
02	V	G	G	O	X				
03	V	G*	G	O	X				Mits geul op afstand
04	V	G*	G	O	X				Mits geul op afstand
05	V	G*	G	O	X				Mits geul op afstand
06	V	G*	G	O	X	X			Mits geul op afstand
07	V	G	G	O	X				
08	V	G	G	O	X				
09	V	G	G	O	X			X	
10	V	G	G	O	X		X		
11	V	G	G	GO	X				
12	V	G*	G	O	X				Mits geul op afstand
13	V	G	G	O	X				

\* Mits visuele controle: afwezigheid geulen binnen 112 m uit buitenteen

Score op basis van 3e toetsronde [ref 14] die zijn overgenomen uit de 2<sup>e</sup> toetsronde [ref 41]

Tabel 56: Overzicht van faalmechanismen per dijkvak, dijkkring 2 (legenda is opgenomen onder Tabel 58)

Dijkvak definitief	Hoogte	Piping	Stabiliteit	Bekleding	Hoogte	Piping	Stabiliteit	Bekleding	Opmerkingen
01	V*	G	G	V	X				
02	V*	V	G	V	X	X		X	Na HWBP verbetering
03	V*	G	G	O	X			X	Bekl. onvoldoende door het deelspoor erosie door golfoverslag. O.b.v. reactie helpdeskwater en beheerdersoordeel is de bekleding goedgekeurd
04	V*	G	G	O	X			X	
05	V*	G	G	O	X			X	
06	V*	G	G	O	X	X		X	
07	V*	G	G	O	X			X	
08	V*	G	G	O	X			X	
09	V*	G	G	O	X			X	
10	V*	G	G	O	X			X	
11	V*	G	G	O	X	X		X	
12	V*	G	G	V	X	X			Na HWBP verbetering
13	V*	G	G	V	X		X		
14	V*	G	G	V	X				
15	G	G	G	V	X				

\* In het technisch oordeel [ref 14] is de score 'geen oordeel' gegeven in verband met een te hoog zandgehalte in de zode en de beoordeling dus buiten de toepassingsvoorwaarden.

Score op basis van het Eindoordeel [ref 14] behalve bekleding, score bekleding op basis van samenvatting resultaten steentoets behorende bij [ref 14]

Tabel 57: Overzicht van faalmechanismen per dijkvak, dijkkring 3 (legenda is opgenomen onder Tabel 58)



Dijkvak definitief	Hoogte	Piping	Stabiliteit	Bekleding	Hoogte	Piping	Stabiliteit	Bekleding	Opmerkingen
01	G	G	G	O	X			X	
02	G	G	G	O	X	X	X	X	
03	G	G	G	O	X			X	

Score op basis van technisch oordeel derde toetsronde [ref 42] = beheerdersoordeel

Tabel 58: Overzicht van faalmechanismen per dijkvak, dijkkring 4 (legenda is opgenomen onder Tabel 58)

**Legenda:**

x	Vak wordt geschematiseerd in VNK2 analyse
	Bekleding wordt aangepast volgens versterkingsplan
O	de score 'Onvoldoende' gekregen in de toetsing
GO	de score 'Geen Oordeel' of 'Nader Onderzoek' gekregen in de toetsing
V	de score 'Voldoende' gekregen in de toetsing



---

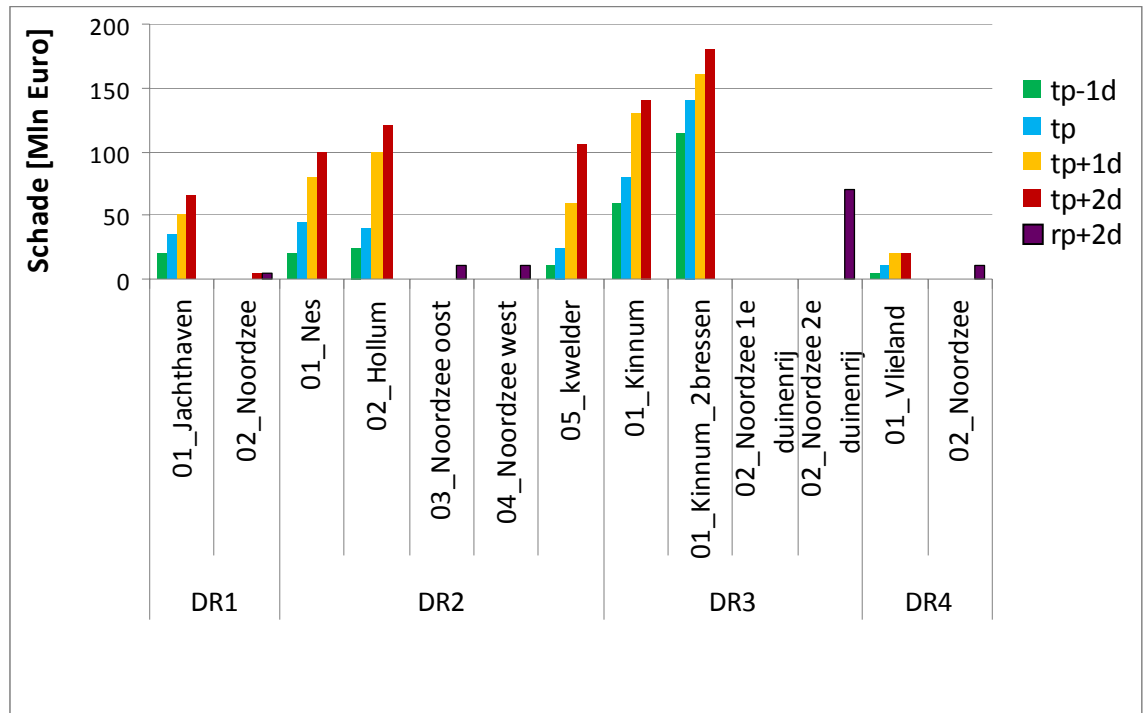
## **Bijlage D Overzicht resultaten overstromingsberekeningen**

De resultaten van de overstromingsberekeningen voor dijkkringgebieden 1, 2, 3 en 4 zijn per ringdeel samengevat in Tabel 59 en Figuur 63.

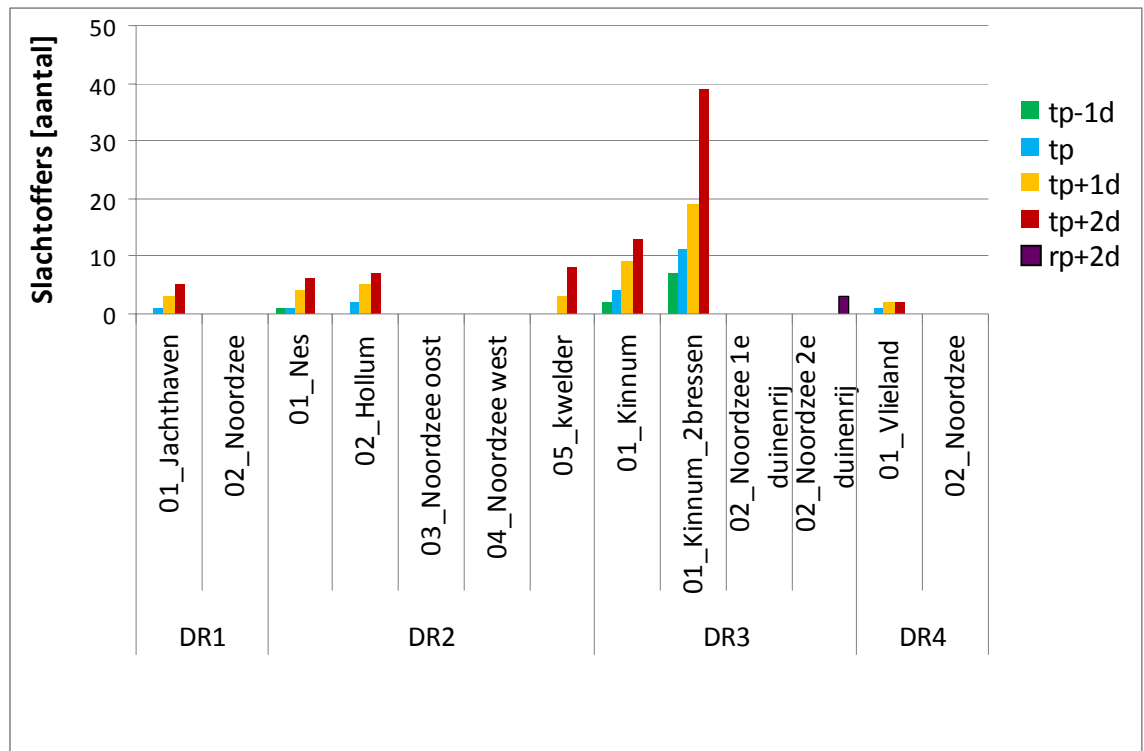
DKR		tp-1d	tp	tp+1d	tp+2d	rp+2d
1	<b>1- Jachthaven</b> schade (miljoen €) aantal slachtoffers	20 0-5	35 0-5	50 0-5	65 0-5	
1	<b>2- Noordzee</b> schade (miljoen €) aantal slachtoffers				< 5 0-5	< 5 0-5
2	<b>1- Nes</b> schade (miljoen €) aantal slachtoffers	20 0-5	45 0-5	80 0-5	100 0-5	
2	<b>2 - Hollum</b> schade (miljoen €) aantal slachtoffers	25 0-5	40 0-5	100 0-5	120 0-5	
2	<b>3 - Noordzee oost</b> schade (miljoen €) aantal slachtoffers					10 0-5
2	<b>4 - Noordzee - west</b> schade (miljoen €) aantal slachtoffers					10 0-5
2	<b>5 - kwelder</b> schade (miljoen €) aantal slachtoffers	10 0-5	25 0-5	60 0-5	105 0-5	
3	<b>1 - Kinum</b> schade (miljoen €) aantal slachtoffers	60 0-5	80 0-5	130 0-10	140 0-10	
3	<b>1 - Kinum</b> <b>2 bressen</b> schade (miljoen €) aantal slachtoffers	115 0-5	140 0-10	160 0-20	180 0-40	
3	<b>2 - Noordzee</b> <b>1° duinenrij</b> schade (miljoen €) aantal slachtoffers					< 5 0-5
3	<b>2 - Noordzee</b> <b>2° duinenrij</b> schade (miljoen €) aantal slachtoffers					70 0-5
4	<b>1- Vlieland</b> schade (miljoen €) aantal slachtoffers	5 0-5	10 0-5	20 0-5	20 0-5	
4	<b>2 - Noordzee</b> <b>1° duinenrij</b> schade (miljoen €) aantal slachtoffers					10 0-5

Tabel 59: Overzicht resultaten overstromingsberekeningen.

### A: Schade



### B: Slachtoffers



Figuur 63: Schade (miljoen Euro) en slachtoffers (-) voor evacuatiestrategie 1 bij verschillende doorbraaklocaties.

---

## Bijlage E Overstromingsscenario's

Scenario	Scenariokans	HIS-SSM overstromingsberekening
01	2.87E-03	RD01_Jachthaven_TP
02	1.27E-07	RD02_Noordzee_rpp2d
0102	6.76E-10	0102

Tabel 60: Koppeling doorbraakscenario's aan HIS-SSM overstromingsberekeningen, dijkkring 1.

Scenario	Scenariokans	HIS-SSM overstromingsberekening
01	4.63E-05	RD01_Nes_tpp2d
02	5.20E-05	RD02_Hollum_tpp1d
0102	3.67E-09	RD0102_Nes_tpp2d

Tabel 61: Koppeling doorbraakscenario's aan HIS-SSM overstromingsberekeningen, dijkkring 2.

Scenario	Scenariokans	HIS-SSM overstromingsberekening
01	4.78E-04	RD01x_Kinum_tp_2bressen

Tabel 62: Koppeling doorbraakscenario's aan HIS-SSM overstromingsberekeningen, dijkkring 3 huidige situatie.

Scenario	Scenariokans	HIS-SSM overstromingsberekening
01	4.78E-04	RD01x_Kinum_tp_2bressen
02	6.15E-14	RD02_Noordzee_rpp2d_1eduinenrij
0102	2.94E-17	Maximaal_Scenario

Tabel 63: Koppeling doorbraakscenario's aan HIS-SSM overstromingsberekeningen, dijkkring 3 voorgestelde ligging.

Scenario	Scenariokans	HIS-SSM overstromingsberekening
01	1.12E-03	RD01_vlieland_tp

Tabel 64: Koppeling doorbraakscenario's aan HIS-SSM overstromingsberekeningen, dijkkring 4 huidige situatie.

Scenario	Scenariokans	HIS-SSM overstromingsberekening
01	1.12E-03	RD01_vlieland_tp
02	4.08E-04	RD02_Noordzee_rpp2d
0102	4.56E-07	RD02_Noordzee_rpp2d

Tabel 65: Koppeling doorbraakscenario's aan HIS-SSM overstromingsberekeningen, dijkkring 4 voorgestelde ligging.





## Bijlage F Kansen, gevolgen en risico's per scenario

Scenario	Scenario-kans	Onverwachte overstroming, Geen evacuatie			Onverwachte overstroming, Niet georganiseerde evacuatie			Verwachte overstroming, Niet georganiseerde evacuatie			Verwachte overstroming, Georganiseerde evacuatie		
		Conditionele kans	Econ, schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers
01	2.87E-03	2.50E-01	2.59E+04	1.01E-03	4.00E-01	4.12E+04	3.22E-04	1.00E-01	1.03E+04	8.05E-05	2.50E-01	2.58E+04	0.00E+00
02	1.27E-07	2.50E-01	4.93E-02	5.22E-10	4.00E-01	7.87E-02	1.67E-10	1.00E-01	1.97E-02	4.18E-11	2.50E-01	4.92E-02	0.00E+00
0102	6.76E-10	2.50E-01	1.09E-02	7.76E-10	4.00E-01	1.72E-02	2.48E-10	1.00E-01	4.31E-03	6.21E-11	2.50E-01	1.08E-02	0.00E+00

Tabel 66: Risicoberekeningen per scenario met economische schade risico en slachtofferrisico, dijkkring 1.

Scenario	Scenario-kans	Onverwachte overstroming, Geen evacuatie			Onverwachte overstroming, Niet georganiseerde evacuatie			Verwachte overstroming, Niet georganiseerde evacuatie			Verwachte overstroming, Georganiseerde evacuatie		
		Conditionele kans	Econ, schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers
01	4.63E-05	2.50E-01	1.15E+03	8.04E-05	4.00E-01	1.82E+03	2.57E-05	1.00E-01	4.55E+02	6.44E-06	2.50E-01	1.14E+03	0.00E+00
02	5.20E-05	2.50E-01	1.23E+03	5.31E-05	4.00E-01	1.97E+03	1.70E-05	1.00E-01	4.91E+02	4.25E-06	2.50E-01	1.23E+03	0.00E+00
0102	3.67E-09	2.50E-01	2.02E-01	1.20E-08	4.00E-01	3.21E-01	3.84E-09	1.00E-01	8.03E-02	9.61E-10	2.50E-01	2.00E-01	0.00E+00

Tabel 67: Risicoberekeningen per scenario met economische schade risico en slachtofferrisico, dijkkring 2.

Scenario	Scenario-kans	Onverwachte overstrooming, Geen evacuatie			Onverwachte overstrooming, Niet georganiseerde evacuatie			Verwachte overstrooming, Niet georganiseerde evacuatie			Verwachte overstrooming, Georganiseerde evacuatie		
		Conditionele kans	Econ, schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers
01	4.78E-04	2.50E-01	1.66E+04	1.26E-03	4.00E-01	2.63E+04	4.03E-04	1.00E-01	6.57E+03	1.01E-04	2.50E-01	1.64E+04	0.00E+00

Tabel 68: Risicoberekeningen per scenario met economische schade risico en slachtofferrisico, dijkkring 3 huidige ligging.

Scenario	Scenario-kans	Onverwachte overstrooming, Geen evacuatie			Onverwachte overstrooming, Niet georganiseerde evacuatie			Verwachte overstrooming, Niet georganiseerde evacuatie			Verwachte overstrooming, Georganiseerde evacuatie		
		Conditionele kans	Econ, schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers
01	4.78E-04	2.50E-01	1.66E+04	1.26E-03	4.00E-01	2.63E+04	4.03E-04	1.00E-01	6.57E+03	1.01E-04	2.50E-01	1.64E+04	0.00E+00
02	6.15E-14	2.50E-01	1.62E-10	0.00E+00	4.00E-01	2.60E-10	0.00E+00	1.00E-01	6.50E-11	0.00E+00	2.50E-01	1.62E-10	0.00E+00
0102	2.94E-17	2.50E-01	1.33E-09	3.51E-16	4.00E-01	2.11E-09	1.12E-16	1.00E-01	5.28E-10	2.81E-17	2.50E-01	1.32E-09	0.00E+00

Tabel 69: Risicoberekeningen per scenario met economische schade risico en slachtofferrisico, dijkkring 3 voorgestelde ligging.

Scenario	Scenario-kans	Onverwachte overstrooming, Geen evacuatie			Onverwachte overstrooming, Niet georganiseerde evacuatie			Verwachte overstrooming, Niet georganiseerde evacuatie			Verwachte overstrooming, Georganiseerde evacuatie		
		Conditionele kans	Econ, schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers
01	1.12E-03	2.50E-01	3.39E+03	2.62E-04	4.00E-01	5.38E+03	8.38E-05	1.00E-01	1.34E+03	2.10E-05	2.50E-01	3.35E+03	0.00E+00

Tabel 70: Risicoberekeningen per scenario met economische schade risico en slachtofferrisico, dijkkring 4 huidige ligging.

Scenario	Scenario-kans	Onverwachte overstrooming, Geen evacuatie			Onverwachte overstrooming, Niet georganiseerde evacuatie			Verwachte overstrooming, Niet georganiseerde evacuatie			Verwachte overstrooming, Georganiseerde evacuatie		
		Conditionele kans	Econ, schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers	Conditionele kans	econ, Schade (euro)	Aantal slachtoffers
01	1.12E-03	2.50E-01	3.39E+03	2.62E-04	4.00E-01	5.37E+03	8.38E-05	1.00E-01	1.34E+03	2.09E-05	2.50E-01	3.35E+03	0.00E+00
02	4.08E-04	2.50E-01	8.35E+02	3.22E-05	4.00E-01	1.33E+03	1.03E-05	1.00E-01	3.32E+02	2.57E-06	2.50E-01	8.30E+02	0.00E+00
0102	4.56E-07	2.50E-01	3.19E+00	3.17E-07	4.00E-01	5.06E+00	1.01E-07	1.00E-01	1.26E+00	2.53E-08	2.50E-01	3.15E+00	0.00E+00

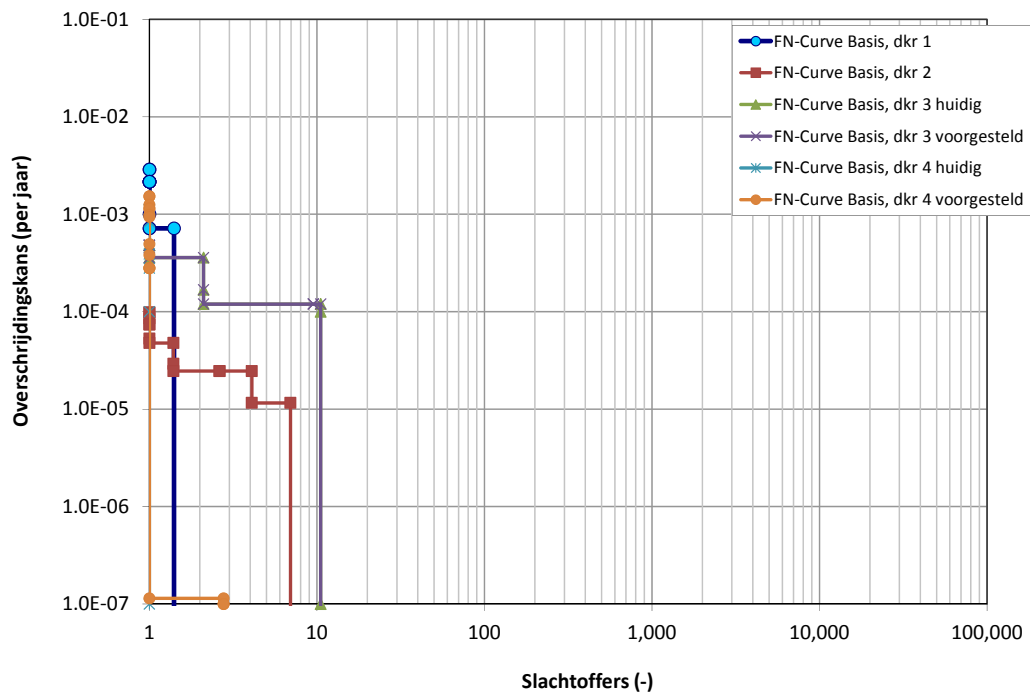
Tabel 71: Risicoberekeningen per scenario met economische schade risico en slachtofferrisico, dijkkring 4 voorgestelde ligging.



## Bijlage G Groepsrisico

In Figuur 64 zijn de FN-curven van dijkkringgebieden weergegeven. In de berekening van het groepsrisico is het effect van evacuatie meegenomen.

In verband met het beperkte aantal te verwachten slachtoffers bij een overstroming levert het gebruik van de FN-curve voor de dijkringen 1, 2, 3 en 4 niet een duidelijke toegevoegde waarde, toch zijn de curves volledigheidshalve wel opgenomen. De belangrijkste conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat de kans op een significant aantal slachtoffers bij een overstroming relatief klein is. Dit komt met name door de beperkte hoeveelheid inwoners in het gebied. Daarnaast ook door rekening te houden met een relatief hoog percentage (ten opzichte van andere dijkringen in Nederland) preventieve evacuatie bij een overstroming, waardoor minder mensen blootgesteld worden aan een overstroming. Zoals eerder aangegeven is er geen rekening gehouden met toeristen op het eiland.



Figuur 64: FN-Curve.

---

---

## Bijlage H Aanvullende gevoeligheidsanalyses

Naast de gevoeligheidsanalyses in hoofdstuk 7 zijn de volgende drie analyses uitgevoerd:

- Analyse golfbelasting
- Invloed van de graskwaliteit op de overstromingskans
- Invloed van standzekerheid van de regionale kering Ameland

### **H.1 Analyse op golfbelasting**

#### *H.1.1 Inleiding*

Binnen VNK2 zijn voor verschillende faalmechanismen berekeningen uitgevoerd. De hydraulische belastingen die daarvoor zijn gebruikt komen uit de beschikbare hydraulische databases (zie paragraaf 3.2.1) met daarin gegevens zoals waterstanden en golfhoogten. Op basis van de ervaring van de beheerder (RWS) met onder andere de toetsing is er het vermoeden dat in de databases mogelijk te lage golfhoogten zijn opgenomen. Dit zou een onderschatting van de faalkans betekenen en daarmee een onderschatting van het overstromingsrisico. Op grond van dit vermoeden is een analyse uitgevoerd waarbij de gemeten waterstanden en golfhoogten van twee recente stormen zijn vergeleken met de waterstanden en golfhoogten zoals ze in PC-Ring zijn bepaald op het moment van falen<sup>19</sup>. De volgende hypothese is hierbij getoetst: de gemeten waterstanden en golfhoogten overschrijden de berekende waarden uit de beschikbare hydraulische databases en levert daardoor een onderschatting van de faalkans op en dus een onderschatting van het overstromingsrisico.

#### *H.1.2 Analyses*

De vergelijking is gemaakt voor dijkkring 2, Ameland, wegens de beschikbaarheid van metingen ten zuiden van dit eiland in de Waddenzee. Voor de analyse is de bekleding van dijkvak 9 beschouwd. Figuur 65 geeft de locatie van dijkvak 9 weer en de meetlocatie.

---

<sup>19</sup> Dit zijn de ontwerpbeurtwaterstanden en golfhoogten. Dat betekent dat deze waarde de grootste bijdrage leveren aan het falen van de kering voor het betreffende faalmechanisme. Andere combinaties van waterstanden en golfhoogte kunnen ook tot falen leiden maar hebben een kleinere kans.



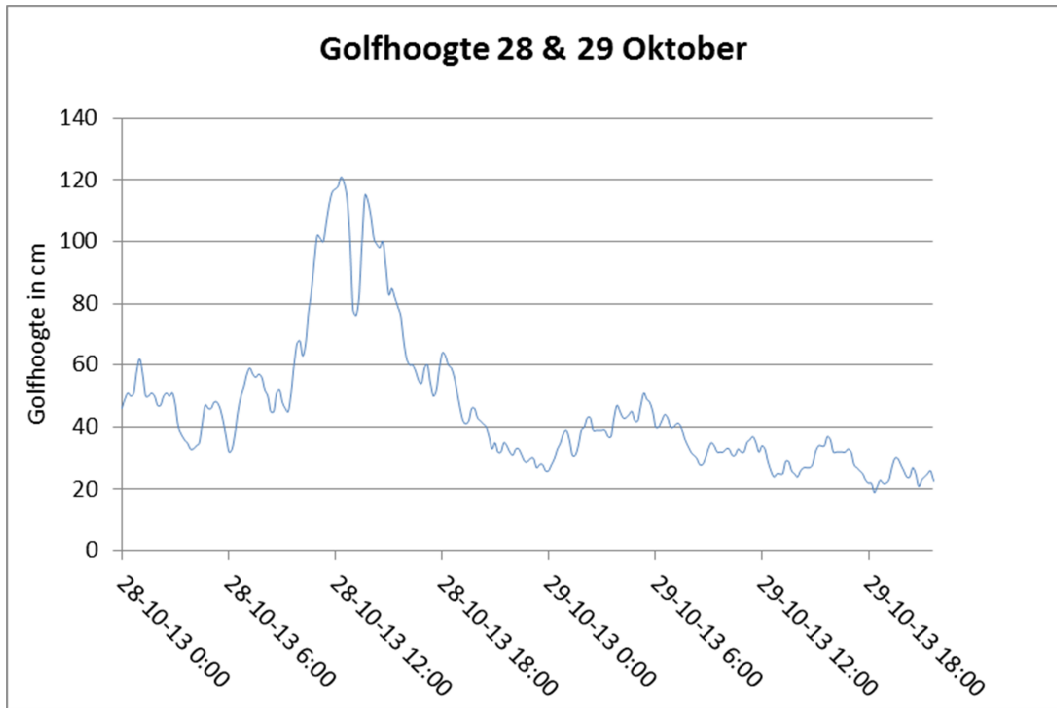
Figuur 65: Locatie Dijkvak 9 en meetstation.

Voor de vergelijking zijn meetgegevens van 28 en 29 oktober, 5 en 6 december 2013 gebruikt. Gedurende deze periode hebben twee stormen plaatsgevonden. Eind oktober trok een storm over Nederland waar voor de kustprovincies 'code oranje' (zware windstoten) was afgegeven door het KNMI. De Waddeneilanden ondervonden plaatselijk een zeer zware storm (11 Beaufort). Gedurende de storm kwam de wind uit zuidwestelijke richting. Op 5 en 6 december was weer sprake van een storm die in het kustgebied vergezeld ging met zware windstoten. Rond de Waddeneilanden zijn windstoten gemeten van 130 km/uur. Voor deze storm was 'code rood' afgegeven door het KNMI voor de noordelijke regio's. Op 5 december kwam de wind uit westelijke richting, op 6 december uit noordwestelijke richting [ref 30].

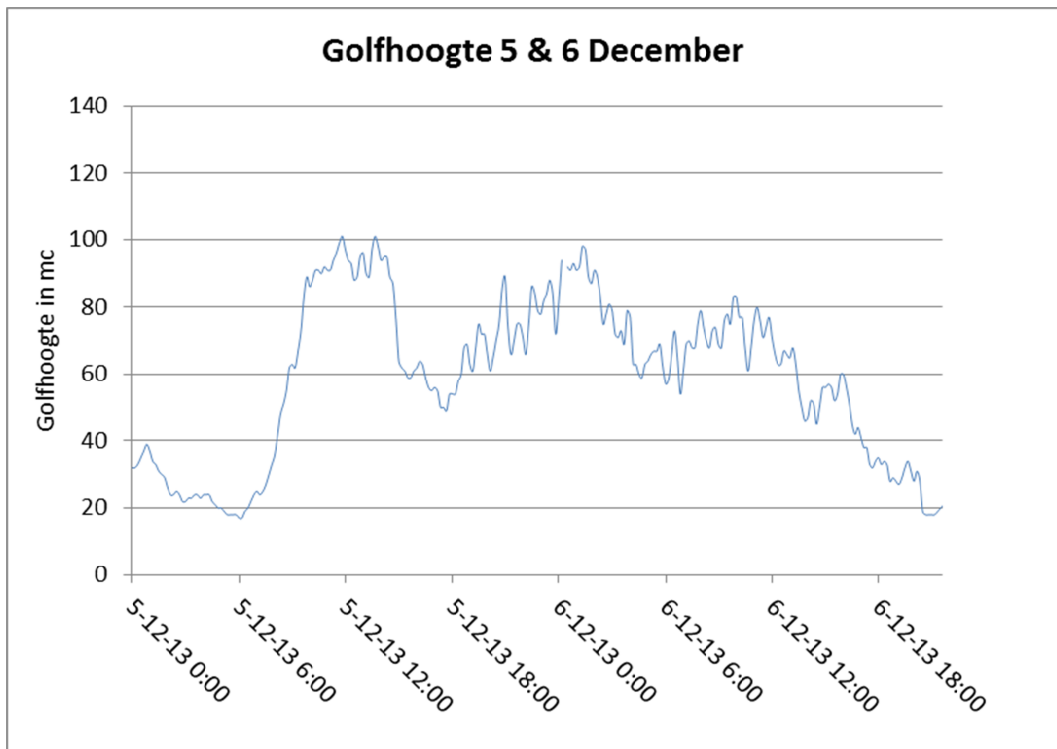
### H.1.3 Resultaten

In deze paragraaf zijn de gemeten en berekende waarden opgenomen. Figuur 66 en Figuur 67 geven de gemeten golfhoogte van respectievelijk de periode in oktober en december 2013 weer. Figuur 68 en Figuur 69 geven de gemeten waterstanden gedurende deze periode weer.

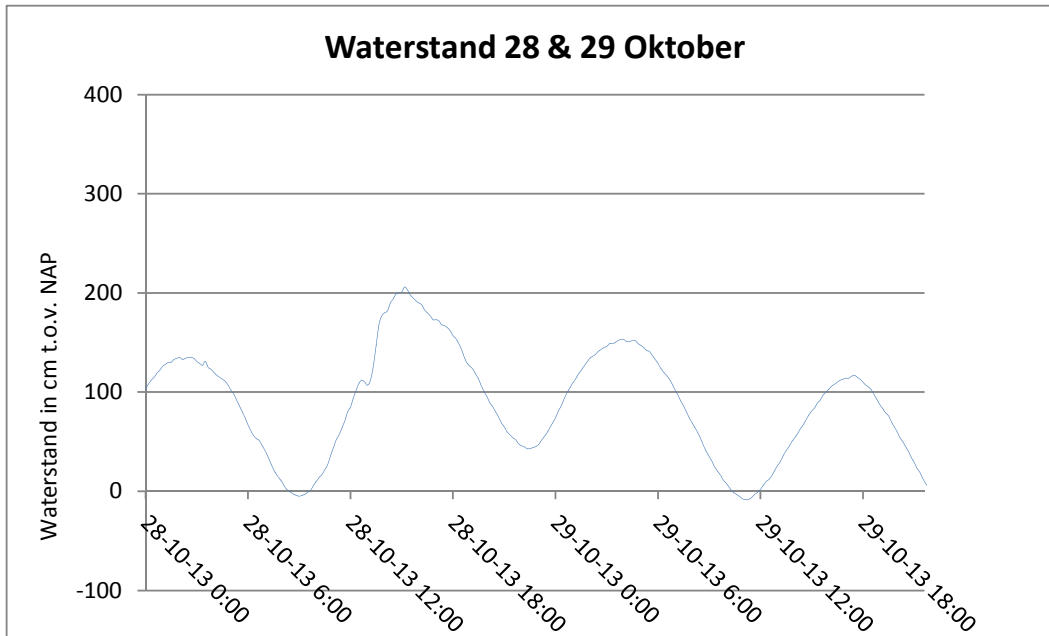




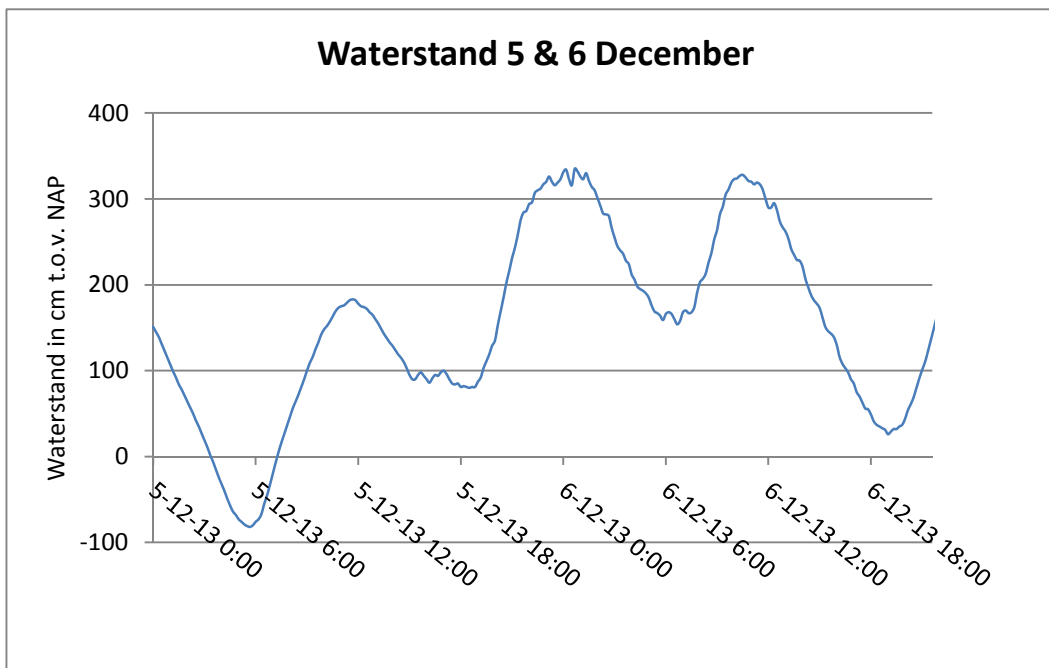
Figuur 66: Gemeten golfhoogte 28 & 29 oktober.



Figuur 67: Gemeten golfhoogte 5 & 6 december.



Figuur 68: Gemeten waterstand 28 en 29 oktober.



Figuur 69: Gemeten waterstand 5 en 6 december.

In Tabel 72 zijn de gemeten windrichting, piekwaarden van de golfhoogten en waterstanden opgenomen.

Windrichting	Piekwaarden Golfhoogte (m)		Piekwaarden Waterstand (m)	
Zuidwest	Oktober	1,21	Oktober	2,06
West/ Noordwest	December	1,01	December	3,35

Tabel 72: Windrichting en piekwaarden golfhoogte en waterstand.

---

Tabel 73 toont de waarden voor de berekende golfhoogte en waterstand behorend bij de faalkans 1/22.000 per jaar, door het bezwijken van de grasmat van dijkvak 9 (ter info de waarden uit de HR2006 zijn: golfhoogte 1,50 m en waterstand NAP+4,50 m).

Statistische waarden		
Windrichting (graden)	Golfhoogte (m)	Waterstand (m)
Zuidwest (240°)	2,00	4,14

Tabel 73: Statistische waarden golfhoogte en waterstand.

#### H.1.4 Conclusies

Op basis van de metingen vallen twee zaken op. Ten eerste dat de zuidwestelijke storm van 28 oktober resulteerde in relatief hoge golven maar een relatief lage waterstand (dit komt overeen met hetgeen fysiek zou worden verwacht namelijk een Waddenzee, die wordt 'leeggeblazen'). Ten tweede dat tijdens de storm uit het westen/noordwesten op 5 en 6 december hoge waterstanden in de Waddenzee zijn gemeten, maar lagere golfhoogte (die daarbij de dijk maar zeer beperkt zullen belasten). Daaruit kan geconcludeerd worden dat de storm van 28 oktober, van beide stormen, representatief geacht kan worden voor een 'zware' golfbelasting op de dijk. Gegeven de metingen van 28 oktober kan geconstateerd worden dat de opgetreden piekgolfhoogte (1,21 m) lager is dan de berekende golfhoogte tijdens falen (2,00 m). Dit in combinatie met een eveneens aanzienlijk lagere waterstand (gemeten NAP 2,06 m t.o.v. berekend NAP 4,14 m).

Terugkomend op de hypothese 'De gemeten waterstanden en golfhoogte overschrijden de berekende waarden en leveren daardoor een onderschatting van de faalkans op en dus een onderschatting van het overstromingsrisico' kan op basis van de opgetreden storm worden gesteld dat dit niet juist is. Op basis hiervan is het niet nodig geacht, binnen VNK2 en de overstromingsrisico bepaling, aanvullende analyses uit te voeren.

---

## H.2 Invloed van de graskwaliteit op de overstromingskans

Bij het berekenen van de faalkans voor overslag en grasbekleding wordt rekening gehouden met de kwaliteit van het gras op binnen- en buitentalud. Voor de dijkringen zijn geen recente uitgebreide grasonderzoeken beschikbaar omdat voor een deel van de dijkringen geen onderzoek is uitgevoerd voor de toetsingen (dijkring 1 en 4) of de dijk na het onderzoek wordt versterkt (dijkring 2, waarbij in de analyse de huidige graskwaliteit is aangehouden aangezien nog onbekend is wat de toekomstige kwaliteit zal zijn). Tevens heeft de beheerder aangegeven dat een deel van de grasbekleding in slechte staat verkeert, met name bij dijkring 1 waar tijdens stormen de grasbekleding beschadigd is geraakt. Tevens blijkt dat op veel locaties doorgroeiblokken aanwezig zijn. De aanwezigheid van doorgroeiblokken kan de sterkte van de grasbekleding zowel positief als negatief beïnvloeden. Ook een wijziging in het beheer van de grasmat kan gevolgen hebben voor de erosiebestendigheid van de grasmat. Als gevoeligheidsanalyse is de kwaliteit van het gras over de gehele dijkring verlaagd en verhoogd en is bekeken wat de invloed is op de faalkansen voor zowel golfoverslag als voor de bekleding. Dit is gedaan door vanuit de uitgangssituatie de kwaliteit van het gras één niveau te verlagen. Er zijn drie graskwaliteitsniveaus, "goed", "matig" en "slecht". Een "goede" kwaliteit wordt aangepast naar een "matige" kwaliteit en "matige" kwaliteit wordt "slechte" kwaliteit, grasbekleding die reeds "slecht" is blijft op hetzelfde niveau. In Tabel 74 en Figuur 70 is het resultaat van deze berekening weergegeven voor het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam*. In Tabel 75 en Figuur 71 is het resultaat van de berekening weergegeven voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag*.

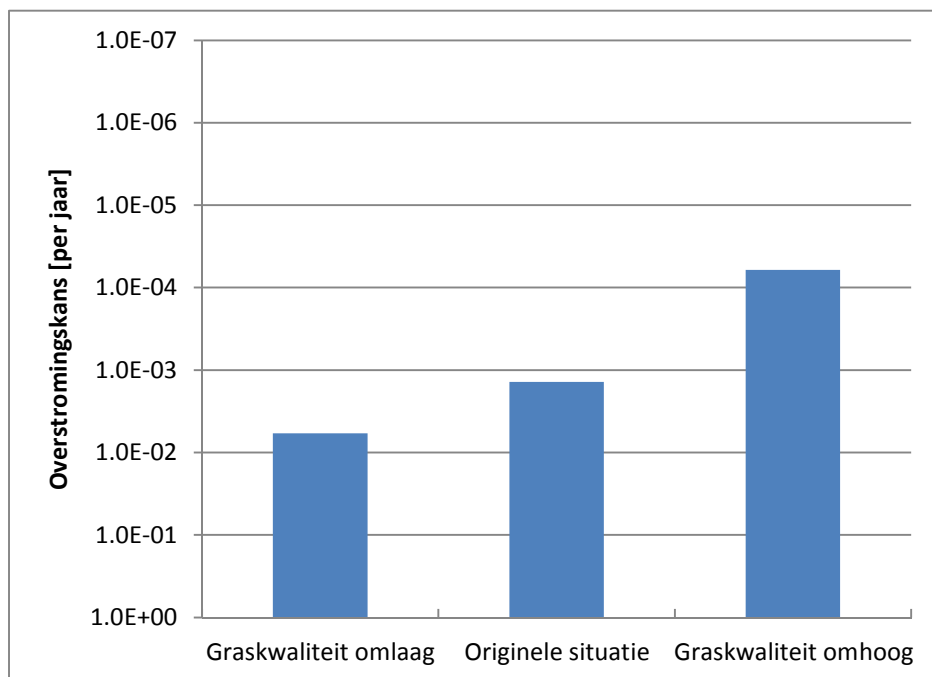
Per dijkring is de gevoeligheidsanalyse weergegeven.

### Dijkring 1

Uit de analyse blijkt dat verslechtering, maar ook verbetering, van de graskwaliteit een relatief grote invloed heeft op de faalkans van het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam*. De dijkvakken 2 en 3 en in mindere mate vak 4 bepalen in deze situatie de relatief grote faalkans.

Situatie	Bèta	Faalkans [per jaar]
Graskwaliteit omlaag	2,521	1/170
<i>Originele situatie</i>	2,991	1/720
Graskwaliteit omhoog	3,841	1/16.000

Tabel 74: Faalkans bekleding gehele dijkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkring 1).

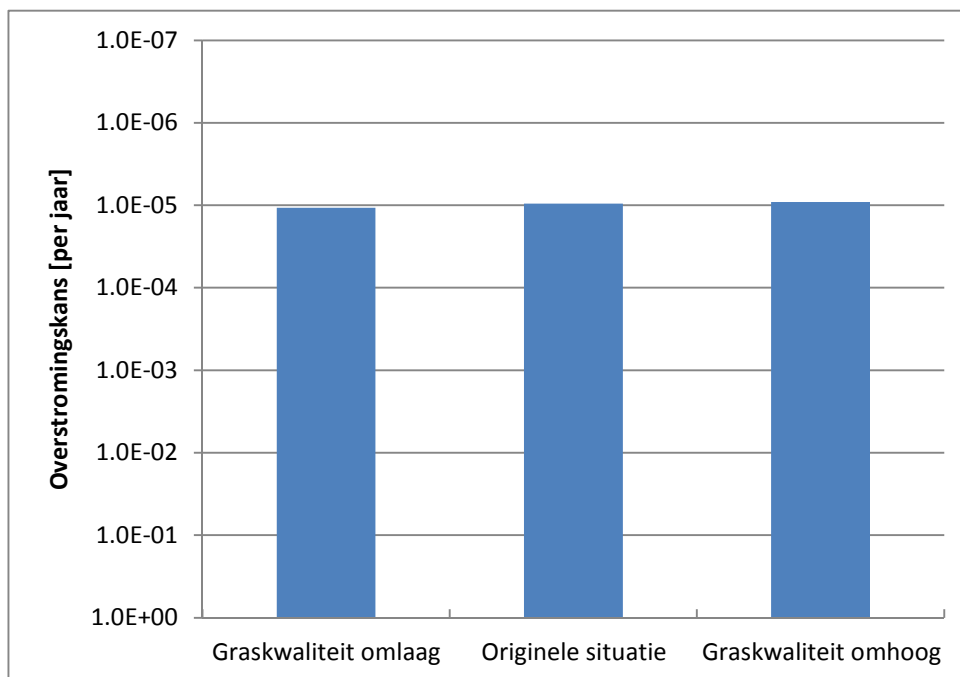


Figuur 70: Faalkans bekleding gehele dijkkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkkring 1).

Voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* blijkt dat verandering van graskwaliteit zowel bij een verslechterde graskwaliteit als bij een verbeterde graskwaliteit een relatief kleine verandering van de faalkans tot gevolg heeft (zie Tabel 75 en Figuur 71).

Situatie	Bèta	Faalkans [per jaar]
Graskwaliteit omlaag	4,249	1/93.000
Originele situatie	4,275	1/100.000
Graskwaliteit omhoog	4,285	1/110.000

Tabel 75: Faalkans overloop en golfoverslag gehele dijkkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkkring 1).



Figuur 71: Faalkans overloop en golfoverslag gehele dijkkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkkring 1).

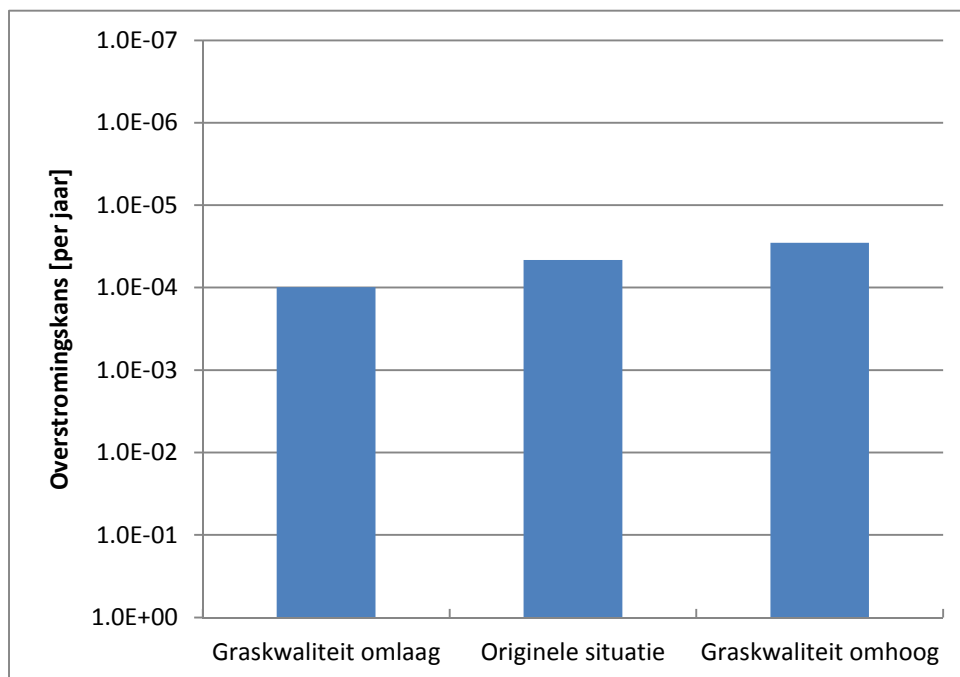
De verandering van de graskwaliteit bij het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* heeft een relatief groot effect op de overstromingskans van de dijkkring omdat dit faalmechanisme, samen met het faalmechanisme *niet sluiten* (kunstwerken) dominant is en omdat het effect van de graskwaliteit op de faalkans groot is. Voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* geldt dat dit faalmechanisme niet dominant is en dat verandering van de graskwaliteit geen significant effect heeft op de faalkans van het mechanisme en dus ook geen significant effect heeft op de overstromingskans van de dijkkring.

#### Dijkkring 2

Uit de analyse blijkt dat verslechtering van de graskwaliteit een relatief grote invloed heeft op de faalkans van het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam*. In beide geschematiseerde dijkvakken is het effect van verandering in de graskwaliteit goed zichtbaar maar omdat dijkvak 9 dominant is wordt de faalkans van het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie* gedomineerd door dit dijkvak.

Situatie	Bèta	Faalkans [per jaar]
Graskwaliteit omlaag	3,722	1/10.000
Originele situatie	3,909	1/22.000
Graskwaliteit omhoog	4,024	1/35.000

Tabel 76: Faalkans bekleding gehele dijkkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkkring 2).

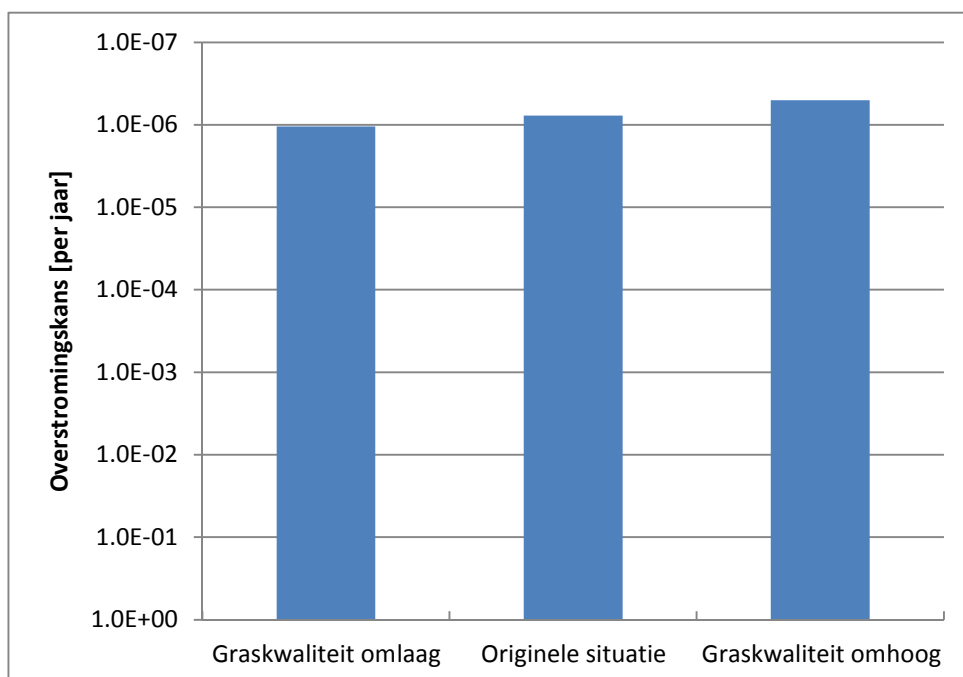


Figuur 72: Faalkans bekleding gehele dijkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkring 2).

De verandering van de graskwaliteit voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* is eveneens zichtbaar, maar gezien de relatief kleine faalkansen van dit faalmechanisme is dit niet significant voor de faalkansen van de dijkring. Het effect is zichtbaar gemaakt in Tabel 77 en Figuur 73.

Situatie	Bèta	Faalkans [per jaar]
Graskwaliteit omlaag	4,744	1/950.000
Originele situatie	4,805	<1/1.000.000
Graskwaliteit omhoog	4,891	<1/1.000.000

Tabel 77: Faalkans overloop en golfoverslag gehele dijkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkring 2).



Figuur 73: Faalkans overloop en golfoverslag gehele dijkkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkkring 2).

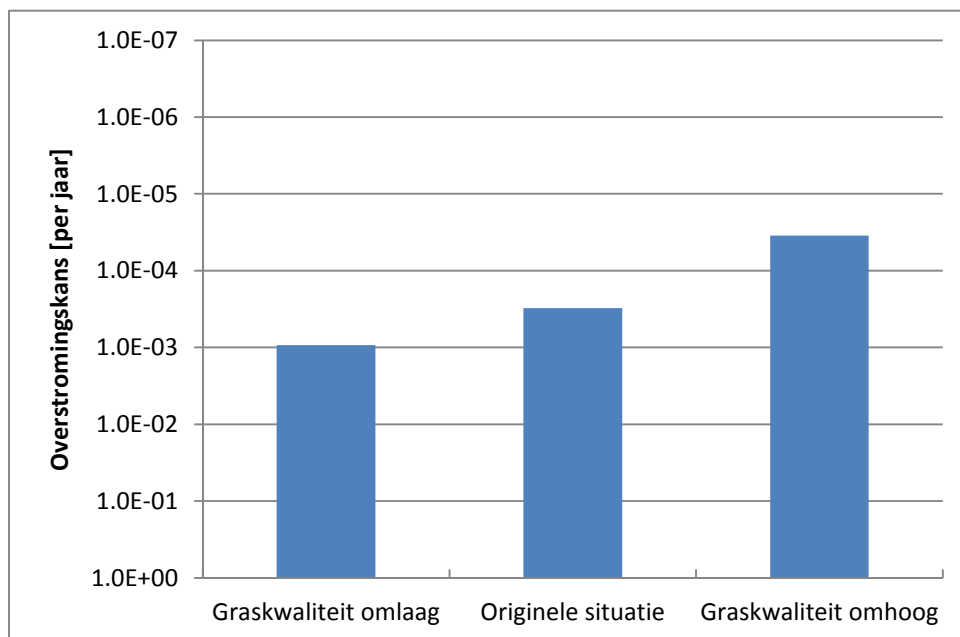
### Dijkkring 3

Uit de analyse blijkt dat met name de verbetering van de graskwaliteit een relatief grote invloed heeft op de faalkans van het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* (circa een factor 10). Het dijkvak dat bepalend is voor de grote gevoeligheid ten aanzien van de grasbekleding is dijkvak 5.

Situatie	Bèta	Faalkans [per jaar]
Graskwaliteit omlaag	3,112	1/1.100
<i>Originele situatie</i>	3,425	1/3.300
Graskwaliteit omhoog	3,976	1/29.000

Tabel 78: Faalkans bekleding gehele dijkkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkkring 3).





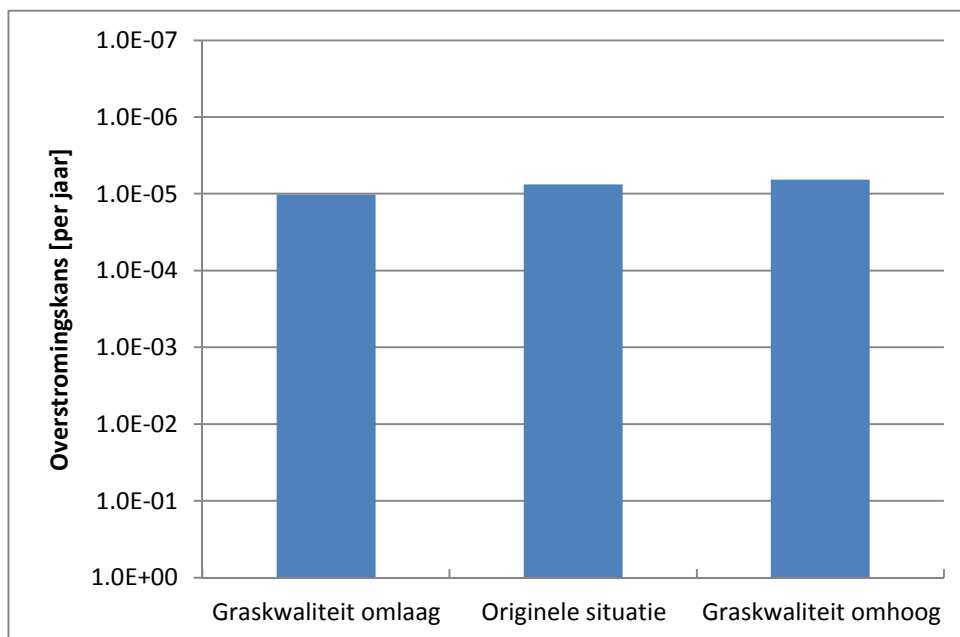
Figuur 74: Faalkans bekleding gehele dijkkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkkring 3).

Voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* blijkt dat verandering van graskwaliteit zowel bij een verslechterde graskwaliteit als bij een verbeterde graskwaliteit een relatief kleine verandering van de faalkans tot gevolg heeft (zie Tabel 79 en Figuur 75). Het enige dijkvak binnen de dijkkring dat gevoelig blijkt voor de graskwaliteit is dijkvak 8, alle ander dijkvakken zijn ongevoelig voor een verandering van de graskwaliteit en falen als gevolg van overlopen<sup>20</sup> en niet door golfoverslag.

Situatie	Bèta	Faalkans [per jaar]
Graskwaliteit omlaag	4,260	1/98.000
Originele situatie	4,328	1/130.000
Graskwaliteit omhoog	4,360	1/150.000

Tabel 79: Faalkans overloop en golfoverslag gehele dijkkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkkring 3).

<sup>20</sup> in een overloopsom speelt de graskwaliteit geen rol in de berekening



Figuur 75: Faalkans overloop en golfoverslag gehele dijkkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkkring 3).

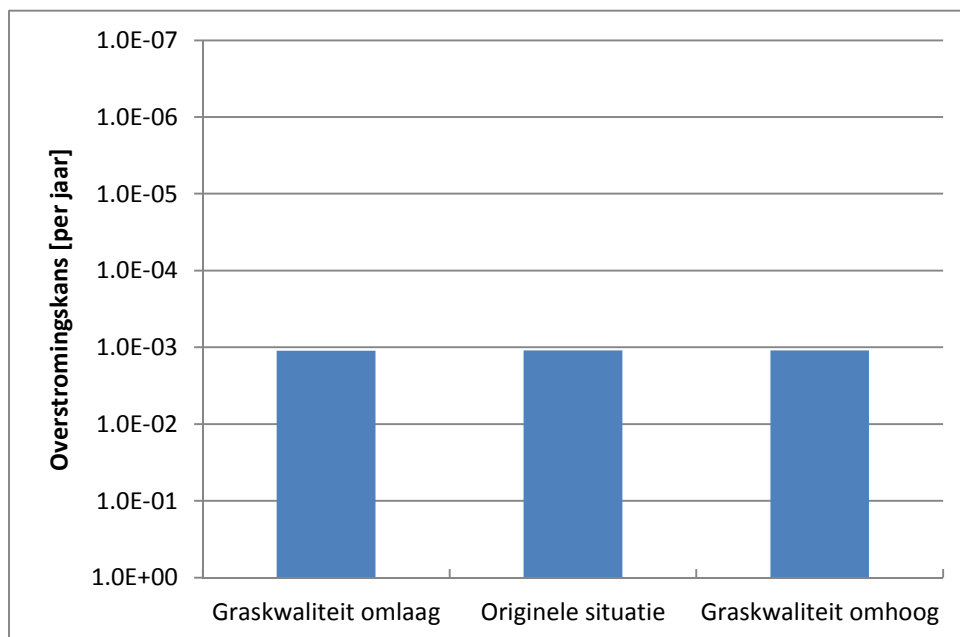
De verandering van de graskwaliteit bij het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* heeft grote invloed op de overstromingskans van de dijkkring, omdat dit faalmechanisme dominant is. De veranderingen van de faalkans bij het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* daarentegen heeft een verwaarloosbare invloed op de overstromingskans van de dijkkring, omdat dit faalmechanisme juist het minst dominante faalmechanisme is.

#### Dijkkring 4

Uit de analyse blijkt dat de wijziging van de graskwaliteit een verwaarloosbare invloed heeft op de faalkans van het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam*. De reden is dat niet de grasbekleding maatgevend is voor dit dijkvak maar de steenbekleding van dijkvak 2 de faalkans domineert. Tevens is de kwaliteit van de grasmat in de originele situatie gekwalificeerd als 'goed' waardoor de graskwaliteit niet verbeterd kan worden.

Situatie	Bèta	Faalkans [per jaar]
Graskwaliteit omlaag	3,060	1/900
Originele situatie	3,061	1/910
Graskwaliteit omhoog	3,061	1/910

Tabel 80: Faalkans bekleding gehele dijkkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkkring 4).



Figuur 76: Faalkans bekleding gehele dijkkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkkring 4).

Voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* blijkt dat verandering van graskwaliteit zowel bij een verslechterde graskwaliteit als bij een verbeterde graskwaliteit geen invloed heeft op de faalkans, zie Tabel 81. De reden is dat de dijken zeer beschermd liggen en golfoverslag geen rol speelt. De dijken falen als gevolg van *overloop*.

Situatie	Bèta	Faalkans [per jaar]
Graskwaliteit omlaag	5,187	<1/1.000.000
Originele situatie	5,187	<1/1.000.000
Graskwaliteit omhoog	5,187	<1/1.000.000

Tabel 81: Faalkans overloop en golfoverslag gehele dijkkring, met aangepaste graskwaliteit (dijkkring 4).

De verandering van de graskwaliteit bij het faalmechanismen *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* en *overloop en golfoverslag* hebben een verwaarloosbare invloed op de overstromingskans van de dijkkring. Het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* is wel het maatgevende faalmechanisme binnen dijkkring 4, maar dit wordt niet veroorzaakt door de grasbekleding maar door de steenbekleding.

In het achtergrondrapport [ref 3] is per dijkkring en per dijkvak een overzicht gegeven van de faalkans van het faalmechanisme *beschadiging bekledingen en erosie dijklichaam* voor de situaties "verbeterde graskwaliteit", "originele situatie" en "verslechterde graskwaliteit". In het achtergrondrapport [ref 3] is tevens het overzicht gegeven van de faalkans van het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* voor de situaties met de verschillende graskwaliteiten.

### H.3

#### Invloed van standzekerheid van de regionale kering Ameland

Op het eiland Ameland wordt door een regionale kering een tweedeling gemaakt tussen het westelijk en oostelijk deel van het eiland, zie paragraaf 4.1.3. In VNK2 worden hoge lijnelementen en regionale kering als standzeker aangenomen. Dit kan mogelijk een onderschatting van het risico betekenen indien de aanname niet juist is. Op Ameland is de scheiding tussen oost en west duidelijk aanwezig en is met een gevoeligheidsanalyse het effect op het overstromingsrisico bepaald. Daarbij is op voorhand al vast te stellen dat het risico relatief klein is vanwege de relatief kleine faalkansen van de primaire kering. Het niet standzeker zijn van de regionale kering heeft dan ook alleen effect op de gevolgen die toenemen. Een bres in het oostelijk deel leidt in dat geval ook tot overstromingen in het westelijk deel en vice versa.

In Tabel 82 is de overstromingskans en het risico voor de referentie situatie opgenomen en de gevoeligheidsanalyses waarbij de regionale kering als niet standzeker is aangenomen. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar blijft dusdanig laag dat het onder de gehanteerde grenswaarde van 0,001 slachtoffers per jaar blijft. Het economisch risico neemt toe met een factor twee maar blijft relatief laag.

Situatie	Overstromingskans [per jaar]	Verwachtings- waarde economische schade [M€ per jaar]	Verwachtings- waarde aantal slachtoffers [per jaar]
Referentie (standzeker)	1/10.000	0,01	<0,001
Regionale kering niet standzeker	1/10.000	0,02	<0,001

Tabel 82: Overstromingskans en risico, dijkkring 2, Ameland met een standzekere regionale kering (referentie) en een niet standzekere regionale kering.

---

## **Bijlage I Colofon**

### **Uitgegeven door**

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

### **Betrokken beheerders**

Wetterskip Fryslân  
T.J. Boeschoten  
R. Janzen  
Rijkswaterstaat Noord-Nederland  
A. van den Heuvel

### **Betrokken Provincie**

R. Zijlstra (Provincie Friesland)

### **Projectteam dijkringen 1, 2, 3 en 4**

Projectleider:  
M.J. van Reen (Arcadis)

Begeleiding vanuit het projectbureau:  
S. van den Heuvel (RWS/Projectbureau VNK2)

### **Projectteam:**

D.W.H. van Hogendorp (ARCADIS)  
N. van den Berg (ARCADIS)  
R. Koper (ARCADIS)  
A.J. van Sabben (IV-infra)  
P.J.M. van Broekhoven (IV-infra)  
T.J.M. van der Linden (IV-infra)  
R. Nooij (IV-Infra)

### **Kwaliteitsborging**

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

### **Bronvermelding afbeelding kaft**

<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt