

---

## Veiligheid Nederland in Kaart 2

Overstromingsrisico dijkkring 16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden

<b>Documenttitel</b>	Veiligheid Nederland in Kaart 2 Overstromingsrisico dijkkring 16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden
<b>Document</b>	HB 2310976
<b>Status</b>	Definitief
<b>Datum</b>	Mei 2014
<b>Auteurs</b>	drs. R. Vergouwe (RoyalHaskoningDHV) ir. M.C.J. van den Berg (RoyalHaskoningDHV) ir. P. van der Scheer (RoyalHaskoningDHV)
<b>Opdrachtnemer</b>	Rijkswaterstaat WVL
<b>Uitgevoerd door</b>	Consortium DOT
<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 dijkkringgebied 16: Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden. Het detailniveau van de uitgevoerde analyses is afgestemd op de primaire doelstelling van VNK2: het verschaffen van een beeld van het overstromingsrisico.

Hoewel dit rapport een beeld geeft van de veiligheid van dijkkring 16, dient het niet te worden verward met een toetsrapport in het kader van de Waterwet. De in VNK2 berekende overstromingskansen laten zich niet zondermeer vergelijken met de wettelijk vastgelegde overschrijdingskansen van de waterstanden die de primaire keringen veilig moeten kunnen keren.

Bij het tot stand komen van de resultaten spelen de provincie en de beheerder een belangrijke rol. De provincie Zuid-Holland heeft de overstromingsberekeningen uitgevoerd, die ten grondslag liggen aan de berekende gevolgen van de overstromings-scenario's. De beheerder heeft 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 (nHWBP) worden geprioriteerd, aanvullende gegevens gericht worden ingewonnen en middelen en menskracht tijdens hoogwatersituaties optimaler worden ingezet. Ten slotte vormen de resultaten van VNK2 input voor de verschillende Deltadeelprogramma's en de onderbouwing voor nieuwe normering.

VNK2 is een initiatief van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, de Unie van Waterschappen en het Interprovinciaal Overleg, uitgevoerd door de Waterdienst van Rijkswaterstaat in nauwe samenwerking met waterkeringbeheerders, provincies, kennisinstituten en ingenieursbureaus.

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

Niels Roode  
Projectmanager VNK2, Rijkswaterstaat WVL

---

---

## Inhoudsopgave

<b>Managementsamenvatting</b>	<b>1</b>
<b>Technische samenvatting</b>	<b>5</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 dijkkring 16: Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden	21
2.1.1 Algemene kenmerken	21
2.1.2 Geogenese	22
2.1.3 Occupatiegeschiedenis	23
2.1.4 Grondgebruik	25
2.1.5 Maaiveldhoogte	25
2.1.6 Geohydrologie en grondwater	26
2.1.7 Het watersysteem	27
2.1.8 Primaire waterkeringen	27
2.1.9 Beheerders	29
2.1.10 Diefdijk(linie)	29
2.2 Recente geschiedenis: bedreigingen en versterkingen	32
2.2.1 Overstromingsrampen en bijna rampen	32
2.2.2 Versterkingen van de dijken	33
2.2.3 Actuele ontwikkelingen	35
2.3 Vakindeling categorie a-kering	36
2.4 Kunstwerken	37
2.4.1 Primaire kunstwerken in dijkkring 16	37
2.4.2 Selectie primaire kunstwerken	38
2.5 De invloed van de categorie c-keringen op het overstromingsrisico	39
<b>3 Overstromingskans</b>	<b>41</b>
3.1 Aanpak en uitgangspunten	41
3.2 Beschouwde faalmechanismen	41
3.2.1 Faalmechanismen dijken	41
3.2.2 Faalmechanismen kunstwerken	42
3.3 Niet beschouwde faalmechanismen	43
3.4 Berekende overstromingskansen	45
3.4.1 Overstromingskans en faalkansen per faalmechanisme	46
3.4.2 Faalkansen dijken	47
3.4.3 Faalkansen kunstwerken	51
3.5 Dominante vakken en faalmechanismen	52
<b>4 De gevolgen van overstromingen per doorbraaklocatie</b>	<b>53</b>
4.1 Aanpak en uitgangspunten	53

---

---

4.1.1	Algemeen	53
4.1.2	Ringdelen	54
4.1.3	Belastingcondities en sluitregimes	54
4.1.4	Verhoogde lijnelementen	55
4.1.5	Evacuatie	55
4.2	Resultaten overstromingsberekeningen per ringdeel	56
4.2.1	Ringdeel 1: Doorbraaklocatie Lingesluis	57
4.2.2	Ringdeel 2: Doorbraaklocatie Gorinchem	57
4.2.3	Ringdeel 3: Doorbraaklocatie Hardinxveld-Giessendam(AW003)	58
4.2.4	Ringdeel 4: Doorbraaklocatie Hardinxveld-Giessendam (AW015)	59
4.2.5	Ringdeel 5: geen doorbraaklocatie gedefinieerd	59
4.2.6	Ringdeel 6: Doorbraaklocatie Sliedrecht (AW063)	59
4.2.7	Ringdeel 7: Doorbraaklocatie Sliedrecht (AW079)	60
4.2.8	Ringdeel 8: Doorbraaklocatie Papendrecht (AW080)	62
4.2.9	Ringdeel 9: Doorbraaklocatie Papendrecht (AW112)	63
4.2.10	Ringdeel 10: Doorbraaklocatie Kinderdijk	64
4.2.11	Ringdeel 11: Doorbraaklocatie Nieuw Lekkerland	65
4.2.12	Ringdeel 12: Doorbraaklocatie Casa Novum	66
4.2.13	Ringdeel 13: Doorbraaklocatie Ameide	67
4.2.14	Ringdeel 14: Doorbraaklocatie Vianen (VY040)	68
4.2.15	Ringdeel 15: Doorbraaklocatie Vianen (VY062)	68
4.2.16	Ringdeel 16: Doorbraaklocatie Everdingen	69
4.2.17	Maximaal scenario	70
4.3	Overzicht resultaten overstromingsberekeningen	70
<b>5</b>	<b>Overstromingsscenario's en scenariokansen</b>	<b>73</b>
5.1	Aanpak bepaling scenariokansen	73
5.1.1	Definitie overstromingsscenario's	73
5.1.2	Ontlasten na een dijkdoorbraak	73
5.1.3	Combinatie ontlasten / geen ontlasten	75
5.2	Scenariokansen	75
<b>6</b>	<b>Overstromingsrisico</b>	<b>77</b>
6.1	Aanpak berekening overstromingsrisico	77
6.2	Overstromingsrisico	77
6.2.1	Economisch risico	78
6.2.2	Slachtofferrisico	81
6.3	Berekende overstromingsrisico's in perspectief	85
<b>7</b>	<b>Gevoeligheidsanalyses</b>	<b>87</b>
7.1	Selectie van gevoeligheidsanalyses	87
7.1.1	Analyses naar het veiligheidsniveau van dijkring 16	87
7.1.2	Analyses naar aannamen in de risicoanalyse van dijkring 16	88
7.2	Veiligheidsniveau na waterstandverlagende maatregelen	90
7.2.1	Ruimte voor de Rivier projecten nabij dijkring 16	90
7.2.2	Overstromingskansen na Ruimte voor de Rivier maatregelen	91
7.2.3	Overstromingsrisico's na Ruimte voor de Rivier maatregelen	91
7.2.4	Resumé	93
7.3	Veiligheidsniveau na dijkversterkende maatregelen	93

---

---

7.3.1	Stapsgewijze verbetering van de 10 zwakste dijkvakken	93
7.3.2	Opgave dijkverbetering voor strengere veiligheidsnormen	97
7.3.3	Resumé	103
7.4	Deltaprogramma Veiligheid: Basisveiligheid LIR<10 <sup>-5</sup> per jaar	104
7.4.1	LIR na Ruimte voor de Rivier maatregelen (uitgangssituatie)	104
7.4.2	LIR na verbetering tien zwakste dijkvakken	104
7.4.3	LIR na aanvullende verbeteringen	104
7.4.4	Resumé	106
7.5	Deltaprogramma Veiligheid: Overstromingskansnorm MKBA	107
7.5.1	Verdeling in dijktrajecten en toewijzing normen	107
7.5.2	Opgave dijkverbetering voor nieuwe normen per dijktraject	108
7.5.3	Resumé	110
7.6	Veiligheidsniveau bij het niet standzeker zijn van de Diefdijk	111
7.6.1	Functioneren van de Diefdijk	111
7.6.2	Diefdijk en dijkkring 16	112
7.6.3	Diefdijk en dijkkring 43	114
7.6.4	Resumé	115
7.7	Effect van overige aannamen in de risicoanalyse op berekeningsresultaten	116
7.7.1	Effect van bodemerosie van de Lek	116
7.7.2	Effect faalkans macrostabiliteit binnenwaarts 1/100 per jaar	119
7.7.3	Effect waterstandverlaging project 'Ontpoldering Noordwaard'	122
7.7.4	Resumé	125
<b>8</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>127</b>
8.1	Conclusies	127
8.1.1	De huidige kans op een overstroming	127
8.1.2	De huidige gevolgen van overstromingen	128
8.1.3	Het huidige overstromingsrisico	129
8.1.4	Veiligheidsniveaus na waterstandverlagende maatregelen	130
8.1.5	Veiligheidsniveaus na dijkversterkende maatregelen	131
8.1.6	Veiligheidsniveau bij voorgestelde eisen Deltaprogramma Veiligheid	131
8.1.7	Veiligheidsniveau bij niet standzekere Diefdijk	131
8.2	Aanbevelingen	132
<b>Bijlage A</b>	<b>Literatuur</b>	<b>133</b>
<b>Bijlage B</b>	<b>Begrippenlijst</b>	<b>135</b>
<b>Bijlage C</b>	<b>Primaire waterkeringen dijkkring 16</b>	<b>141</b>
<b>Bijlage D</b>	<b>Vakindeling en ringdelen dijkkring 16</b>	<b>143</b>
<b>Bijlage E</b>	<b>Overzicht berekende faalkansen</b>	<b>153</b>
<b>Bijlage F</b>	<b>Overzicht resultaten derde toetsronde</b>	<b>159</b>
<b>Bijlage G</b>	<b>Gevolgen van overstromingen</b>	<b>165</b>
<b>Bijlage H</b>	<b>Overstromingsscenario's huidige situatie (top 50)</b>	<b>167</b>

---

---

<b>Bijlage I</b>	<b>Waterstandeffecten Ruimte voor de Rivier</b>	<b>171</b>
<b>Bijlage J</b>	<b>Overstromingsrisico's</b>	<b>175</b>
<b>Bijlage K</b>	<b>Resultaten gevoeligheidsanalyses</b>	<b>177</b>
<b>Bijlage L</b>	<b>Colofon</b>	<b>187</b>

---

## Managementsamenvatting

### Wat is VNK2?

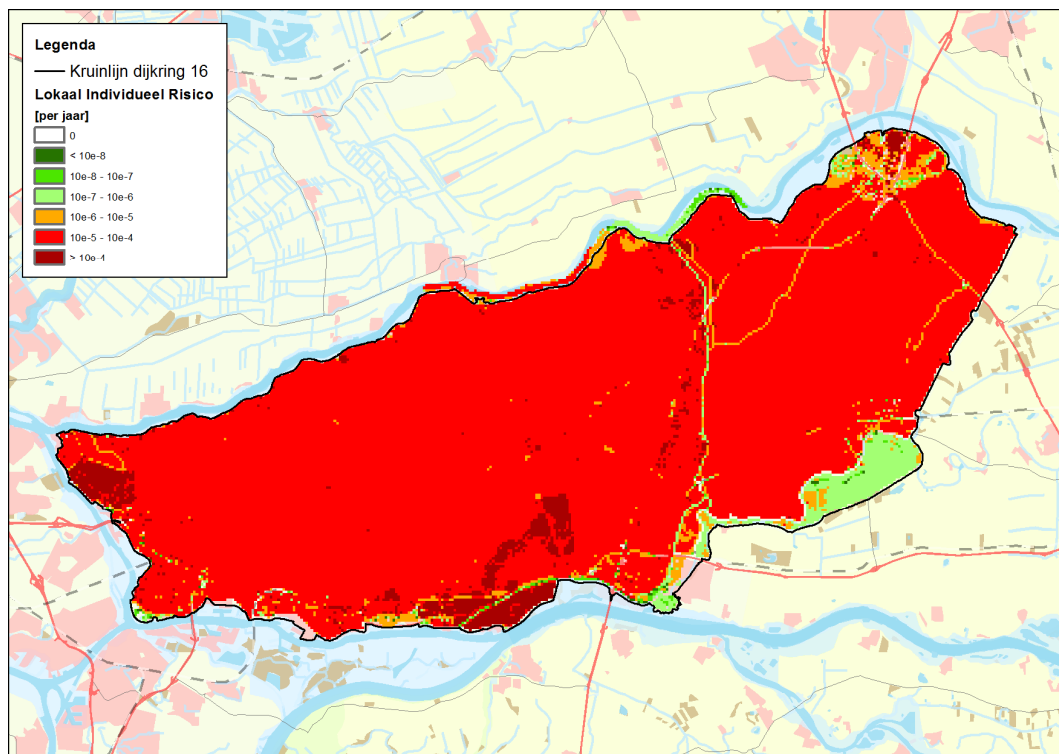
Veiligheid Nederland in Kaart 2 (VNK2) is het project dat overstromingsrisico's in Nederland in kaart brengt. De rekenmethode van VNK2 maakt het mogelijk overstromingskansen te berekenen. Door het combineren van doorbraakkansen, wijze van overstromen en gegevens omtrent bewoning en bedrijvigheid (de 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 schatting van de overstromingskans van een dijkkringgebied en brengt de economische schade en slachtoffers door overstroming en de bijbehorende risico's in beeld. De veiligheidsbenadering in VNK2 is daarmee anders dan die in de toetsing volgens de Waterwet. De in VNK2 berekende overstromingskansen laten zich dan ook niet zonder meer vergelijken met de wettelijk vastgelegde overschrijdingskansen van de waterstanden die de primaire keringen veilig moeten kunnen keren (paragraaf 1.3).

Voor u ligt de rapportage van de risicoanalyse van dijkkringgebied 16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden.

### Overstromingsrisico

Het actuele economisch risico van dijkkringgebied 16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden is binnen VNK2 berekend op 166 miljoen euro per jaar. Het berekende slachtofferrisico is 11,7 slachtoffers per jaar. Het Lokaal Individueel Risico (LIR), de kans dat een persoon die zich permanent op een bepaalde plaats in het dijkkringgebied bevindt overlijdt als gevolg van een overstroming, waarbij de mogelijkheden voor preventieve evacuatie zijn meegenomen, is in vrijwel het hele dijkkringgebied aanzienlijk groter dan  $10^{-5}$  per jaar, zie Figuur 1.



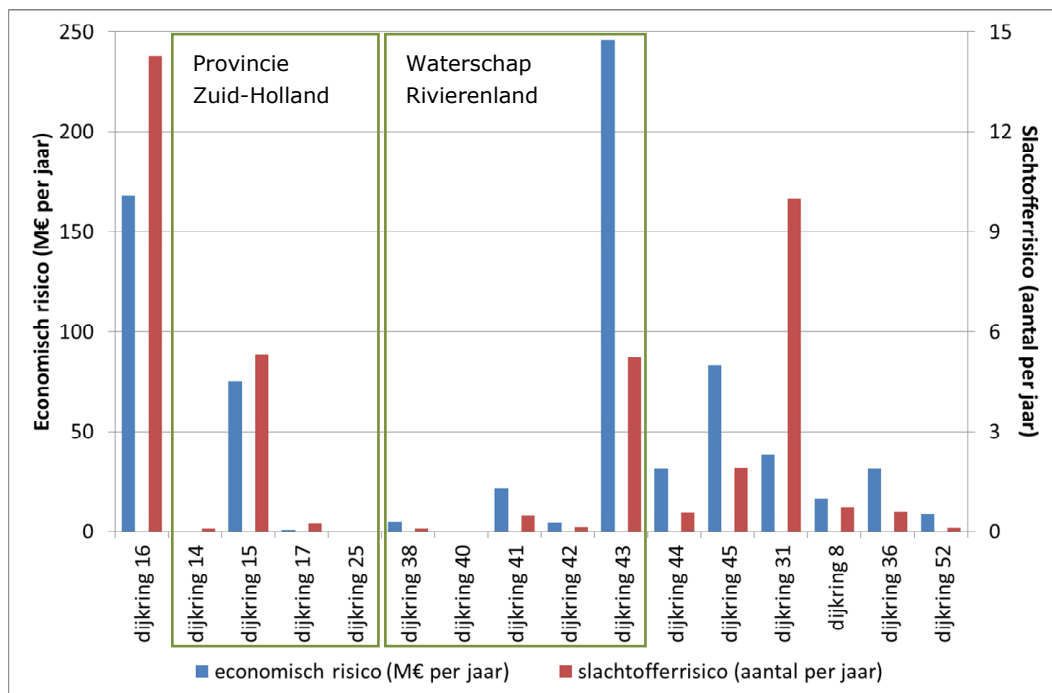
Figuur 1: Het lokaal individueel risico (LIR) in dijkkringgebied 16.

Eenzijds worden de relatief grote risico's veroorzaakt door grote kansen op een doorbraak van de primaire waterkeringen van dijkkring 16 langs de Merwede, Noord en Lek. De kans op een doorbraak van deze keringen is groter dan 1/100 per jaar. Deze grote kans op een dijkdoorbraak wordt gedomineerd door problemen met betrekking tot de geotechnische stabiliteit van de waterkeringen (piping en afschuiven binnentalud). Deze problemen zijn bekend bij de dagelijks beheerder van de waterkeringen. In de praktijk worden noodmaatregelen genomen (zoals opkisten of het aanbrengen van noodbermen) die de kans op het ontstaan van een bres kunnen beperken. Deze noodmaatregelen zijn in deze risicoanalyse niet meegenomen, aangezien het de vraag is of deze bij grote dreiging op grote schaal kunnen worden ingezet. Als dat lukt, leveren ze wel een significante bijdrage aan het beperken van de overstromingskans en het risico.

Anderzijds resulteren doorbraken van de primaire waterkeringen van dijkkring 16 in grote waterdieptes, stroomsnelheden en stijgsnelheden in het gebied, waardoor grote economische schade en grote aantallen slachtoffers ontstaan. De economische schade kan als gevolg van een dijkdoorbraak oplopen tot 20 miljard euro en het aantal slachtoffers tot 20.000 mensen afhankelijk van de mogelijkheden tot preventieve evacuatie.

In de bepaling van het overstromingsrisico van dijkkringgebied 16 zijn de ontwerpen meegenomen van de dijkversterking Kinderdijk-Schoonhovense veer (HWBP2) en de dijkverbetering Lek/Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden (Ruimte voor de Rivier). Uitzondering hierop vormen Vianen, waar de maatregelen nog niet voldoende zijn uitgewerkt en het traject Schoonhovense veer-Langerak waar nog nader onderzoek wordt uitgevoerd.

Ter duiding van de overstromingsrisico's van dijkkring 16 worden deze gepresenteerd in relatie tot de resultaten voor andere dijkringen in Nederland. In Figuur 2 zijn de berekende risico's weergegeven voor een selectie van dijkringen in Nederland. Daaruit blijkt dat het berekende risico voor dijkkring 16 groot is in relatie tot de berekende overstromingsrisico's voor andere dijkringen in Nederland.



Figuur 2: Economisch risico en slachtoffer risico voor een selectie van dijkringen.



---

### **Handelingsperspectief**

Door het uitvoeren van alle PKB Ruimte voor de Rivier maatregelen in het gehele rivierengebied nemen het economische risico en het slachtofferrisico beiden af met circa 30% ten opzichte van het actuele risico. Ook in het Lokaal Individueel Risico (LIR) is een substantiële afname waarneembaar, met name in de stedelijke gebieden van Hardinxveld en Alblasterdam. Bij het vaststellen van het effect van de beoogde waterstandverlaging met de PKB Ruimte voor de Rivier is uitgegaan van de situatie na afronding van het HWBP2.

Binnen het Deltaprogramma Veiligheid worden overstromingskansnormen ontwikkeld en uitgewerkt op dijktrajectniveau. Voor het afleiden van de normen wordt gekeken naar drie veiligheidssituaties waarbij de maatgevende situatie wordt gebruikt voor het normeren van de trajecten. De volgende situaties worden beschouwd:

- Lokaal Individueel Risico (LIR) in het dijkkringgebied moet kleiner zijn dan  $10^{-5}$  per jaar (basisveiligheidseis);
- De normen worden gebaseerd op een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) waarbij de kosten van de dijkversterking worden afgewogen tegen de reductie van het overstromingsrisico;
- Maatschappelijke ontwrichting (uitgedrukt als groepsrisico) waarbij de kans op grote groepen slachtoffers niet te groot mag zijn.

In het project VNK2 is gekeken naar de benodigde verbeteringen om de dijkkring te laten voldoen aan het basisveiligheidsniveau van  $10^{-5}$  per jaar en de normen volgend uit de MKBA. Bij het vaststellen van de benodigde verbeteringen is uitgegaan van de situatie na afronding van het HWBP2 en na uitvoering van het project Ruimte voor de Rivier. Nagenoeg de hele waterkering van dijkkring 16 dient te worden versterkt om te voldoen aan de voorgestelde eisen door het Deltaprogramma Veiligheid. Hierbij moeten ook de trajecten worden versterkt die momenteel binnen het HWBP2 en het project Ruimte voor de Rivier worden aangepakt.

In de risicoanalyse is alleen het mogelijk falen van de categorie a-kering beoordeeld. De categorie c-kering (Diefdijk) die de grens vormt met dijkkringgebied 43 Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden is als standzeker aangenomen. Om de invloed van deze aanname te toetsen is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij de invloed van de standzekerheid van de Diefdijk op het risico van dijkkring 16 is bepaald. Bij een conditionele faalkans van de Diefdijk (dus gegeven dat dijkkring 43 faalt) kleiner dan 1/10 heeft de Diefdijk geen significante invloed meer op het risico van dijkkring 16. Gegeven de huidige versterking van de Diefdijk is de verwachting dat de faalkans van deze kering in ieder geval kleiner is dan 1/10.



## Technische samenvatting

Dit rapport bevat de resultaten van de risicoanalyse die is verricht voor dijkkringgebied 16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden in het kader van het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK2). In deze technische samenvatting worden de berekeningsresultaten besproken en wordt op hoofdlijnen beschreven op welke uitgangspunten en aannamen deze resultaten berusten. De berekening van overstromingsrisico's in VNK2 omvat de volgende stappen:

### De schematisatie van de dijkkring

De primaire waterkering van de dijkkring bestaat uit een aaneengesloten stelsel van dijken en kunstwerken langs de rivieren de Boven- en Beneden-Merwede (zuidzijde), de Noord (westzijde) en de Lek (noordzijde). De dijkkring wordt gesloten door de Diefdijklinie (oostzijde). De primaire waterkering is circa 111 km lang, waarvan circa 86 km direct buitenwater keert (categorie a-kering). De Diefdijklinie is een categorie c- kering met een lengte van circa 25 km die niet direct buitenwater keert. De dijken en kunstwerken die samen de waterkering vormen zijn in beheer bij Waterschap Rivierenland, met uitzondering van enkele kunstwerken die in beheer zijn bij derden. De overschrijdingskansnorm van het dijkkringgebied is 1/2.000 per jaar (paragraaf 2.4).



Figuur 3: Dijkkringgebied 16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden.

Ten behoeve van de faalkansberekeningen zijn de dijken van dijkkring 16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden ingedeeld in 58 dijkvakken (Tabel 1). Daarnaast zijn van de 26 kunstwerken in de dijkkring, 5 kunstwerken gedetailleerd geanalyseerd. Er zijn geen faalkansen berekend voor de faalmechanismen van de dijken en kunstwerken waarbij op voorhand duidelijk was dat de faalkansbijdrage zeer gering zou zijn.

Dijken	Totale lengte (categorie a-kering)	86,2 km
	Aantal dijkvakken	58
	Gemiddelde lengte dijkvak	1,5 km
Kunstwerken	Totaal aantal kunstwerken	24
	Aantal beschouwde kunstwerken	5

Tabel 1: De vakindeling van dijkkring 16.

## De berekening van faalkansen

In deze risicoanalyse zijn alle dijkvakken en kunstwerken beschouwd. Echter, niet voor alle vakken en kunstwerken zijn faalkansen berekend en/of meegenomen bij de bepaling van de overstromingskans. Voor alle dijkvakken is de faalkans van het mechanisme *overloop en golfoverslag* berekend. Daarnaast is voor de faalmechanismen *macrostabiliteit* en *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* een selectie gemaakt van de zeven zwakste vakken zoals deze volgen uit de derde toetsronde.

Voor het faalmechanisme *opbarsten en piping* is aan de hand van de resultaten van de derde toetsronde, beschikbare gegevens en op basis van conservatieve criteria ten aanzien van benodigde kwelweglengtes een selectie gemaakt van de dijkvakken die mogelijk bijdragen aan het overstromingsrisico. Voor de kunstwerken is met de resultaten van de derde toetsronde en eenvoudige beoordelingen bepaald welke kunstwerken en faalmechanismen mogelijk een significante bijdrage leveren aan de overstromingskans. Tabel 2 geeft een overzicht van de voor de berekening van de overstromingskans beschouwde faalmechanismen, vakken en kunstwerken.

Type waterkering	Faalmechanisme	Aantal vakken/kunstwerken
Dijken	Overloop en golfoverslag	56
	Macrostabiliteit binnenwaarts	7
	Opbarsten en piping	23
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	7
Kunstwerken	Overloop en golfoverslag	4
	Niet sluiten	3
	Onder- en achterloopsheid	1
	Constructief falen	2

Tabel 2: Beschouwde faalmechanismen en het aantal vakken/kunstwerken dat is meegenomen bij de berekening van de overstromingskans.

Het falen van een waterkering betekent dat deze haar waterkerende functie verliest en dat als gevolg daarvan een overstroming plaatsvindt. De faalkansen zijn berekend per dijkvak en per kunstwerk. Uit de combinatie van de faalkansen van de dijkvakken en de kunstwerken volgt dat de overstromingskans van de categorie a-kering groter is dan 1/100 per jaar. Er bevinden zich een relatief groot aantal zwakke plekken in de keringen van dijkkring 16 aan de bovenstroomse zijde van de Lek die de ringkans domineren. Tabel 3 toont de berekende faalkansen per faalmechanisme voor dijkkring 16.

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)
Dijk	Overloop en golfoverslag	1/1.460
	Macrostabiliteit binnenwaarts	1/360
	Opbarsten en piping	>1/100
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/80.000
Kunstwerk	Overloop en golfoverslag	1/46.000
	Niet sluiten	1/10.000
	Onder- en achterloopsheid	<1/1.000.000
	Constructief falen	<1/1.000.000
Overstromingskans		>1/100

Tabel 3: Berekende faalkansen per faalmechanisme en op ringniveau de overstromingskans.

## De berekening van scenariokansen

De provincie Zuid-Holland heeft dijkkring 16 ten behoeve van de overstromingsberekeningen ingedeeld in 16 ringdelen (Figuur 4). Eén ringdeel is buiten beschouwing gelaten, het is niet de verwachting dat hier een bres op kan treden. Bij de selectie van de ringdelen is het uitgangspunt gehanteerd dat de gevolgen van een doorbraak in het betreffende deel van de dijkkring nagenoeg gelijk zullen zijn ongeacht de precieze locatie van de doorbraak. Algemeen geldt dat ringdelen worden vastgesteld op basis van het overstromingspatroon. Hierbij spelen discontinuïteiten in het dijkringgebied een grote rol. Wanneer een doorbraakpunt aan de andere kant van een discontinuïteit komt te liggen, kan dit leiden tot een significant verschillend overstromingspatroon in het dijkringgebied.



Figuur 4: Ringdelen dijkkring 16.

Omdat dijkkring 16 in het overgangsgebied ligt, deels rivierafvoer gedomineerd en deels stormopzet gedomineerd, is gekozen voor een combinatie van ontlasten en geen ontlasten. Hierbij houdt het begrip ontlasten in dat als gevolg van een dijkdoorbraak een dusdanige daling van de waterstand te verwachten is dat de kans op een doorbraak op een andere locatie langs de dijk klein zal zijn. Bij de berekening van de scenariokansen op het gedeelte van de dijkkring dat rivierafvoer gedomineerd is, is uitgegaan van ontlasten na een doorbraak. Hierbij is gekozen voor het volgorde effect, waarbij het vak dat als eerste wordt belast ook als eerste faalt. Voor de 6 ringdelen van de dijkkring die stormopzet gedomineerd zijn, is uitgegaan van geen ontlasten.

Voor dijkkring 16 kan vanuit 3 buitenwatergebieden een overstroming optreden: vanuit de Boven- en Beneden-Merwede, de Noord en de Lek. Een doorbraak langs de Lek (5 ringdelen) heeft geen invloed op de kans op een doorbraak langs het door rivierafvoer gedomineerde deel van de Boven- en Beneden-Merwede (4 ringdelen) en vice versa. Er kunnen dus meervoudige doorbraken optreden (dubbele doorbraken), waarbij een doorbraak optreedt langs de Lek en een doorbraak langs de Boven- en Beneden-Merwede. Een doorbraak langs de Lek (al dan niet in combinatie met een doorbraak op de Boven- en Beneden-Merwede) heeft geen invloed op de kans op een doorbraak in het stormopzet gedomineerde deel van dijkkring 16. De doorbraak scenario's op de rivierafvoer gedomineerde delen van de dijkkring kunnen dus gecombineerd worden met de doorbraak scenario's op het stormopzet gedomineerde deel van de dijkkring. In totaal zijn er volgens de aangehouden definitie 1919 verschillende overstromings-scenario's mogelijk voor dijkkringgebied 16. Voor elk scenario is berekend hoe groot de kans is dat deze optreedt (de scenariokansen).

### De berekening van de gevolgen

Per breslocatie zijn overstromingsberekeningen uitgevoerd voor verschillende belastingcondities: toetspeil minus 1 decimeterhoogte (tp-1d), tp en tp+1d. In de overstromingsberekeningen is uitgegaan van standzekerheid van regionale keringen en overige hooggelegen lijnvormige elementen zoals spoorlijnen en rijkswegen. De gevolgen zijn berekend met HIS-SSM. Voor de meervoudige doorbraken zijn de overstromingskenmerken (waterdiepte, stroomsnelheid, stijgsnelheid) bepaald op basis van de overstromingsberekeningen voor de enkelvoudige doorbraken. De grootste economische schade bij de gedefinieerde scenario's is 21,0 miljard euro, het grootste aantal slachtoffers is ruim 20.000. De gemiddelde economische schade per overstroming is ongeveer 9,7 miljard euro, het gemiddelde aantal slachtoffers per overstroming is 829.

### Het combineren van de scenariokansen en de gevolgen

Het risico wordt berekend door de kansen en gevolgen van de verschillende overstromingsscenario's te combineren. Bij de selectie van de overstromingsberekeningen is steeds gekeken naar de belastingcondities waarbij het optreden van de verschillende scenario's het meest waarschijnlijk is. Als een scenario naar verwachting pas optreedt bij een zeer hoge waterstand, is dus uitgegaan van een overstromingsberekening die hoort bij een extreme waterstand. De waarden van de belastingvariabelen in het ontwerp punt zijn gebruikt om de koppeling te maken met de gevolgen van overstromingsscenario's. Het ontwerp punt beschrijft de meest waarschijnlijke waarden van de stochasten waarbij het overstromingsscenario optreedt. Voor elk ontwerp punt is de gevolg berekening geselecteerd die hoort bij het eerstvolgende, ongunstiger gelegen peil, minimaal gelijk aan toetspeil.

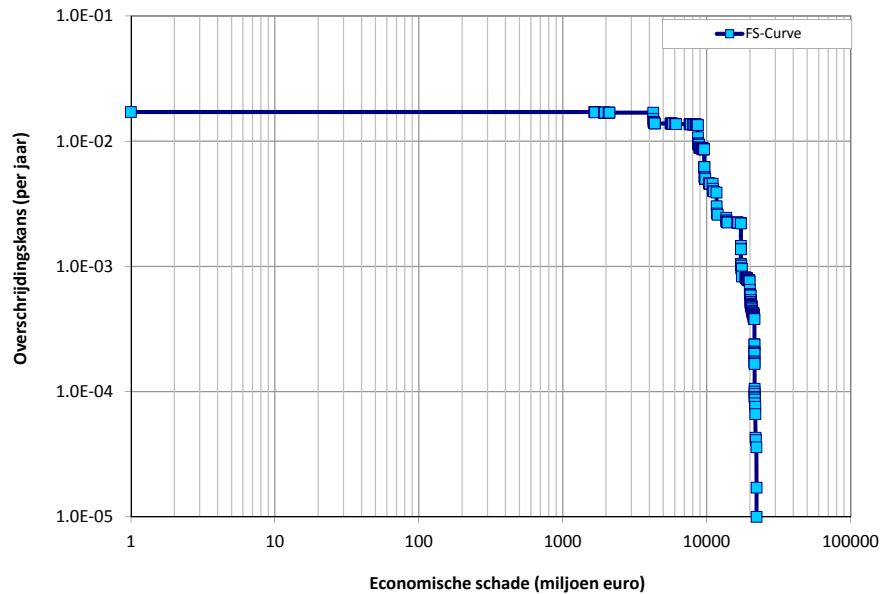
### De berekening van het overstromingsrisico

Op basis van de combinaties van scenariokansen en gevolgen zijn de jaarlijkse verwachtingswaarden van economische schade en dodelijke slachtoffers berekend. De verwachtingswaarden van de economische schade en het aantal slachtoffers bedragen respectievelijk 166 miljoen euro per jaar en 11,7 slachtoffers per jaar. De resultaten van de overstromingsberekeningen zijn samengevat in Tabel 4.

Schade	Verwachtingswaarde economische schade (€ per jaar)	166 miljoen
	Gemiddelde economische schade per overstroming (€)	9,7 miljard
	Economische schade bij het zwaarst beschouwde scenario (€) (maximaal scenario)	21,0 miljard
Slachtoffers	Verwachtingswaarde (slachtoffers per jaar)	11,7
	Gemiddeld aantal slachtoffers per overstroming	679
	Maximaal aantal slachtoffers bij het zwaarst beschouwde scenario (maximaal scenario)	20.200
	Overlijdenskans van een individu per locatie exclusief het effect van preventieve evacuatie (plaatsgebonden risico) (per jaar)	Alblasserwaard en centraal deel Vijfheerenlanden overwegend >1/10.000 per jaar, overig deel van Vijfheerenlanden tussen 1/10.000 en 1/100.000 per jaar (gemiddeld 1/8.300).
	Overlijdenskans van een individu per locatie inclusief het effect van preventieve evacuatie (lokaal individueel risico) (per jaar)	Vrijwel overal 1/10.000 tot 1/100.000 per jaar, stedelijk gebied langs Merwede >1/10.000 per jaar, gebied rondom Heukelum en Asperen <1/10.000.000 per jaar (gemiddeld 1/28.000 per jaar)

Tabel 4: Resultaten risicoberekeningen voor dijkkring 16.

De jaarlijkse overschrijdingskansen van schade en slachtoffers zijn weergegeven in FN- en FS-curven (respectievelijk Figuur 5 en Figuur 6). Deze curven beschrijven de kansen op overschrijding van bepaalde slachtofferaantallen of schades.



Figuur 5: FS-curve voor dijkkring 16.

Uit de FS-curve blijkt dat de minimale schade ongeveer gelijk is aan 1,6 miljard euro, de kans hierop is  $>1/100$  per jaar. De maximale schade die kan optreden is ongeveer gelijk aan 22,0 miljard euro, de kans hierop is circa  $1/24.000$  per jaar. In dit geval is vrijwel het hele dijkkringgebied overstromd. In Tabel 5 zijn ter illustratie enkele kenmerkende punten uit de figuur opgenomen.

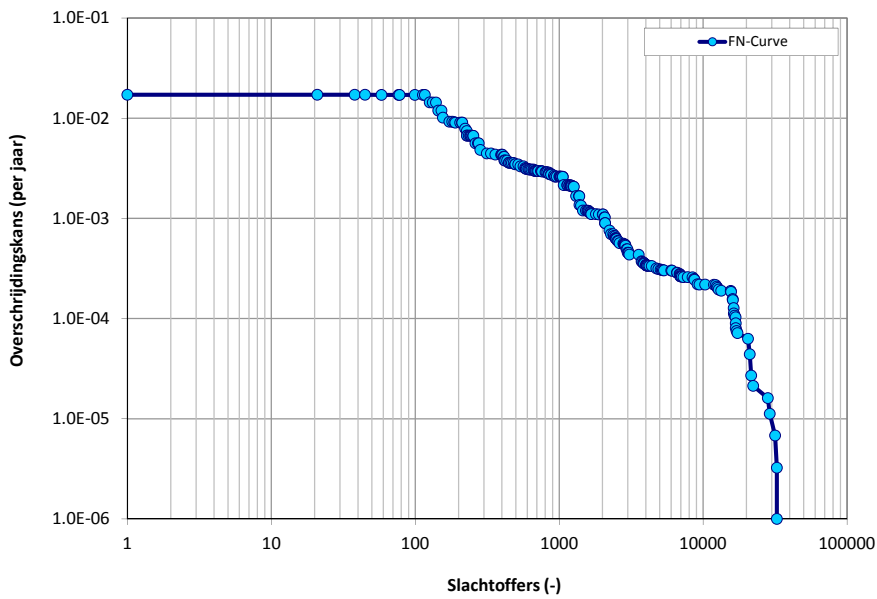
Schade [miljoen euro]	Kans [per jaar]
100	$>1/100$
1.000	$>1/100$
10.000	$1/200$
20.000	$1/1.600$
$>20.000$	$1/24.000$

Tabel 5: Kans op economische schade.

Uit de FN-curve (samengevat in Tabel 6) blijkt dat het minimum aantal slachtoffers gelijk is aan 21, de kans hierop is de overstromingskans van de dijkkring ( $>1/100$  per jaar). In het ernstigste geval vallen meer dan 30.000 slachtoffers, de kans hierop is echter klein ( $1/90.000$  per jaar).

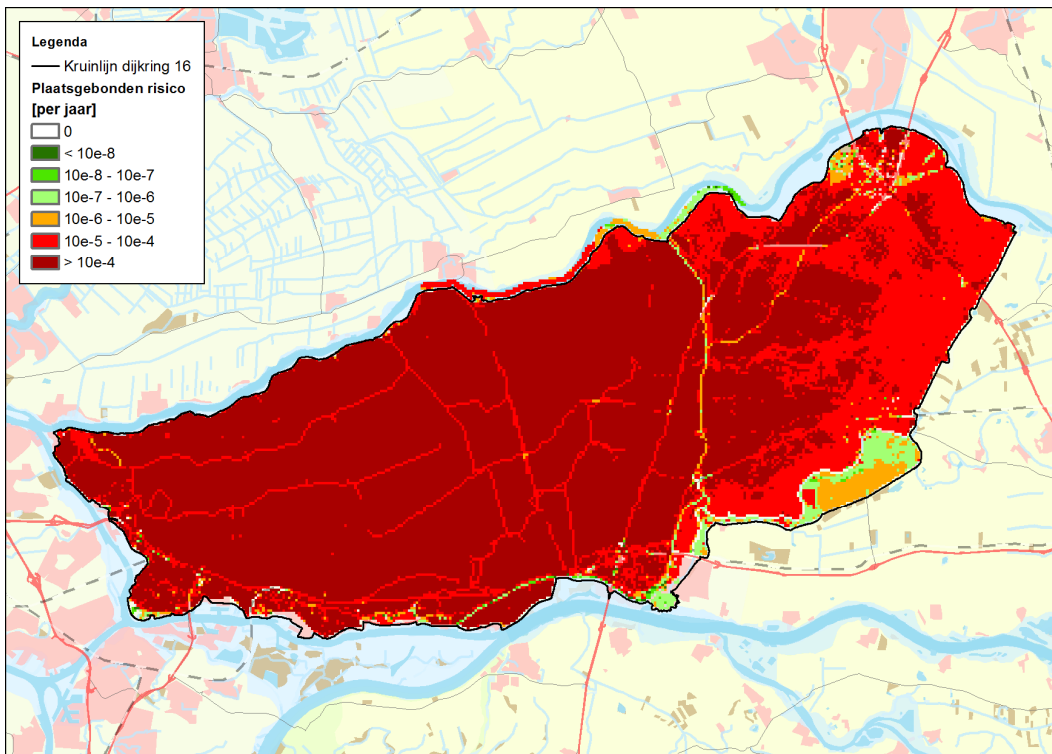
Slachtoffers [aantal]	Kans [per jaar]
10	$>1/100$
100	$>1/100$
1.000	$1/380$
10.000	$1/4.500$
$>30.000$	$1/90.000$

Tabel 6: Kans op slachtoffers.



Figuur 6: FN-curve voor dijkkring 16.

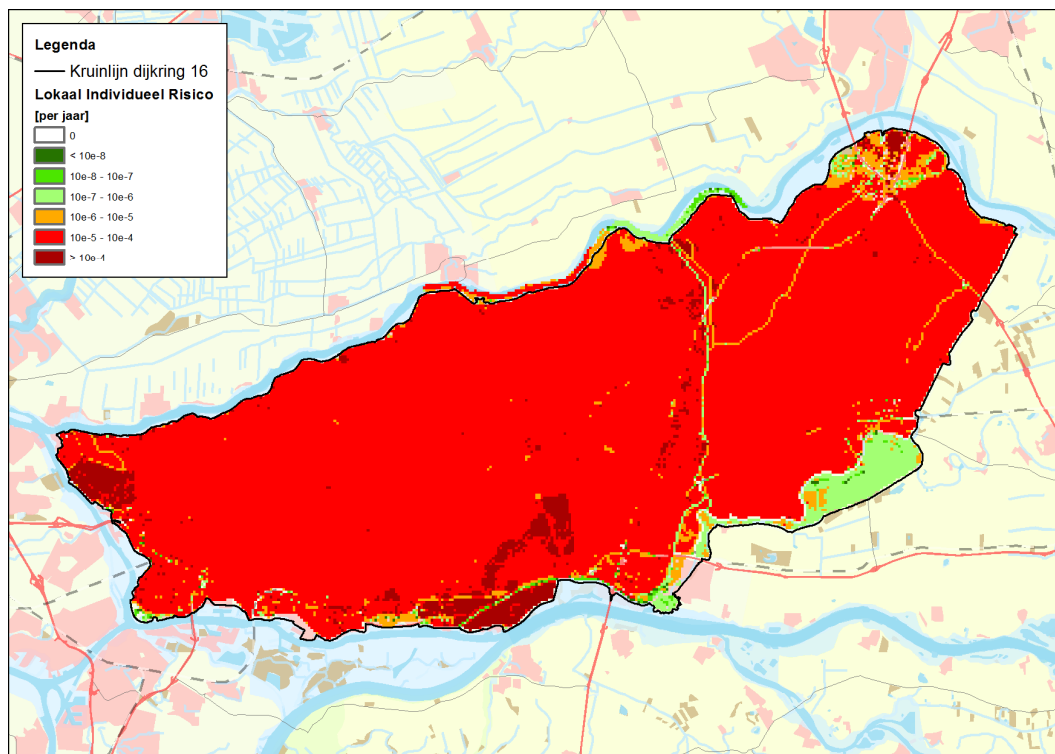
Het plaatsgebonden risico (PR) in het hele dijkkringgebied is relatief hoog (groter dan 1/10.000 per jaar) (Figuur 7). Alleen in het bovenstroomse deel van het dijkkringgebied is het risico lager (maar voor het grootste deel nog wel veelal groter dan 1/100.000 per jaar). In de laag gelegen gebieden in het westen worden grote waterdiepten berekend na een dijkdoorbraak. Dit komt tot uitdrukking in het berekende PR in deze delen van het dijkkringgebied. In de omgeving van de kernen Asperen en Heukelum (in het zuidoosten van de dijkkring) is het plaatsgebonden risico relatief klein.



Figuur 7: Plaatsgebonden risico dijkkring 16.



Het lokaal individueel risico (LIR) is vrijwel overal groter dan 1/100.000 per jaar. Over het algemeen geldt dat het risico in het oosten van de dijkkring kleiner is dan in het westen. Dit is verklaarbaar, in het westen is de waterdiepte bij een overstroming namelijk ook groter. Net zoals voor het plaatsgebonden risico geldt, is alleen in de omgeving van de kernen Asperen en Heukelum (in het zuidoosten van de dijkkring) het lokaal individueel risico laag. Het niet meenemen van de Diefdijk (categorie c-kering) geeft voor dit gebied een mogelijk vertekend beeld van het risico.



Figuur 8: Lokaal individueel risico (LIR) dijkkring 16.

### Gevoeligheidsanalyses

#### *Effect waterstandverlagende maatregelen Ruimte voor de Rivier*

De met de PKB Ruimte voor de Rivier beoogde waterstandverlaging lijkt op basis van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse onvoldoende om de dijken naar een substantieel lagere overstromingskans te brengen; de berekende overstromingskans wordt niet kleiner dan 1/100 per jaar ondanks een afname met circa 30%. Als gevolg van de waterstandverlaging nemen het economisch risico en het slachtofferrisico af met eveneens 30% ten opzichte van de huidige situatie. Ook het LIR neemt af in met name de stedelijke gebieden van Hardinxveld en Alblasterdam. Doordat de schade en slachtoffers voornamelijk worden bepaald door overstromingen vanuit de Lek werkt de reductie in faalkans voor de vakken langs de Lek door waterstandverlaging vrijwel één op één door in de reductie van het overstromingsrisico.

#### *Effect dijkversterkende maatregelen tien zwakste dijkvakken*

Voor de tien dijkvakken en/of kunstwerken die de grootste bijdrage leveren aan de overstromingskans van dijkkring 16 zijn de faalmechanismen *opbarsten en piping* en *macrostabiliteit binnenwaarts* maatgevend. De tien vakken liggen in het bovenstroomse deel van de dijkkring langs de Lek. Het versterken van deze vakken (over een lengte van 17 km op een totale lengte van de dijkkring van 86 km) reduceert de overstromingskans van dijkkring 16 van >1/100 naar 1/390 per jaar. Opgemerkt wordt dat de vakken dusdanig worden versterkt dat de faalkans van deze vakken verwaarloosbaar klein wordt ten opzichte van de overige vakken. Tevens geldt dat in de versterkte situatie is uitgegaan van afronding van de Ruimte voor de Rivier maatregelen.

---

### *Dijkversterkende maatregelen in kader van strengere veiligheidsnormen*

Om de overstromingskans verder te verkleinen naar de getalswaarde van de overschrijdingskansnorm van 1/2.000 per jaar dient minimaal 34 km waterkering te worden verbeterd op een totale lengte van de dijkkring van 86 km. Het grootste deel van de betreffende dijkvakken bevindt zich langs de Lek. In dit geval dienen ook enkele vakken langs de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede verbeterd te worden. Om de overstromingskans gelijk te krijgen aan de optimale norm die volgt uit de MKBA WV21 (1/4.000 per jaar) dienen nog eens minimaal 9 km extra waterkering verbeterd te worden, waarbij in totaal circa 41 km waterkering moet worden aangepast.

De risico's als gevolg van deze dijkversterkende maatregelen, in combinatie met de waterstandverlagende maatregelen in het kader van Ruimte voor de Rivier, nemen sterk af ten opzichte van de huidige situatie. Door het versterken van de 10 zwakste dijkvakken daalt het economisch risico van 166,4 miljoen euro per jaar naar 26,8 miljoen euro per jaar. Het slachtofferrisico neemt af van 11,7 naar 2,7 slachtoffers per jaar. Een verdere investering in de dijken tot het niveau waarop de overstromingskans gelijk is aan de optimale kans conform de MKBA WV21 leidt tot een verdere daling van het economisch risico naar 1,8 miljoen euro per jaar en een slachtofferrisico van 0,3 slachtoffers per jaar.

### *Veiligheidsniveau bij voorgestelde eisen Deltaprogramma Veiligheid*

Binnen het Deltaprogramma Veiligheid worden overstromingskansnormen ontwikkeld en uitgewerkt op dijktrajectniveau. Voor het afleiden van de normen wordt gekeken naar drie veiligheidssituaties waarbij de maatgevende situatie wordt gebruikt voor het normeren van de trajecten. De volgende situaties worden beschouwd:

- Lokaal Individueel Risico (LIR) in het dijkkringgebied moet kleiner zijn dan  $10^{-5}$  per jaar (basisveiligheidseis);
- De normen worden gebaseerd op een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) waarbij de kosten van de dijkversterking worden afgewogen tegen de reductie van het overstromingsrisico;
- Maatschappelijke ontwrichting (uitgedrukt als groepsrisico) waarbij de kans op grote groepen slachtoffers niet te groot mag zijn.

In het project VNK2 is gekeken naar de benodigde verbeteringen om de dijkkring te laten voldoen aan het basisveiligheidsniveau van  $10^{-5}$  per jaar en de normen volgend uit de MKBA. Om aan deze eis voor de basisveiligheid te voldoen is een verbetering nodig van minimaal 33 km waterkering op een totale lengte van de categorie a-keringen van de dijkkring van 86 km. Bij het vaststellen van de benodigde verbeteringen is uitgegaan van de situatie na afronding van het HWBP2 en na uitvoering van het project Ruimte voor de Rivier.

Om vervolgens aan de overstromingskansnorm per dijktraject te voldoen nadat reeds is voldaan aan de basisveiligheidseis van het LIR kleiner dan  $10^{-5}$  per jaar is nog een extra verbetering nodig van minimaal 12 km waterkering. In totaal dient ten behoeve van de nieuwe normen conform het Deltaprogramma Veiligheid dan minimaal 45 km waterkering te worden verbeterd op een totale lengte van de categorie a-keringen van 86 km. De overstromingskans van de dijkkring als geheel neemt in deze situatie af tot 1/10.000 per jaar. Het economisch risico neemt af tot 1 miljoen euro per jaar, terwijl het slachtofferrisico daalt naar 0,08 slachtoffers per jaar. Bij het vaststellen van de benodigde verbeteringen is uitgegaan van de situatie na afronding van het HWBP2 en na uitvoering van het project Ruimte voor de Rivier.

### *Effect bodemerosie van de Lek*

Een waterstandverlaging als gevolg van de erosie van de bodem van de Lek leidt tot een kleinere overstromingskans; de overstromingskans neemt af van  $>1/100$  per jaar naar  $1/120$  per jaar (grosfactor 2,0). De verwachtingswaarde van de economische

---

schade neemt af van 166,4 naar 87,0 miljoen euro per jaar. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers neemt af van 11,7 naar 8,1 slachtoffers per jaar. Dit effect is groter dan het effect van de Ruimte voor de Rivier maatregelen conform taakstelling (zie paragraaf 7.2). Dit is het gevolg van het feit dat de waterstandverlaging op de Lek als gevolg van de bodemerrosie groter is dan de waterstanddaling als gevolg van de Ruimte voor de Rivier-maatregelen èn omdat deze waterstanddaling invloed heeft op vrijwel alle maatgevende vakken voor de overstromingskans van dijkkringgebied 16. Voor de volledigheid wordt hierbij opgemerkt dat het mogelijke negatieve effect van de bodemerrosie in de vorm van het doorsnijden van slecht doorlatende lagen niet is beschouwd in deze analyse.

*Effect faalkans macrostabiliteit binnenwaarts is 1/100 per jaar*

Voor twee vakken (16.AW091.098 en 16.VY059.065) is een faalkans voor het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts berekend die als onwaarschijnlijk wordt beoordeeld. In de bepaling van de overstromingskans is er daarom voor gekozen dit faalmechanisme voor deze vakken niet mee te nemen. Deze vakken zijn in de derde wettelijke toetsronde (2010) echter als onvoldoende beoordeeld. Om de consequenties van het niet beschouwen van beide vakken op de overstromingskans te bepalen is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij een faalkans van 1/100 per jaar is aangenomen voor deze vakken. Uit de risicoberekeningen blijkt dat de verwachtingswaarde van de economische schade hierdoor toeneemt van 166,4 naar 244,5 miljoen euro per jaar. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers neemt toe van 11,7 naar 36,3 slachtoffers per jaar.

De gevoeligheid voor de aanname om de twee vakken niet mee te nemen in de risicoanalyse is vooral van belang voor het dijkvak 16.AW091.098 in het ringdeel Papendrecht AW112. Het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts wordt in dit ringdeel maatgevend. Het andere dijkvak, 16.VY059.065, ligt in een ringdeel waar andere faalmechanismen ongeveer even maatgevend zijn. Hier is de gevoeligheid voor de bedoelde aanname dus minder van belang. Hoewel de grootte van de faalkans niet betrouwbaar wordt geacht, is op beide locaties mogelijk wel een groot probleem met stabiliteit binnenwaarts. Voor beide locaties wordt dan ook aanbevolen om nader onderzoek uit te voeren om de bijdrage van deze dijkvakken aan de overstromingskans en het overstromingsrisico beter in te schatten, mede in het licht van de dijkverbeteringen die nog uitgevoerd gaan worden.

*Effect waterstandverlaging project 'Ontpoldering Noordwaard'*

Een waterstandverlaging als gevolg van Ruimte voor de Rivier maatregelen conform taakstelling leidt niet tot een wezenlijk kleinere overstromingskans. Ook een extra waterstandverlaging langs de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede als gevolg van het project 'Ontpoldering Noordwaard' leidt niet tot een wezenlijk kleinere overstromingskans. In beide gevallen blijft de overstromingskans >1/100 per jaar. De waterstandverlaging als gevolg van de Ruimte voor de Rivier maatregelen uit zich wel nadrukkelijker in het berekende overstromingsrisico; de verwachtingswaarde van de economische schade en de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar nemen na maatregelen conform taakstelling af met respectievelijk 29% en 30% ten opzichte van de huidige situatie. De extra waterstandverlaging als gevolg van het project 'Ontpoldering Noordwaard' heeft echter een beperkt effect op de berekende risico's; de verwachtingswaarde van het economisch risico en het slachtofferrisico daalt met respectievelijk slechts 4% en 11% extra ten opzichte van de maatregelen conform taakstelling. Doordat de extra waterstandverlaging alleen effect heeft op de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede, terwijl de maatgevende vakken langs de Lek liggen is de hiermee geassocieerde afname van het risico beperkt.



---

# 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 reductie 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 ontwikkelings-traject 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 instrumentarium doorgevoerd. In 2006 is vervolgens het project VNK2 van start gegaan. In VNK2 wordt het overstromingsrisico in Nederland in beeld gebracht. De inzichten die daarbij worden opgedaan zijn van grote waarde voor de bescherming van Nederland tegen overstromingen.

## 1.2 Projectopdracht Veiligheid van Nederland in Kaart

Het project VNK2 wordt uitgevoerd door RWS Waterdienst in opdracht van het Directoraat Generaal Ruimte en Water van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, de Unie van Waterschappen (UvW), 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 dijkkring berekend. Een dijkkring bestaat uit een aaneengesloten keten van waterkeringen (en mogelijk hooggelegen gronden) waarmee het omsloten gebied (het dijkkringgebied) tegen overstromingen wordt beschermd. In totaal zijn er in Nederland 57 van dit type dijkkringen. Dijkkringen 23 (Biesbosch; wordt grotendeels ontpolderd) en 33 (Kreekrakpolder; uitsluitend categorie c-keringen) worden in VNK2 niet beschouwd. Daarnaast zijn er sinds de uitvoering van de Maaswerken 46 Maaskaden. Het project VNK2 voert de berekeningen van de overstromingskansen en –gevolgen uit voor 55 dijkkringgebieden en 3 Maaskaden.

VNK2 verschaft inzicht in de betrouwbaarheid van de waterkeringen, identificeert de zwakke plekken, berekent het overstromingsrisico en geeft mogelijkheden aan om het risico te reduceren. VNK2 levert zo basisinformatie voor politiek-maatschappelijke afwegingen ten aanzien van investeringen in de waterveiligheid van Nederland.

---

### 1.3 Overschrijdingskansen en overstromingskansen

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

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

Een overschrijdingskans uit de Waterwet is een normwaarde. Door de aanwezigheid van reststerkte hoeft een dijk bij een overschrijding van een waterstand die gelijk is aan het toetspeil nog niet direct te bezwijken. Het is echter ook mogelijk dat een dijk bij een waterstand beneden het toetspeil bezwijkt door bijvoorbeeld het faalmechanisme *Opbarsten en piping*. De conditie van een waterkering kan afwijken van de norm, zowel in positieve als negatieve zin.

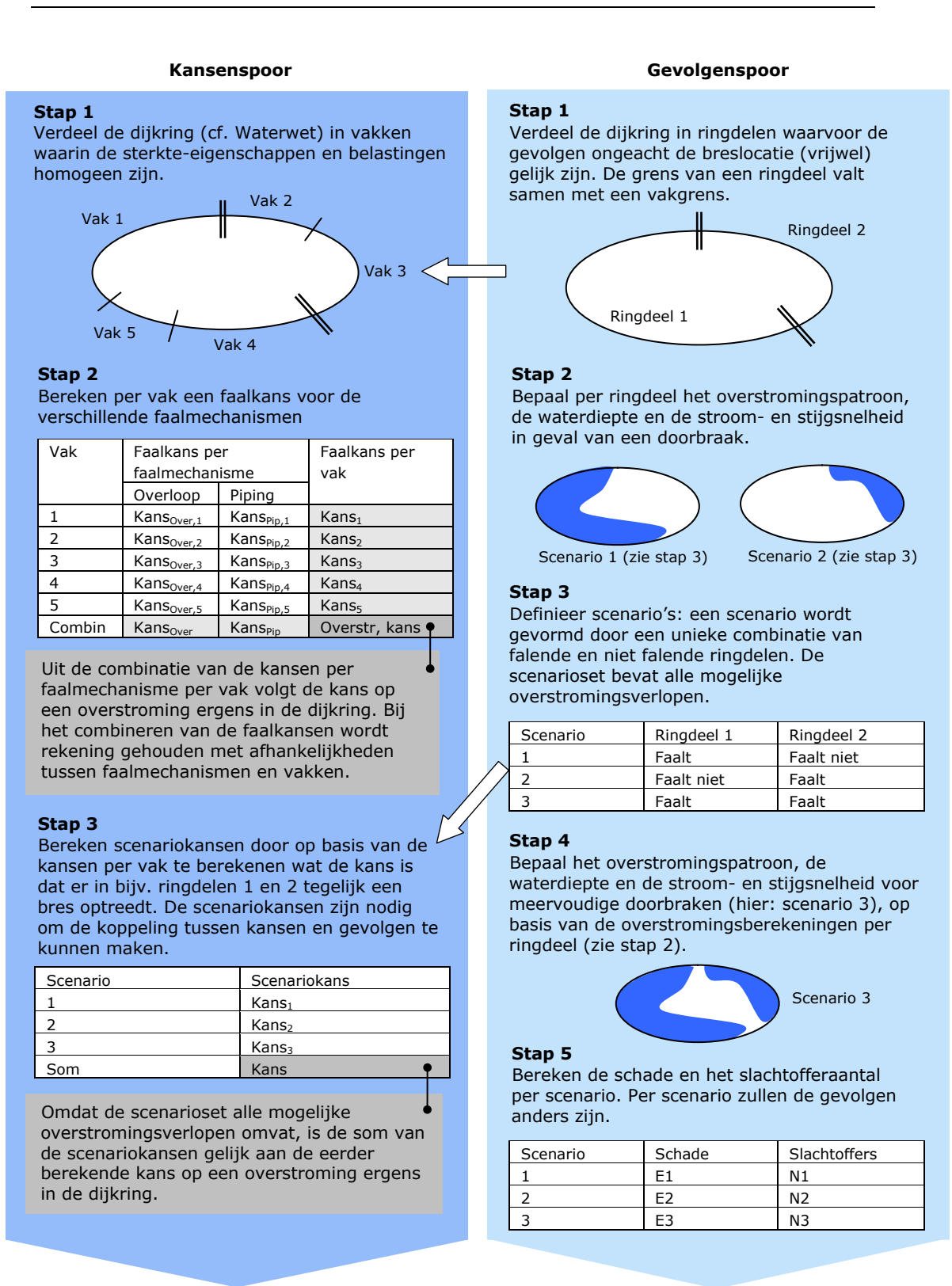
Een overstromingskans is de kans dat zich in een dijkkring daadwerkelijk een overstroming voordoet. Een overstromingskans geeft dus een beeld van de conditie van de hele dijkkring. Een overschrijdingskans heeft alleen betrekking op de hydraulische belastingen (waterstanden).

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 heeft betrekking op de hele dijkkring. Bij het bepalen van een overstromingskans moeten de faalkansen van alle dijkvakken worden gecombineerd. Daarbij speelt ook de totale lengte van de kering een rol: hoe langer een kering, hoe groter de kans dat zich ergens een zwakke plek bevindt. Dit fenomeen wordt ook wel het lengte-effect genoemd.

### 1.4 Rekenmethode VNK2

In het project VNK2 worden overstromingsrisico's berekend. Deze risico's worden bepaald door de kansen op de vele mogelijke doorbraakscenario's te combineren met de bijbehorende gevolgen van overstromingen. Voor een nadere toelichting op de verschillende onderdelen van de risicoberekeningen wordt verwezen naar de handleiding [1] en de achtergrondrapporten [2] [17]. In Figuur 9 zijn de stappen die achtereenvolgens worden gezet om het overstromingsrisico te berekenen, schematisch weergegeven. In de daarop volgende tekst worden deze verder verduidelijkt.



### Risicoberekening

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

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

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

Figuur 9: De rekenmethode van VNK2.

Een dijkkring kan worden opgevat als een keten: de schakels worden gevormd door alle dijkvakken, duinvakken en kunstwerken die onderdeel uitmaken van de waterkering (Figuur 10). Per vak en kunstwerk wordt gekeken naar de verschillende wijzen waarop deze kan falen, d.w.z. zijn waterkerende functie kan verliezen. Deze verschillende wijzen van falen worden faalmechanismen genoemd. De overstromingskans wordt berekend door het combineren van alle faalkansen per faalmechanisme voor alle vakken. Voor een beschrijving van de verschillende faalmechanismen die in de risicoanalyse zijn meegenomen wordt verwezen naar paragraaf 3.2. In paragraaf 3.3 wordt een toelichting gegeven op de faalmechanismen die niet zijn meegenomen in de analyse.



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

Bij de berekening van faalkansen en overstromingskansen spelen onzekerheden een centrale rol. Als de belasting op een waterkering groter is dan de sterkte, zal de kering bezwijken. Omdat er onzekerheden bestaan ten aanzien van zowel de belastingen als de sterkte-eigenschappen van waterkeringen, is het onzeker of een waterkering in een gegeven periode zal bezwijken. Anders gezegd: er is sprake van een kans dat de waterkering in dat geval bezwijkt. Onzekerheden ten aanzien van belastingen en sterkte-eigenschappen vormen dus de basis van de 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/kunstwerk en 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 scenarioset. 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 de provincie Zuid-Holland is onder begeleiding van VNK2 voor een aantal breslocaties en voor verschillende belastingsituaties overstromingsberekeningen gemaakt. Per overstromingsberekening zijn de gevolgen berekend in termen van economische schade en aantal te verwachten dodelijke slachtoffers. Daarbij zijn ook de (on)mogelijkheden voor evacuatie meegenomen. Vervolgens zijn uit het overstromingsverloop van de enkelvoudige doorbraken het overstromingsverloop van eventueel meervoudige doorbraken afgeleid. Ook voor de meervoudige doorbraken zijn de gevolgen berekend.

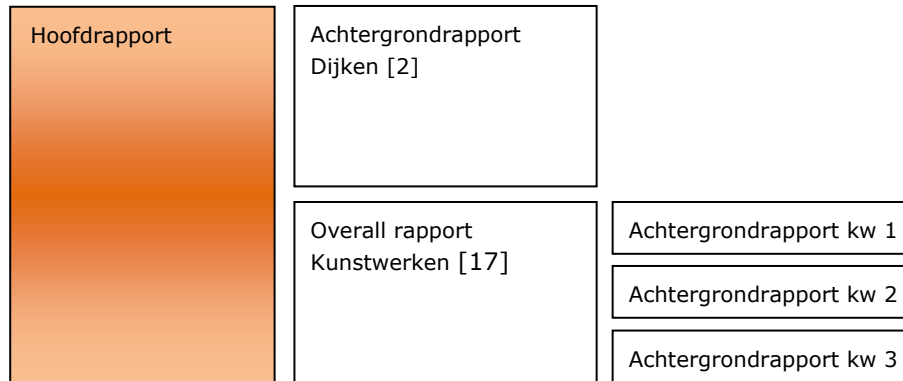
Door de scenariokansen aan de bijbehorende gevolgen te koppelen kan het overstromingsrisico worden berekend. Het overstromingsrisico wordt weergegeven door de jaarlijkse verwachtingswaarden van de economische schade en het aantal slachtoffers, het groepsrisico (FN-curve), de overschrijdingskans van de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



---

## 1.5 Leeswijzer

De analyse van dijkkringgebied 6 is beschreven in voorliggend dijkkringrapport. Het dijkkringrapport is geschreven op basis van twee onderliggende rapporten, het achtergrondrapport Dijken (a-keringen) [2] en het overall rapport kunstwerken [17]. Het overall rapport kunstwerken is geschreven op basis van de achtergrondrapporten die voor een selectie van kunstwerken zijn opgesteld (zie Figuur 11).



*Figuur 11: Schematisch overzicht rapporten.*

In hoofdstuk 2 is een beschrijving van het dijkkringgebied opgenomen. Er wordt in dit hoofdstuk onder meer ingegaan op de inrichting en de hoogteligging, het watersysteem en de ligging van de primaire waterkering. Ten slotte wordt de onderverdeling van de dijken in vakken besproken en wordt een toelichting gegeven op de selectie van de kunstwerken waarvoor in VNK2 betrouwbaarheidsanalyses zijn uitgevoerd.

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

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

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

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

Hoofdstuk 7 beschrijft de resultaten van gevoeligheidsanalyses die zijn uitgevoerd. Deze geven inzicht in het effect van waterstandverlagende en dijkversterkende maatregelen op het berekende overstromingsrisico. Ook geven zij aan wat de invloed is van belangrijke uitgangspunten op de omvang van het berekende overstromingsrisico.

In hoofdstuk 8 worden de conclusies gegeven van de risicoanalyse voor de categorie a-kering van dijkkring 16. Ten slotte worden aanbevelingen gedaan voor het waarborgen en verder vergroten van de overstromingsveiligheid.



## 2 Gebiedsbeschrijving en schematisatie

In dit hoofdstuk wordt de gebiedskenmerken van dijkkringgebied 16 besproken, inclusief de kenmerken van de primaire waterkering. Vervolgens wordt de onderverdeling van de waterkering in vakken beschreven en wordt toegelicht welke kunstwerken zijn geselecteerd voor een gedetailleerde faalkansanalyse.

### 2.1 Beschrijving dijkkring 16: Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden

#### 2.1.1 Algemene kenmerken

Dijkkringgebied 16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden wordt omsloten door de rivieren de Boven- en de Beneden-Merwede (zuidzijde), de Noord (westzijde) en de Lek (noordzijde). De primaire waterkeringen langs deze rivieren omsluiten het dijkkringgebied en hebben een lengte van circa 111 km, waarvan circa 86 km direct het buitenwater keert, de categorie a-waterkering. De Diefdijkslijn sluit de dijkkring aan de oostzijde, dit betreft een categorie c-waterkering met een lengte van circa 25 km. De waterkeringen van dijkkringgebied 16 zijn geheel in beheer bij Waterschap Rivierenland en hebben een normfrequentie van 1/2.000 per jaar [3]. In de dijken van dijkkring 16 ligt een aantal kunstwerken die onderdeel zijn van de primaire waterkeringen van dijkkring 16. Het grootste deel van deze kunstwerken is in beheer bij Waterschap Rivierenland (paragraaf 2.4).



Figuur 12: Topografie dijkkringgebied 16.

Het dijkkringgebied ligt grotendeels in de provincie Zuid-Holland, voor een deel in de provincie Utrecht (Vianen) en voor een klein deel in de provincie Gelderland (Asperen en Heukelum). Het dijkkringgebied omvat 10 inliggende gemeenten: Zederik, Vianen, Sliedrecht, Papendrecht, Molengraaf, Leerdam, Hardinxveld-Giessendam, Gorinchem, Giessenlanden, Alblisserdam en een deel van de gemeente Lingewaald met in totaal zo'n 220.000 inwoners [4].

De bewoning concentreert zich langs de grote rivieren en langs de in het gebied liggende stroompjes en stroomruggen en daarmee dus langs en op de waterkeringen en de kaden. In het bijzonder de dijken langs de Merwede en de Noord zijn dicht

---

bebouwd. De steden Gorinchem, Hardinxveld-Giessendam, Sliedrecht, Papendrecht en Alblasserdam kennen een aanzienlijke bedrijvigheid binnen de invloedssfeer van de primaire waterkering. Langs de Lekdijk is vooral Vianen een groeikern. Het centrale deel van de polder is aanzienlijk dunner bevolkt en maakt deel uit van het groene hart van de Randstad [3].

Het landschap en de dijken van de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden zijn ontstaan in de 13<sup>e</sup> eeuw. De Alblasserwaard, en in mindere mate de Vijfheerenlanden, vormen een archetype van het Hollands landschap. De brede boezemvaarten, de talrijke molens, de gaaf bewaarde molengangen vormen een oer-Hollands landschap. Het gebied is in cultuurhistorisch opzicht van nationaal of zelfs internationaal belang. Het is een waardevolle laagveenontginning doordat de oorspronkelijke ontginning- en verkavelingstructuur en het daarbij behorende watersysteem goed bewaard zijn gebleven en tal van kenmerkende elementen herbergen, zoals tiendwegen, kaden, dijken, eendenkooien, waardevolle boerderijen en langgerekte dubbele bebouwingslinten [5] [6].

### 2.1.2 Geogenese

De opbouw van de ondergrond en de onzekerheden daaromtrent hebben een grote invloed op de berekende faalkansen voor de faalmechanismen waarbij de sterkte-eigenschappen van de ondergrond van belang zijn, zoals de faalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts en opbarsten en piping (paragraaf 3.2). Op basis van de geologische ontstaansgeschiedenis van het dijkringgebied (geogenese) kan de opbouw van de ondergrond worden verklaard. Tevens kan op basis van de ontstaansgeschiedenis worden verklaard waarom de grondeigenschappen ruimtelijk variëren.

#### *Ondergrond van zand en grind*

De vorming van het rivierengebied en het veengebied gaat terug naar de IJstijden, waarvan de laatste ongeveer 10.000 jaar geleden eindigt. Ook in de IJstijden lopen de temperaturen in de zomermaanden op, waardoor in de Alpen grote hoeveelheden sneeuw en ijs smelten. Iedere zomer worden gigantische hoeveelheden water naar zee afgevoerd. Vanuit het bergachtige achterland worden tonnen grind en zand meegevoerd en afgezet. De Rijn en Maas zijn dan nog vlechtende rivieren. In een tientallen kilometers brede laagte splitsen zij zich en vloeien zij weer samen in een opeenvolging van geulen. Tussen die zich telkens weer verleggende geulen ontstaan eilanden van zand en grind [6].

#### *Donken*

In de uitgestrekte, onbegroeide riviervlakte heeft de wind vrij spel. De relatief fijne component (grof zand) wordt uitgestoven en weer afgezet in hoge, overwegend oost-west gerichte, zandruggen. Zo ontstaan in dit rivierengebied wel 20 meter hoge rivierduinen. In dit hoogdynamisch landschap, waar sedimentatie en erosie elkaar in een jaarlijkse cyclus aflossen, zijn deze toppen echter geen lang leven beschoren. De meesten worden in het volgend voorjaar al weer opgeruimd door de watermassa's die dan hun weg naar zee zoeken. Pas tegen het eind van de laatste IJstijd, zo'n 8000 jaar voor Christus, komt dit landschap in rustiger vaarwater. Het Noordzeebekken vult zich dan met water en de vernietigende kracht van de rivieren neemt af. Dan krijgen de rivierduinen kansen om te overleven. In de perioden daarop volgend worden de rivierduinen geleidelijk ingekapseld door kleiafzettingen en veenvorming. Alleen de hoogste toppen blijven als zandopduikingen boven het veen uitsteken (donken), de rest wordt door de latere kleiafzettingen en veenvorming afgedekt [6].

#### *Vegetatieontwikkeling en veenvorming*

De stijging van de temperatuur maakt ook een weelderige vegetatieontwikkeling mogelijk. Op de vlakte gaan grassen, struiken en bomen groeien. Door de stijging van de zeespiegel wordt het verval van de rivieren minder. De vlechtende rivieren gaan over in meanderende rivieren, die regelmatig hun hoofdstroom verleggen. Deze meanderende rivieren zetten fijner materiaal af. Het grove rivierzand wordt hierdoor afgedekt

---

met leem en klei. Omstreeks 2000 voor Christus sluit de kustlijn zich. Ongeveer op de plaats van de huidige kust ontwikkelt zich een gesloten duinenrij. Hierdoor stagneert de afvoer van de grote rivieren. Het westelijk deel van Nederland, tussen de oostelijke zandgronden en de duinkust, verandert in een uitgestrekt moerasgebied waarin op grote schaal veenvorming plaatsvindt. Onder invloed van de rivieren met hun voedselrijke, slibrijke water ontstaan in de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden moerasbossen waarin bosveen wordt gevormd. Tijdens deze veenvorming overspoelen de rivieren regelmatig het veenpakket, waarbij zij op het veen dunne lagen rivierklei afzetten. Hierdoor bevat het bosveen wisselende hoeveelheden rivierklei. In deze periode verleggen Rijn en Maas herhaaldelijk hun loop, en laten zij met zand en grind verlande geulen achter. Deze worden vervolgens door het zich uitbreidende veen overdekt. Hierdoor ontstaat een sterk gedifferentieerde ondergrond [6].

#### *Rivierafzettingen*

De meanderende rivieren treden nog regelmatig buiten hun bedding, waarbij het materiaal dat het water meevoert wordt afgezet. Het zwaardere materiaal (grover zand) wordt als eerste, dicht bij de rivier afgezet, de fijnere component (rivierklei) wordt langer door het water meegevoerd en bezinkt in de verder afgelegen laagten. Hierdoor wordt het bosveen afgedekt met rivierafzettingen. Dicht bij de rivier ontstaan de zandige oeverwallen, verder daarvan verwijderd de kleiige kommen. Vanaf 1200 wordt het gebied omdijkt. Dit maakt een eind aan de afzetting door de rivieren. Alleen buitendijks vindt, in de uiterwaarden, nog sedimentatie plaats. Tot in de negentiende eeuw breken de rivieren nog regelmatig door de dijken (zie paragraaf 2.2.1). Hierbij ontstaat achter de dijk een zandige, waaivormige afzetting, een overslag, die verder van het doorbraakpunt af steeds kleiiger wordt. Achter het gat in de dijk ontstaat een kolkgat, een wiel, waal of waai. Een voorbeeld hiervan is het Wiel van Bassa ontstaan na een doorbraak van de Diefdijk op de plek waar die kruist met de stroomrug van een oude rivierarm [6].

#### *Stroomruggen*

Wanneer een gebied wordt ontgonnen worden greppels en weteringen gegraven om de afwatering te versnellen. Hierdoor klinkt het veen in. De voormalige, met zand en grind opgevulde riviergeulen, klinken minder in en komen nu als langgerekte ruggen te midden van het omringende veencomplex te liggen. Deze ruggen worden stroomruggen genoemd. De meest markante hiervan is de Schoonrewoerdse stroomrug, die als een flauwe, circa 100 meter brede rug, centraal door de Alblasserwaard loopt [6].

### 2.1.3 *Occupatiegeschiedenis*

Als gevolg van regelmatig optredende overstromingen wordt het gebied tot circa het jaar 1000 afwisselend wel en niet bewoond. Omstreeks dat jaar keren de mensen terug naar het gebied om de ontginning van het uitgestrekte veencomplex tussen de hogere zandgronden en Gelderland/Utrecht en de duinkust letterlijk ter hand te nemen. In een betrekkelijke korte tijd (tussen 1000 en 1300) wordt het gehele veengebied stelselmatig in cultuur gebracht (zie ook kader) [6].

#### *Ontginning Alblasserwaard*

In de Alblasserwaard is de ontginningsdiepte mede bepaald door de natuurlijke uitgangssituatie. In eerste instantie is het land vanaf de oeverwallen van de Lek en Linge verkaveld. Vervolgens zijn dorpen gesticht langs de stroompjes in het veengebied. Om de frequent optredende overstromingen het hoofd te kunnen bieden zijn de boerderijen op woonheuvels gebouwd. Hardinxveld en Giessendam behoren tot de oudste ontginningscentra van de Alblasserwaard. Hier is de oeverwal aan de benedenloop van het veenriviertje de Giessen de basis. Van daaruit zijn in noordwestelijke richting de afwateringssloten gegraven. Aangenomen wordt dat omstreeks 1270 heel Hardinxveld en Giessendam reeds zijn ontgonnen. In de Alblasserwaard is de diepte van de ontginningsblokken in belangrijke mate bepaald door de aanwezigheid van de natuurlijke veenstromen. Het westelijk deel van de Alblasserwaard kent een drietal parallelle,

---

oostwest verlopende veenstromen (Alblas, Achtergraafstroom en Achterwetering) waarvan bij de ontginning dankbaar gebruik is gemaakt. Hun ligging correspondeert goed met de gebruikelijke ontginningsdiepte van 1250 meter. In de dertiende eeuw is de Graafstroom gegraven. Deze wetering vormt de kortsluiting tussen de veenriviertjes Alblas en Goudriaan. Hiermee wordt ook het minst toegankelijke deel van de Alblasserwaard, het uit hoogveenmoeras bestaande middengedeelte, ontsloten [6].

#### **Cope-ontginningen**

*De 'landsheerlijke wildernis' zoals het veencomplex wordt genoemd is in bezit van de koning. De graven van Holland en de bisschoppen van Utrecht bezitten het recht om deze gronden uit te geven aan groepen ontginners, waarmee een cope-overeenkomst wordt gesloten. Deze geeft hen tegen wederdiensten het recht om een stuk moerasland in cultuur te brengen. Zo winnen de landsheren er vruchtbaar land bij, compleet met royale onderdanen die het nieuwe gebied bevolken. Landmeters van de landsheer meten stukken land uit. Deze cope-ontginningen hebben in de regel een diepte van circa 1250 meter. In verschillende plaatsnamen in het gebied komt het woord 'cope' of 'koop' nog voor, zoals in Heicop, Boeicop en Middelkoop [6].*

#### **Ontginning Vijfheerenlanden**

In de Vijfheerenlanden worden eerst de hogere gronden langs Lek en Linge in gebruik genomen. Daarna volgt het middengebied; eerst de gronden langs de veenstromen de Laak en de Lede, daarna het grote middengebied. Het middengebied heeft geen natuurlijke uitgangspunten voor de ontginning. Hier zijn kaden en min of meer oostwest verlopende weteringen gegraven. Het gebied watert af op de Linge. De meest regelmatige cope-ontginningen bevinden zich in het centrale deel van de veengebieden. Tussen de rechthoekige ontginningsblokken bevinden zich kleinere ontginningen met een afwijkende vorm. Het betreft de restontginningen, overgebleven stukken grond die als laatste ontgonnen zijn. Aan het begin van de ontginning steken de veenstroomruggen nog niet boven de omliggende gronden uit. Daarom hebben zij, in tegenstelling tot de stroomruggen van de rivieren, nooit als ontginningsbasis gediend. Dit is zichtbaar bij Heicop en Boeicop waar de weg en de wetering, die de ontginningsbasis vormen, juist voor de stroomrug liggen [6].

#### **De strijd tegen water**

Om het ontgonnen gebied tegen overstromingen van de rivier te beschermen worden dijken opgeworpen. Omstreeks 1200 wordt een begin gemaakt met de bedijking van de rivieren. Langs de dijken ontstaat karakteristieke lintbebouwing. Op strategische plaatsen worden kastelen en vestingwerken gebouwd (onder andere Vianen en Hagestein). Naast geregelde overstromingen door Lek en Merwede kampen Alblasserwaard en Vijfheerenlanden in die periode met wateroverlast uit de Tielerwaard (Gelderland). Doordat het gebied in westelijke richting afloopt, krijgen de lager gelegen gronden het water van de hogere gronden in het oosten te verwerken. Om in de Alblasserwaard de toevloed van water uit het oosten tegen te gaan besluit Graaf Floris V in 1277 tot de aanleg van de Zouwendijk. Daarmee wordt het water uit de Vijfheerenlanden buiten de deur gehouden. De Zouwendijk vormt ook nu nog de grens tussen de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden.

De aanleg van de Zouwendijk stelt de Vijfheerenlanden voor een probleem. Hun water kan niet langer via de Alblasserwaard worden afgevoerd. In 1284 besluiten de belanghebbende heren (en dat zijn er dan nog meer dan vijf) tot een gezamenlijke aanpak in de bestrijding van de wateroverlast. Er wordt een complex stelsel van watergangen (zoals de Huibert bij Zederik) aangelegd. Om de instroming van water uit Gelderland tegen te gaan wordt omstreeks 1300 op de grens van Holland en Gelderland de Diefdijk aangelegd. Deze vormt de kortste verbinding tussen de Lekdijk (bij Everdingen) en de Lingedijk (bij Leerdam). Later krijgt de Diefdijk naast zijn waterkerende functie ook een militair doel. De dijk maakt dan deel uit van de Nieuwe Hollandse Waterlinie en dient als laatste weerstands- en verbindingsslijn (zie ook paragraaf 2.1.10) [6].

---

#### 2.1.4 Grondgebruik

De Alblasserwaard is een 'klassiek' veengebied. De Vijfheerenlanden daarentegen ligt op de overgang naar het rivierenlandschap. De oeverwallen en stroomruggen zijn hier breder, en tussen de zandige oeverwallen en stroomruggen liggen de komgronden; klei op veen. Dit onderscheid in bodemopbouw komt ook in het grondgebruik tot uiting.

##### *Alblasserwaard*

Aanvankelijk is het veengebied ontgonnen ten behoeve van de akkerbouw. Omdat het veen in de Alblasserwaard voornamelijk uit bosveen bestaat, dat door aanwezigheid van kleideeltjes ongeschikt is als brandstof, hebben in het gebied geen grootschalige verveningen plaatsgevonden. De akkerbouw heeft echter niet lang standgehouden. Door de ontwatering klinkt het veen steeds verder in, waardoor het gebied dicht bij het grondwater komt te liggen. Het gebied wordt te nat voor akkerbouw, waarna men overgeschakeld op veeteelt en hennepeteelt [6].

##### **Hennepeteelt**

*De hennep werd gebruikt voor de productie van touw en zeildoek voor de scheepvaart. Uit de zaden werd olie geperst. De hennepeteelt loopt in de negentiende eeuw naar zijn eind. Doordat de zeilvaart op zijn retour is neemt de behoefte aan touw en daarmee de vraag naar hennep snel af. De hennepakkers worden omgezet in weiland. Op tal van plaatsen in de Alblasserwaard is het kenmerkende smalle kavelpatroon van de hennepeteelt nog herkenbaar [6].*

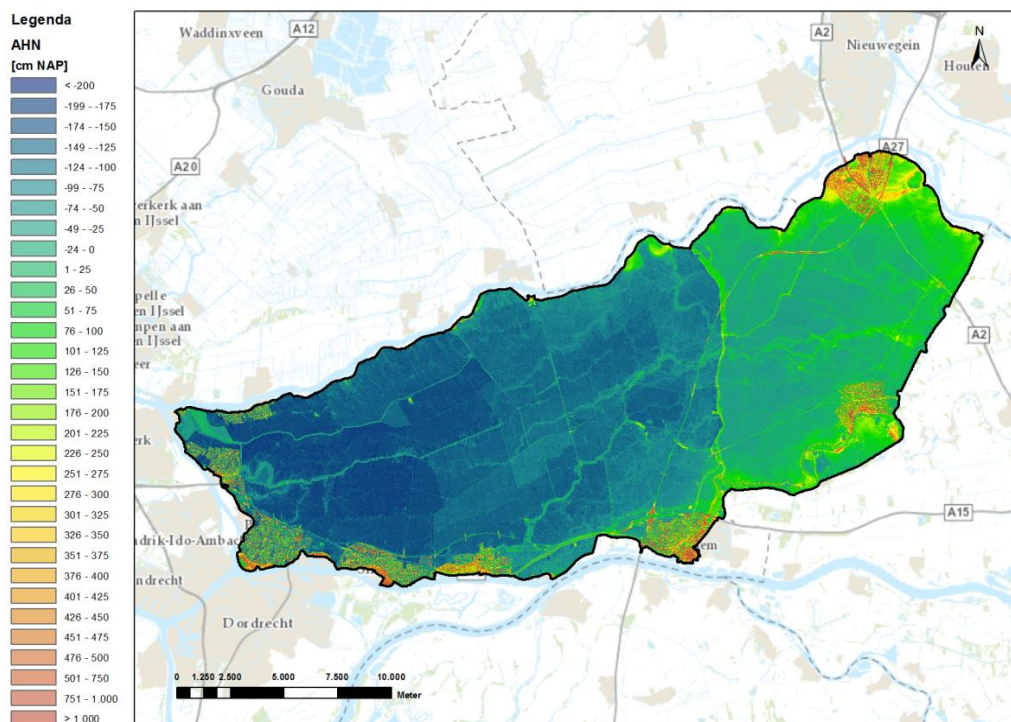
Momenteel bestaat het merendeel van de cultuurgrond uit grasland die is gekoppeld aan de veehouderij. Vooral het centrale deel van de Alblasserwaard speelt hier een belangrijke rol. De grondgebonden veehouderij functioneert hier als belangrijke drager van de openheid van het landschap en van de natuurwaarden. Op de hoger gelegen (drogere) gronden in het noorden zijn in een strook langs de Lek fruitteeltpercelen aanwezig. Naast de stedelijke zone die zich vooral aan de zuidkant van de Alblasserwaard bevindt komen op diverse plaatsen lintbebouwingen voor, vaak ook gekoppeld aan cultuurhistorische waarden. De aanwezige natuurgebieden bestaan onder meer uit nat schraalgrasland, rietmoeras en broekbos [5].

##### *Vijfheerenlanden*

In de Vijfheerenlanden is de ondergrond minder veenachtig. De akkerbouw heeft hier langer standgehouden dan in de Alblasserwaard, maar ook hier is het areaal akkerland geleidelijk afgenomen. Een belangrijke bron van inkomsten in de Vijfheerenlanden was de griendcultuur. Het hout dat hierbij vrijkomt, werd gebruikt voor het maken van hoepels (kuiperijen), stelen, palen en voor het vlechten van manden en eendenkorven. Van de toppen en het verder onbruikbare hout worden rijsbossen gemaakt voor de zinkstukken ten behoeve van de dijkenbouw [6]. Momenteel bestaat het merendeel van de cultuurgrond uit grasland die is gekoppeld aan de veehouderij. Op de hogere oeverwallen vindt nog enige akkerbouw (vooral maïs en granen) en fruitteelt plaats. Het stedelijk gebied ligt met name op de oeverwallen langs de Lek en Linge, waarbij Vianen, Lexmond en Leerdam het grootste gedeelte van het bebouwd gebied vormen. Daarnaast komt ook enige lintbebouwing voor in het midden van het gebied [7].

#### 2.1.5 Maaiveldhoogte

In de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden zijn door de ontginning en ontwatering in de loop van de tijd verschillen in inklinking ontstaan met maaiveldhoogteverschillen als gevolg (Figuur 13). De maaiveldzakking is door verschillen in bodemopbouw niet overal in het gebied even groot. De veengronden zijn door ontginning en ontwatering meer ingeklonken dan de kleiruggen of zanddonken waardoor deze laatste duidelijk boven hun omgeving uitsteken.



Figuur 13: Maaiveldhoogtekaart Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden.

Ondanks de lokale verschillen in maaiveldhoogte is de Alblasserwaard als geheel redelijk vlak te noemen. De maaiveldhoogte van de Alblasserwaard varieert van circa NAP-0,70m/NAP-0,80m bij Arkel en Meerkerk in het oosten tot NAP-1,70m/NAP-1,80m nabij Oud-Alblas in het westen van de Alblasserwaard. De donken en kleiruggen zijn als hoger gelegen delen op de maaiveldhoogtekaart (Figuur 13) herkenbaar: onder meer de Schoonenburgsche heuvel (NAP+3,9m) tussen Nieuw-Lekkerland en Streefkerk, de donken van Brandwijk en Hoogblokland en de kleiruggen ter plaatse en ten zuiden van Ameide en ten westen van Meerkerk [5].

De maaiveldhoogte van de Vijfheerenlanden varieert van circa NAP+2,0m ter plaatse van de oeverwallen langs de Lek en Linge, tot NAP-0,7m in de lage veenpolders in het centrale deel van het gebied (Figuur 13). In het gebied zijn enkele hogere stroomruggen te onderscheiden, ter plaatse van Middelkoop en Leerbroek en ter plaatse van Zijderveld en Hei- en Boecop [7].

### 2.1.6 Geohydrologie en grondwater

Het grondwatersysteem in het dijkkringgebied wordt, naast de invloed van de peilen in de verschillende polders, sterk bepaald door de aanwezigheid van de omliggende rivieren Lek en Merwede. De grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket heeft in regionaal opzicht een westelijke richting naar het diepste punt van de dijkkring. Nabij de rivieren wordt de grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket echter met name beïnvloed door de dynamiek van de rivierwaterstanden. In deze gebieden heeft de grondwaterstroming een sterke noord-zuidcomponent. De stijghoogte in het eerste watervoerend pakket varieert tussen NAP+1,0m nabij de noordoost- en zuid-oostranden van het dijkkringgebied en tot circa NAP-2,5m rondom de Alblas tussen Kinderdijk en Bleskensgraaf.

De dynamiek in het systeem wordt bepaald door kwel en wegzijging, veroorzaakt door hoge of lage rivierstanden. De grootste dynamiek in het watersysteem treedt op in de oeverwallen, direct langs de rivieren, hetgeen daar kan leiden tot droogval van sloten bij lage rivierstanden of het plaatselijk optreden van inundatie als gevolg van kwel bij



---

extreem hoge rivierstanden. In vrijwel het gehele dijkkringgebied is onder gemiddelde omstandigheden sprake van een kwelsituatie. Alleen ter plaatse van de verschillende boezemwateren en enkele natuur- en peilgebieden met een relatief hoog peil en centrale ligging in het gebied is sprake van een infiltratiesituatie. Langs de grote rivieren is de kweldruk het grootst; naar het midden van het gebied toe neemt de kweldruk af. Het zuidelijk deel van het dijkkringgebied heeft zoete kwel, afkomstig van het plaatselijk zeer diepe regionale Waalsysteem. Langs de rivieren is de kwel afkomstig uit de Lek en Merwede. In het centrale deel van de Alblasserwaard is een klein gedeelte van de kwel brak tot zout [5] [7].

#### 2.1.7 *Het watersysteem*

Binnen het dijkkringgebied worden door het waterschap drie stroomgebieden onderscheiden: Nederwaard, Overwaard (Alblasserwaard) en Beneden Linge (Vijfheerenlanden). Hieronder is per (deel)stroomgebied een korte toelichting gegeven op het watersysteem.

##### *Alblasserwaard: Nederwaard en Overwaard*

Waterhuishoudkundig is de Alblasserwaard onder te verdelen in twee gebieden: de Overwaard en de Nederwaard. De Overwaard beslaat het oostelijk en noordelijk deel van de Alblasserwaard, de Nederwaard beslaat het zuidwestelijke deel van de Alblasserwaard. In de twee gebieden bevinden zich 42 bemalingsgebieden. Deze bemalingsgebieden slaan overtollig water uit op de lage boezem. De lage boezem van de Nederwaard slaat rechtstreeks uit op de Lek. De Overwaard slaat het water van de lage boezem via de hoge boezem, waarna het eveneens in de Lek terechtkomt. Water kan worden ingelaten voor de Nederwaard en de Overwaard via de uitwateringssluis aan de Kinderdijk[8].

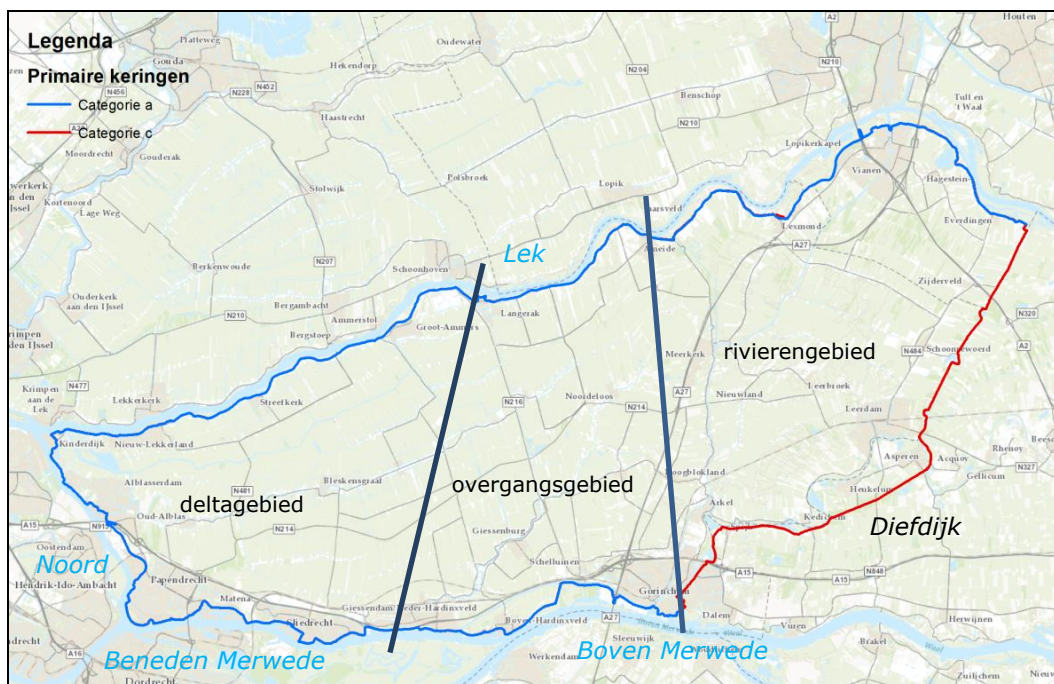
##### *Vijfheerenlanden: Beneden-Linge*

De Vijfheerenlanden is onderdeel van het stroomgebied Beneden-Linge. De Linge fungeert als boezemsysteem voor het achterliggende poldergebied van de Tielerwaarden, Lek en Linge en het zuidelijke deel van de Vijfheerenlanden. De Linge stroomt samen met het Merwedekanaal naar het Kanaal van Steenenhoek. Daarvandaan wordt water uitgemalen via het Kolffgemaal. In de zomer voert de Linge water aan vanuit oostelijke richting. In natte periodes wordt het overtollige water afgevoerd vanuit de Vijfheerenlanden via drie poldergemalen naar de Linge. Daarnaast wordt overtollig water via zeven poldergemalen uitgemalen op het Merwedekanaal en de Oude Zederik. Het Merwedekanaal voert water af in zuidelijke richting. In het geval van wateraanvoer, wordt een deel van het water ingelaten bij het Amsterdam-Rijnkanaal. Een ander deel is Lekwater dat bij het Kuijkgemaal bij het Lingekanaal in de Beneden-Betuwe wordt ingelaten [7].

#### 2.1.8 *Primaire waterkeringen*

De primaire waterkering van dijkkringgebied 16 bestaat uit waterkeringen die behoren tot verschillende categorieën (Figuur 14): categorie a-keringen die direct bescherming bieden tegen buitenwater en categorie c-keringen die indirect beschermen tegen buitenwater. Deze primaire waterkeringen hebben een totale lengte van circa 111 km.

De waterkeringen langs de Lek, Boven- en Beneden-Merwede en de Noord zijn categorie a-keringen en hebben een totale lengte van circa 86 km; 49 km langs de Lek, 27 km langs de Boven- en Beneden-Merwede en 10 km langs de Noord (Tabel 7). De Diefdijk die de grens vormt met dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) is een categorie c-kering met een lengte van circa 25 km. De Diefdijk maakt formeel onderdeel uit van dijkkring 16. In het voorliggende rapport worden echter alleen de primaire waterkeringen beschouwd die behoren tot categorie a. In Bijlage C is een kaart van de categorie a-keringen van dijkkring 16 opgenomen inclusief dijkkpalen.



Figuur 14: De primaire keringen van dijkkring 16.

Dijkvak	Dijkvakcode (WSRL)	Dijkpaal van - tot	Cat.	Lengte (km)
<i>Boven- en Beneden-Merwede</i>				
Gorinchem	160541	AW379+000 - AW398+080	A	4,6
Hardinxveld-Giessendam	160642	AW398+080 - AW053+000	A	10,7
Sliedrecht	160643	AW053+000 - AW083+100	A	6,6
Papendrecht	160644	AW083+100 - AW111+173	A	6,2
<i>Noord</i>				
Papendrecht-West / Ged.Alblasserdam	160744	AW111+173 - AW124+100	A	2,5
Alblasserdam	160745	AW124+100 - AW150+180	A	5,8
<i>Lek</i>				
Nieuw-Lekkerland (incl. Elshout)	160346	AW150+180 - AW190+160	A	8,3
Streefkerk	160347	AW190+160 - AW227+070	A	7,2
Groot-Amers / Nieuwpoort	160348	AW227+070 - AW254+064	A	5,7
Langerak	160350	AW254+064 - AW278+000	A	4,4
Zederik	160358	AW278+000 - VY030 +000	A	10,1
Vianen	160354	VY030+000 - VY064+020	A	7,8
Hagestein-Everdingen	160355	VY064+020 - VY097+000	A	6,5
<i>Diefdijklinie</i>				
Diefdijklinie Noord	160080	DL000+000 - DL038+120	C	10,0
Diefdijklinie Zuid	160081	DL038+120 - DL094+000	C	14,8
<b>Totaal</b>				<b>24,8</b>

Tabel 7: Dijkvakindeling dijkkring 16 conform Waterschap Rivierenland [3]

---

Dijkkringgebied 16 ligt op de overgang van het rivierengebied naar het deltagebied (veenweidelandschap) en kent drie zones [3] (Figuur 14):

- *Rivierengebied*. De Lekdijk van de Vijfheerenlanden (bovenstrooms van Ameide) en de Diefdijklinie van Everdingen tot Heukelem behoren tot het rivierengebied en staan hoofdzakelijk onder invloed van de bovenstroomse watertoevoer;
- *Overgangsgebied*. Dit gebied omvat de Lek grofweg van Ameide tot Nieuwpoort, en in het zuiden de Merwede van Gorinchem tot Boven-Hardinxveld;
- *Deltagebied*. In dit gebied liggen de dijken van het westelijke deel van de polder (westelijk van de lijn Nieuwpoort - Boven-Hardinxveld). In het Deltagebied staan de waterstanden overwegend onder invloed staan van de getijdenwerking op zee.

De categorie a-kering van de dijkkring bestaat uit verschillende secties (Tabel 7) die op basis van ontstaansgeschiedenis van elkaar verschillen (jaar van aanleg, geometrie, buitenwater en samenstelling ondergrond). Genoemde aspecten zijn sterk bepalend bij de indeling in dijkvakken (paragraaf 2.3).

#### 2.1.9 *Beheerders*

De primaire waterkeringen (categorie a en c) van dijkkringgebied 16 zijn in beheer bij Waterschap Rivierenland, met uitzondering van de volgende objecten [3]:

- Grote Merwedesluis te Gorinchem. Tussen Gorinchem en Vianen ligt het Merwedekanaal dat de Lek en de Merwede met elkaar verbindt. In Gorinchem scheidt de Grote Merwedesluis het Merwedekanaal van de Boven-Merwede. Deze schutsluis is in beheer bij de provincie Zuid-Holland.
- Grote Sluis te Vianen. Deze schutsluis scheidt het Merwedekanaal van de Lek. De schutsluis bij Vianen is evenals de Grote Merwedesluis bij Gorinchem in beheer bij de provincie Zuid-Holland.

Bij wet is geregeld dat de provincies (Gedeputeerde Staten) de toezichthouders zijn op alle primaire waterkeringen binnen de provinciegrenzen. De waterkeringen van dijkkringgebied 16 liggen grotendeels in de provincie Zuid-Holland, een klein deel (Vianen) in de provincie Utrecht en een klein deel (Asperen, Heukelum) in de provincie Gelderland. In dijkkring 16 rapporteert de provincie Zuid-Holland over het hele dijkkringgebied.

#### 2.1.10 *Diefdijk(linie)*

De Diefdijk is een binnendijk, tussen 1277 en 1284 aangelegd als zijkade. In eerste instantie had de Diefdijk een waterstaatkundige functie. Maar in de 18<sup>e</sup> eeuw werd de Diefdijk samen met de Meerdijk, Nieuwe Zuiderlingedijk en Zuiderlingedijk tussen de Lek bij Everdingen en de Waal bij Gorinchem onderdeel van de 'Diefdijklinie'. Deze circa 25 km lange waterkering maakt deel uit van de Hollandse Waterlinie, een verdedigingswerk waarmee grote delen van westelijk Nederland onder water gezet kunnen worden. Deze waterlinie dateert uit de negentiende eeuw (1815 en later) en loopt van Muiden via Utrecht naar Gorinchem. De Diefdijk is de westgrens van een der inundatiegebieden. De dijk vormde ook een onderdeel van de 19<sup>e</sup> eeuwse Nieuwe Hollandse Waterlinie. De dijk doet nog steeds dienst als volwaardige primaire waterkering (categorie c) die de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden beschermt tegen overstroming vanuit de Betuwe. Het is in die hoedanigheid een van de belangrijkste binnendijken in Nederland. De dijk vormt vanouds, en sinds 1820 bij wet vastgesteld, de grens tussen Holland en Gelderland [6] [9] [10].

##### *Waterstaatkundige historie*

De gegraven weteringen en kleine veenstroompjes in de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden, zoals de Zederik, Laak en de Lede, werden benut om overtollig binnenwater af te voeren naar de grote rivieren. Maar door inklinking van de bodem verslechterde de afwatering snel. Dat werd nog eens versterkt door het dichtslibben van de monding van de Oude Rijn bij Katwijk in de 11<sup>e</sup> en de 12<sup>e</sup> eeuw, waardoor al het Rijnwater via de Lek naar zee stroomde. Dit loste men op door het ophogen van de akkers met modder uit de sloten. Dit is op sommige plaatsen nog duidelijk te zien.

---

In de loop van de 13<sup>e</sup> eeuw werd de wateroverlast echter zo groot, dat andere maatregelen noodzakelijk werden. Het grootste probleem was dat het rivierengebied van oost naar west afliep - en loopt -, waardoor de laagst gelegen polders in het westen al het water van de hogere gronden in het oosten te verwerken kregen. Om de polders hier-tegen te beschermen, begon men met de aanleg van zogenaamde dwarsdijken. Deze binnendijken lagen min of meer noord-zuid gericht, tussen de rivierdijken in. In 1277 werd de Zouwe- of Bazeldijk aangelegd. Deze dijk moest het water keren dat uit de Vijfheerenlanden de Alblasserwaard instroomde. Na de aanleg van deze dijk nam de wateroverlast in de Vijfheerenlanden uiteraard sterk toe.



*Figuur 15: Overstroming van de Linge bij Kedichem, 1809 (Reinier Vinkeles, 1809). Mede door deze dijkbreuk rukte de overstroming op tot aan de Kinderdijk [9].*

Om te voorkomen dat het water uit het oosten de wateroverlast nog zou versterken, legde men in 1284 de Diefdijk aan. Iets verder westelijk ligt de kade tussen Leerdam en Everdingen, die eenzelfde waterkerende functie had. De Diefdijk was in eerste instantie nog een vrij lage kade. In de loop der eeuwen is de kade steeds verder verhoogd en verzwaaard. In 1587 bereikte de dijk min of meer de huidige hoogte. Voor die ophogingen groef men aan beide zijden van de dijk klei af. Via de smalle kaden, die vanaf de dijk de polder inlopen, werd de klei met kruiwagens aangevoerd. Deze weggetjes zijn nog steeds zichtbaar in het landschap. Door de kleiwinning langs de Diefdijk ontstonden daar drassige laagten. Daar en ook op andere vochtige stukken land (Autena, Bolgerijen) ontstonden de grienden (zie ook paragraaf 2.1.4).

De Diefdijk kon het binnenwater niet altijd keren. In 1571 en 1573 brak de dijk, waardoor een groot wiel ontstond, het Wiel van Bassa of Schoonrewoerdse Wiel. Ook de Lingedijk is een aantal maal doorgebroken (Figuur 15). De wielen, zoals het Oude Wiel en het Nieuwe Wiel en het wiel bij Oosterwijk, zijn daarvan het resultaat [6] [9] [10].

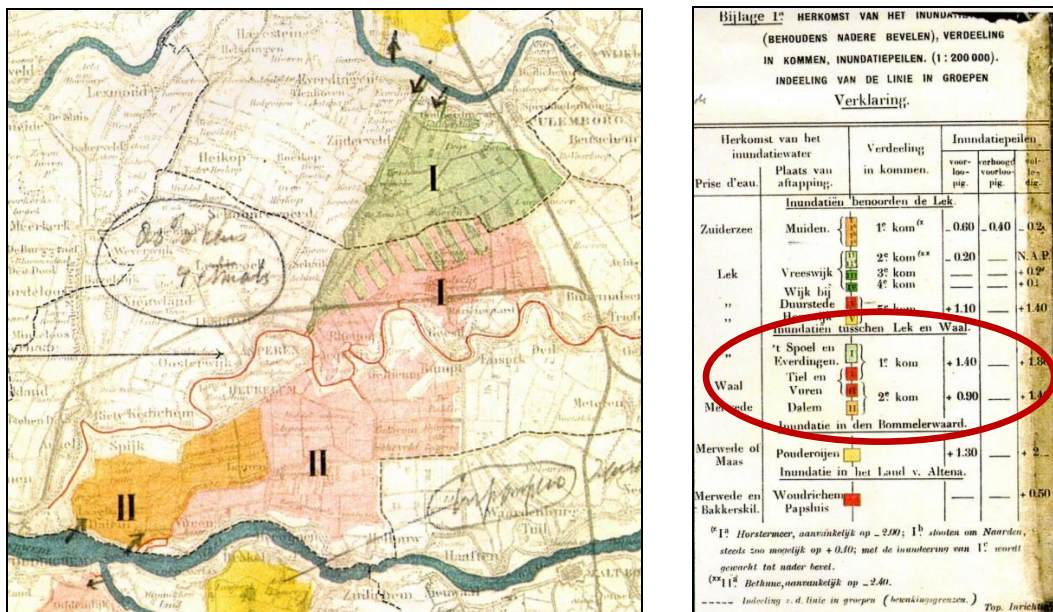
#### *Hollandse Waterlinie*

De Diefdijk heeft naast een waterstaatkundige betekenis, tevens militaire betekenis als onderdeel van de Hollandse Waterlinie. De (Oude) Hollandse Waterlinie was een waterlinie voor de verdediging van Holland in de 17<sup>e</sup> en 18<sup>e</sup> eeuw. Nadat het stellen van inundaties al in 1573 (Alkmaar), 1574 (Leiden) en 1629 (de Utrechtse Waterlinie tussen de Zuiderzee en de Lek) een effectieve verdedigingswijze was gebleken, werd in

het Rampjaar 1672 in allerijl een waterlinie tussen de Zuiderzee en de Merwede ingericht om de Franse troepen onder Lodewijk XIV tegen te houden voor zij ook Holland zouden veroveren. Deze linie liep van Muiden via Woerden en Goerjanverwellesluis tot Gorinchem. Utrecht viel er buiten omdat deze stad op dat moment reeds door de Fransen was veroverd.

Nadat deze linie in 1672 had standgehouden, kreeg hij een meer permanent karakter alsmede zijn naam. Accessen werden versterkt met tal van forten, batterijen en andere verdedigingswerken. Tot aan de napoleontische periode werd de linie een aantal keren naar het oosten verlegd. Vanaf 1815 werd een geheel nieuwe verdedigingslinie ingericht, die vanaf 1871 de Nieuwe Hollandse Waterlinie werd genoemd, ter onderscheiding van de linie die daarna als de Oude Hollandse Waterlinie werd aangeduid.

Aan het einde van de 19<sup>e</sup> eeuw kwam de fortenbouw tot stilstand. Het nut en de kracht van de kostenverslindende en snel verouderende forten van de Waterlinie stonden ter discussie. Het accent werd verlegd van de zogenaamde 'dode weermiddelen' naar de levende, mobiele strijdkrachten die verspreid in veldversterkingen in de Linie zouden moeten opereren om een stormaanval met de nieuwste wapens te weerstaan.



Figuur 16: Inundatiegebieden, peilen en herkomst van water bij inzet van de Nieuwe Hollandse Waterlinie omstreeks 1910 uit 'Algemene instructie voor het inundatiepersoneel in de Nieuwe Holl. Waterlinie' (uitsnede en legenda) [11].

In de Eerste Wereldoorlog werd de Nieuwe Hollandse Waterlinie nog in staat van verdediging gebracht en de inundaties gesteld op het voorbereidingspeil (Figuur 16). De forten van de Waterlinie konden volledig worden bemand en de veldtroepen werden in infanteriestellingen in loopgraven tussen de forten en voor de inundaties geplaatst. Ook aan de vooravond van de Tweede Wereldoorlog werd opnieuw met man en macht aan de verdedigingslinies gewerkt. Er werden diverse veldversterkingen aangelegd voor artillerie, infanterie en munitieopslag. Ook werden honderden groepsschuilplaatsen gebouwd en vele mitrailleurkazematten.

Als gevolg van ontwikkelingen in de krijgsgeschiedenis waren waterlinies na de Tweede Wereldoorlog echter verouderd en speelde de Nieuwe Hollandse Waterlinie geen rol van betekenis meer in de hoofddefensie. In 1951 werden veel onderdelen gedeclareerd, waarmee haar opheffing een feit was [6] [9] [10].

## 2.2 Recente geschiedenis: bedreigingen en versterkingen

### 2.2.1 Overstromingsrampen en bijna rampen

De Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden zijn sinds het begin van de bedijkingen meerdere malen getroffen door overstromingen als gevolg van dijkdoorbraken. In Tabel 8 is een (zeker niet uitputtend) overzicht opgenomen van de overstromingen en bedreigingen die het huidige dijkringgebied 16, en met name de Alblasserwaard, in het verleden hebben getroffen [12].

Jaar	Datum	Kenmerken overstroming of bedreiging
1470	1 november	1 <sup>e</sup> Allerheiligenvloed overstroming door stormvloed
1532	1 november	2 <sup>e</sup> Allerheiligenvloed, overstroming door een stormvloed.
1570	november	3 <sup>e</sup> Allerheiligenvloed, overstroming door springtij en stormvloed. Met een melding van de grootste dijkdoorbraken in de Merwededijk in Papendrecht (o.a. het ontstaan van de Grote Waal met een gat van 160 meter breed)
1571	1 november	4 <sup>e</sup> Allerheiligenvloed, overstroming door zware storm. Het net gerepareerde gat in de dijk Nanegat te Papendrecht brak op dezelfde plaats weer door.
1574	16 september	De waterlinie werd ingezet om de Spanjaarden te verdrijven. Een deel van Holland moest onder water worden gezet. Na verdrijving van de Spanjaarden werden de dijken gerepareerd, deze waren in december 1574 weer dicht.
1658	30 december	Overstroming door ijssdammen in de rivier. De Alblasserwaard was veranderd in een binnensee. Eind 1659 waren pas al de dijken en gaten gerepareerd en had de Alblasserwaard het hele jaar onder water gestaan.
1663	20 januari	Overstroming door ijssdammen veroorzaakte weer dijkdoorbraken in de Alblasserwaard. De Alblasserwaard stond het hele jaar onder water.
1709	18/19 maart	Overstroming door ijssdammen. De hele Alblasserwaard stond onder en was pas in maart 1710 weer droog.
1726	7 februari	Overstroming door te veel bovenwater.
1738		Geschrokken door de enorme schade van de laatste overstromingen en het langdurig onder water staan van de polders besloten de Hoogheemraden en polderbesturen tot het uitbreiden van het aantal watermolens en boezems voor de opvang van het water. De Overwaard en Nederwaard bouwden ieder 8 boezemmolens. De molens bewezen al hun nut bij de grote overstroming in 1741 en bleven in werking tot 1870, daarna werd een deel ervan gesloopt om plaats te maken voor het stoomgemaal bij Noordhoek.
1741	3 maart	Overstroming door te veel bovenwater en ijssdammen. De hele Alblasserwaard stond weer onder water door de vele dijkdoorbraken.
1744	11 maart	Overstroming door te veel bovenwater. De Alblasserwaard stond het hele jaar onder water.
1809	29 januari	Overstroming door te veel bovenwater. De Diefdijk bij Kedichem brak door (Figuur 15) en bij de Merwededijk bij Hardinxveld was de halve kruin weggeslagen. De hele Alblasserwaard stroomde weer onder water. In de zomer was de Waard pas weer droog.
1820	23 januari	Overstroming door te veel bovenwater en ijssdammen. Deze keer zou de Alblasserwaard 133 jaar gespaard blijven van een overstroming.
1953	31 januari / 1 februari 1953	De watersnoodramp van 1953 (ook wel Beatrixvloed of Sint Ignatiusvloed). Springtij en een noordwesterstorm stuwen het water in de Noordzee op tot recordhoogte. Een groot deel van de provincie Zeeland, West-Brabant en de Zuid-Hollandse eilanden overstromen. Meer dan 1.800 mensen en veel dieren verdrinken, 100.000 mensen verliezen hun huis en bezittingen.

Tabel 8: Een selectie van overstromingen en bedreigingen die het huidige dijkringgebied 16 in het verleden hebben getroffen [12].

---

De laatste maal dat het gebied werd getroffen door een overstroming was bij de stormramp van februari 1953. Door een doorbraak van de dijk langs de Noord bij Papendrecht inundeerde het zuidwestelijke deel van de Alblasserwaard. De inundatie reikte tot aan de lijn Damseweg (Giessen Oudekerk) - Ottolandse Vliet en werd in het noorden begrensd door het Achterwaterschap. Door het ophogen van de boezemkaden werd verdere inundatie voorkomen. Op een aantal plaatsen werd doorbraak als gevolg van overlopen ternauwernood voorkomen. Onder Sliedrecht en Hardinxveld werden de geslagen bressen nog tijdens het hoogwater gedicht. Aan de Lek was in februari 1953 door overslag een groot deel van de dijk aan de binnenzijde weggeslagen. Doordat de dijk voldoende kruinbreedte had, leidde dit echter niet tot doorbraak. Na 1953 zijn diverse verbeteringsmaatregelen genomen [3].

### 2.2.2 Versterkingen van de dijken

Na de 1953 ramp zijn in de loop van de tijd diverse werkzaamheden verricht om de veiligheid van de dijkkring op een hoger niveau te brengen. Zo werd gestart met het aanbrengen van 'tijdelijke' muren op de waterkeringen in het Deltagebied om voldoende waterkerende hoogte te verkrijgen. In 1970 is het Haringvliet afgesloten door de aanleg van de Haringvlietdam en in 1997 is de Nieuwe Waterweg voorzien van een stormvloedkering. Sinds 1980 tot 2005 is circa 65 km waterkering versterkt. In 2008 zijn enkele dijkvakken bij Sliedrecht en Papendrecht gereed gekomen [8].

In het rivierengebied worden in het kader van het project Ruimte voor de Rivier<sup>1</sup> tot 2015 rivierverruimende maatregelen uitgevoerd die moeten leiden tot verlaging van de maatgevende waterstanden. Daarnaast zijn naar aanleiding van de resultaten van de wettelijke toetsing van de waterkeringen dijkverbeteringsprojecten opgestart. Deze projecten zijn onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP<sup>2</sup>). Op een aantal trajecten in dijkkring 16 zijn momenteel dijk aanpassingsprojecten in uitvoering of in de planvormingsfase in het kader van een van deze programma's. Voor de categorie a-keringen betreft dit strekkingen met een totale lengte van 40,7 km zoals weergegeven in Tabel 9 [3].

De lopende dijkversterkingsprojecten hebben invloed op de te maken keuzes in de schematisatie van de dijken ten behoeve van de risicoanalyse. Daarbij moet steeds de afweging worden gemaakt tussen het schematiseren van de huidige situatie of het schematiseren van de situatie na dijk aanpassing. Deze keuzes zijn gemaakt in overleg met het projectbureau VNK en Waterschap Rivierenland als beheerder van de betreffende waterkeringen en vastgelegd in het bijbehorende achtergrondrapport [2]. Per strekking is hieronder kort aangegeven wat de problematiek is en hoe deze strekkingen zijn meegenomen in de risicoanalyse van dijkkring 16.

#### *Gorinchem – Hardinxveld Oost*

De waterkering tussen Gorinchem en Hardinxveld Giessendam-Oost is versterkt in 1996 in het kader van het Deltaplan Grote Rivieren. Vanwege de slappe ondergrond zijn zakkings opgetreden die moeten worden gecompenseerd. Dit betekent dat de waterkering over een lengte van enkele kilometers met circa 10 tot 50 cm moet worden verhoogd. Deze werkzaamheden zijn conform planning afgerond in oktober 2012 [13]. In de risicoanalyse van dijkkring 16 wordt deze nieuwe situatie meegenomen.

#### *Kinderdijk – Schoonhovenseveer (KIS)*

Het project Kinderdijk – Schoonhovenseveer betreft een dijkversterking in het kader van HWBP2. De dijk is hier over een grote lengte (circa 11 km) afgekeurd op de toetsporen *macrostabiliteit binnenwaarts* (STBI) en *opbarsten en piping* (STPH). De dijk-

---

<sup>1</sup>De PKB Ruimte voor de Rivier (RvdR) betreft korte en lange termijn maatregelen. De korte termijn maatregelen, die uitgevoerd worden voor 2015, zijn opgenomen in het project Ruimte voor de Rivier.

<sup>2</sup>Het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) is een subsidieprogramma van het Rijk voortvloeiend uit de periodieke toetsing van de primaire waterkeringen. Het bevat maatregelen die de waterkeringbeheerders nemen om de waterkeringen weer aan de geldende wettelijke veiligheidsnormen te laten voldoen.

versterking is gericht op het aanbrengen van voorzieningen die de sterkte van de dijken aanzien van dit mechanisme moeten versterken. Voor dit dijkversterkingsproject is inmiddels een projectplan beschikbaar gekomen dat in december 2012/januari 2013 ter inzage heeft gelegen. Hierin zijn nieuwe dijkprofielen opgenomen, inclusief voorgestelde aanpassingen in het voorland (klei-ingravingen) en/of harde constructies. Het doel is om in 2016 klaar te zijn met de uitvoering van de dijkverbetering [13]. In de risicoanalyse van dijkring 16 wordt voor dit traject dan ook uitgegaan van de situatie na uitvoering van de dijkversterking.

Dijkaanpassing	Programma	Dijkpaal	
		van	tot
Gorinchem – Hardinxveld Oost	Noodwetvak <sup>3</sup> (afbouw traject)	AW398+080	AW018
Kinderdijk – Schoonhovenseveer (KIS)	HWBP	AW159+150	AW175+190
	HWBP / RvdR	AW179+060	AW203+140
	HWBP	AW209+073	AW212+153
		AW218+020	AW226+185
HWBP / RvdR	AW240+103	AW246+100	
Schoonhovenseveer – Langerak(SLA)	RvdR	AW246+100	AW279
Zederik - Vianen	RvdR	AW285	VY014
		VY016	VY018
		VY028	VY060
Vianen	RvdR	VY063	VY065
Hagestein – Fort Everdingen (HAF)	RvdR	VY072	VY097

Tabel 9: Overzicht van dijkaanpassingsprojecten in planvoorbereiding/uitvoering [3]<sup>4</sup>.

#### *Schoonhovenseveer – Langerak (SLA)*

Het project Schoonhovenseveer – Langerak is onderdeel van de dijkverbetering Lek / Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden en betreft een dijkversterking in het kader van het programma Ruimte voor de Rivier. De dijk wordt hier aangepast in het kader van de rivierverruimende maatregelen en tegelijkertijd worden delen van de waterkering die in de tweede toetsronde zijn afgekeurd versterkt. Op dit deel van de Lek is echter sprake van voortschrijdende erosie van de rivierbodem vanaf de stuw bij Hagestein. Deze erosie doorsnijdt afdekkende lagen in de rivierbodem waardoor hogere stijghoogtes worden waargenomen in het achterland. Het dijkversterkingsproject ligt momenteel stil in afwachting van nader onderzoek [13]. In de risicoanalyse van dijkring 16 wordt voor dit traject dan ook uitgegaan van de huidige situatie.

#### *Vianen*

De Lekdijk bij Vianen wordt over een lengte van 0,2 km versterkt. De stabiliteit van de waterkering is hier onvoldoende. Het project bevindt zich momenteel in de ontwerp-fase (peildatum 10 december 2012). In het ontwerp gaat de voorkeur uit naar het toepassen van een vorm van dijkvernageling. Dijkvernagelingen zijn echter niet of nauwelijks door te rekenen met het VNK2-instrumentarium. Daarnaast heeft het traject een beperkte lengte. In de risicoanalyse van dijkring 16 wordt voor dit traject dan ook uitgegaan van de huidige situatie.

<sup>3</sup>De maatregelen na het hoogwater van 1993 en 1995 zijn opgenomen in het Deltaplan Grote Rivieren (DPGR). Om de dijkverbeteringen snel uit te kunnen voeren heeft de Tweede Kamer in april 1995 de Deltawet Grote Rivieren (Noodwet) aangenomen. Per 1 januari 1997 is de Noodwet buiten werking gesteld en inmiddels vervangen door de Waterwet.

<sup>4</sup>In Tabel 9 zijn alleen de Ruimte voor de Rivier maatregelen opgenomen die van invloed zijn op de sterkte en schematisatie van de dijken. Rivierverruimende maatregelen zijn beschouwd in de gevoeligheidsanalyse (hoofdstuk 7).



---

### *Hagestein – Fort Everdingen (HAF)*

Het dijkversterkingsproject Hagestein – Fort Everdingen is onderdeel van het dijkversterkingsproject Hagestein – Opheusden dat een groot deel van de dijken langs de Nederrijn/Lek omvat van dijkkring 16 en dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden). Deze dijkversterkingen worden uitgevoerd binnen het programma Ruimte voor de Rivier. De dijken worden hier aangepast in het kader van de rivierverruimende maatregelen en tegelijkertijd worden delen van de waterkering die in de tweede toetsronde zijn afgekeurd versterkt. Het MER, het ontwerpprijsinpassingsplan en overige ontwerpbesluiten voor deze dijkverbetering zijn december 2012/januari 2013 ter inzage gekomen. Hierin zijn nieuwe dijkprofielen opgenomen, inclusief voorgestelde aanpassingen in het voorland (klei-ingravingen) en/of harde constructies [13]. In de risicoanalyse van dijkkring 16 wordt voor dit traject dan ook uitgegaan van de situatie na uitvoering van de dijkversterking.

#### *2.2.3 Actuele ontwikkelingen*

In 2010 is het Deltaprogramma geïnitieerd dat als doel heeft Nederland nu en in de toekomst te beschermen tegen hoog water. Ook voorziet het programma in het op orde houden van de zoetwatervoorziening. Daarbij spelen aspecten op het gebied van leefomgeving, economie, natuur, landbouw en recreatie een rol. Binnen het Deltaprogramma zijn diverse deelprogramma's gedefinieerd waaronder het generieke deelprogramma Veiligheid en het gebiedsgerichte deelprogramma Rivieren. Beide deelprogramma's zijn van belang voor dijkkringgebied 16. Zo is het deelprogramma Veiligheid met name gericht op het actualiseren van het huidige normenstelsel en het verkennen van nieuwe concepten voor waterveiligheid. Het deelprogramma Rivieren richt zich primair op veiligheid tegen overstromingen op de lange termijn, waarbij het rivierengebied een aantrekkelijk gebied is en moet blijven om te leven, te wonen, werken, recreëren en investeren. Dit gebeurt in samenhang met de opgaven vanuit de zoetwatervoorziening, scheepvaart, natuur en regionale gebiedsontwikkeling [14].

In het deelprogramma Veiligheid is op grond van een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) [15] en slachtofferanalyse<sup>5</sup> [16] een grote veiligheidsopgave onderkend voor dijkkringgebied 16. Het economisch optimale beschermingsniveau ligt in dijkkringgebied 16 hoger dan de huidige normen, reden om het beschermingsniveau van dijkkringgebied 16 te verbeteren. Deze opgaven worden binnen het Deltaprogramma in samenhang beschouwd met de korte termijn opgaven: nHWBP, omgaan met piping en de opgaven op middellange termijn, waaronder actualisatie van beschermingsniveaus, zoeken naar kansen voor het inzetten van meerlaagsveiligheid en synergievoordelen die bereikt kunnen worden door slim koppelen met de vervangingsopgave natte kunstwerken [14].

In dijkkringgebied 16 is reeds gestart met de uitvoering van kortetermijnmaatregelen om de waterveiligheid te vergroten. Zo worden rivierverruimende maatregelen uitgevoerd in het kader van het project Ruimte voor de Rivier en zijn naar aanleiding van de resultaten van de wettelijke toetsing van de waterkeringen dijkverbeteringsprojecten opgestart in het kader van het HWBP2 (zie ook paragraaf 2.2.2). Binnen het Deltaprogramma lopen daarnaast nog verkenningen die concrete maatregelen moeten opleveren voor de waterveiligheid van het dijkkringgebied op de (middel)lange termijn.

De resultaten van de verkenningen resulteren in zogenaamde deltabeslissingen. Dat zijn belangrijke beslissingen die van grote invloed zijn op de toekomst van de delta Nederland. In 2014 worden deze deltabeslissingen aan de politiek voorgelegd.

---

<sup>5</sup> In het Deelprogramma Veiligheid van het Deltaprogramma zijn een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) en een analyse van slachtoffer risico's uitgevoerd. De MKBA richt zich op de kosten en baten van bescherming tegen overstromingen. In de MKBA worden de investeringen (kosten) ter versterking van de waterkeringen afgezet tegen de baten (voorkomen van schade). De analyse van de slachtoffer risico's geeft inzicht in de overlijdenskansen voor individuen en groepen als gevolg van overstromingen. De MKBA en de slachtofferanalyses leveren informatie en inzichten op die ondersteunend zijn bij de maatschappelijke afwegingen over actualisering van de waterveiligheidsnormen.

---

## 2.3 Vakindeling categorie a-kering

Ten behoeve van de faalkansberekeningen is de categorie a-kering (circa 88 km) van dijkkring 16 opgedeeld in dijkvakken. Per dijkvak zijn voor de verschillende faalmechanismen faalkansen berekend. Voor de indeling van de dijken van dijkkring 16 in vakken is uitgegaan van harde grenzen en zachte grenzen. De harde grenzen zijn grenzen die van buitenaf zijn opgelegd, dat wil zeggen volgend uit keuzes eerder gemaakt door waterschap, provincie en/of projectbureau, deels buiten het project VNK2 om. De indeling op basis van zachte grenzen volgt uit de interpretatie van de beschikbare gegevens van de dijken van dijkkring 16 door de opdrachtnemer samen met de beheerder (Waterschap Rivierenland) en specialisten van het Projectbureau VNK2 [2]. De belangrijkste criteria op basis waarvan de vakindeling tot stand is gekomen zijn de volgende:

### *Harde grenzen*

- Ringdeelgrenzen zoals vastgesteld door de provincie Zuid-Holland in het kader van de overstromingssommen;
- Dijkvakindeling zoals gehanteerd door de beheerder (hangt samen met ontwerpen/of toetsvakken). Hierbij is ook een vakgrens gelegd tussen trajecten die wel en niet worden versterkt binnen de dijkversterkingsprogramma's [3];
- Bodemdeelgebiedgrenzen zoals vastgesteld door TNO/Deltares bij het definiëren van de ondergrondschematisaties (DINO-database);
- Segmentgrenzen zoals deze volgen uit PC-ViNK;
- Wijziging belastingsysteem (Lek/Boven- en Beneden-Merwede/Noord).

### *Zachte grenzen*

- Wijziging in oriëntatie van de dijk (onder andere veranderende wind- en golfbelastingen);
- Wijziging in geometrie van de dijk: voor dijkkring 16 zijn alleen vakgrenzen gedefinieerd bij wijziging van de kwelweglengte onder de dijk of hoog achterland. Overhoogte en/of taludhelling geven hier geen aanleiding tot knippen (zie vorige punt);
- Wijziging in toetsresultaat[3]: dijkkring 16 is geknipt op het toetsresultaat van de faalmechanismen *opbarsten en piping* en *macrostabiliteit binnenwaarts* in verband met de duidelijke scheiding die kan worden aangebracht tussen de toetsresultaten. De toetsresultaten van de overige faalmechanismen zijn dusdanig homogeen dat deze geen aanleiding geven tot het definiëren van extra vakken óf de data is dusdanig variabel dat het definiëren van extra vakken leidt tot veel kleine vakken;
- Wijziging van bekleding op het buitentalud van de dijk;

Het resultaat van het beoordelen van bovengenoemde criteria is de vakindeling. In totaal zijn 58 dijkvakken gedefinieerd, waarvan 34 langs de Lek, 16 langs de Boven- en Beneden-Merwede en 8 langs de Noord. Een compleet overzicht van de vakgrenzen, locatieaanduidingen en bijbehorende ringdelen is opgenomen in Tabel 40, Tabel 41 en Figuur 77 in Bijlage D.

## 2.4 Kunstwerken

### 2.4.1 Primaire kunstwerken in dijkkring 16

In totaal bevinden zich 26 primaire kunstwerken zoals gemalen, schutsluizen, duikers en coupures in de primaire kering van dijkkring 16 (Tabel 10). Het grootste deel van deze kunstwerken betreft primaire kunstwerken van categorie a in beheer bij Waterschap Rivierenland. Een deel van de kunstwerken categorie a is in beheer bij derden.

#	VNK-code	Kunstwerknaam	Cat.	WSRL-objectcode	Beheerder
1	VNK.16.02.001	Kolffgemaal met uitwateringssluis <sup>1</sup>	A	160.642.020/022	WSRL
2	VNK.16.06.002	Schutsluis Kolffgemaal	A	160.642.021	WSRL
3	VNK.16.06.003	Peulensluis	A	160.642.034	WSRL
4	VNK.16.03.001	Inlaat Dam De Gantel (< Ø500mm)	A	160644.xxx	WSRL
5	VNK.16.02.001	Inlaatgemaal Schanspolder	A	160.346.024	WSRL
6	VNK.16.08.002	Uitwateringssluis Elshout	A	160.346.002	WSRL
7	VNK.16.01.002	Coupure Nieuwpoort	A	160.348.004	WSRL
8	VNK.16.01.003	Coupure buitenstad Vianen	A	160.354.003	WSRL
9	VNK.16.01.001	Coupure Dalempoort	A	160.541.001	WSRL
10	VNK.16.03.002	Inlaat duiker (gewichtsmuur Dalempoort)	A	160.541.052	WSRL
11	VNK.16.06.001	Recreatiesluis Lingehaven	A	160.541.003	WSRL
12	VNK.16.01.006	Coupure Waterpoort Gorinchem	A	160.541.002	WSRL
13	VNK.16.03.003	Waterinlaat Tolhuis (< Ø500mm)	A	160.541.018	WSRL
14	VNK.16.07.001	Noordtunnel <sup>2</sup>	A	-	RWS Zuid-Holland
15	VNK.16.07.002	Spoortunnel Betuwelijn (Sophia tunnel) <sup>3</sup>	A	160.744.002	Keyrail
16	VNK.16.06.005	Merweddesluis Gorinchem <sup>4</sup>	A	-	Provincie Zuid-Holland
17	VNK.16.06.004	Grote sluis Vianen <sup>4</sup>	A	-	Provincie Zuid-Holland
18	VNK.16.02.102	Gemaal De Nieuwe Horn	C	160.081.001	WSRL
19	VNK.16.04.101	Asperense Lingesluizen 'Noordersluis'	C	160.081.003	WSRL
20	VNK.16.04.101	Asperense Lingesluizen 'Zuidersluis'	C	160.081.004	WSRL
21	VNK.16.03.103	Inundatiesluis Asperen (sluis 3)	C	160.081.006	WSRL
22	VNK.16.03.104	Inundatiesluis Heukelem (sluis 4)	C	160.081.009	WSRL
23	VNK.16.02.103	Gemaal Broeksesluis (Vogelwerf)	C	160.081.012	WSRL
24	VNK.16.03.105	Spijkersluis	C	160.081.016	WSRL
25	VNK.16.03.106	Duikersluis 5 <sup>e</sup> uitgang - inlaatsluis	C	160.081.023/024	WSRL
26	VNK.16.01.107	Coupure Rijksweg A2 <sup>5</sup>	C	-	RWS Utrecht

<sup>1</sup> Kolffgemaal met uitwateringssluis betreft één object met twee functies. Binnen het project VNK worden kunstwerken als objecten beoordeeld, deze kunnen meerdere functies hebben.

<sup>2</sup> De Noordtunnel voor de Rijksweg A15 bij Alblasterdam in beheer bij Rijkswaterstaat Zuid-Holland is formeel geen waterkerend kunstwerk; de referentielijn met de kerende hoogte ligt vóór de ingang van de tunnel waar de rijksweg een ondergrondse damwand passeert.

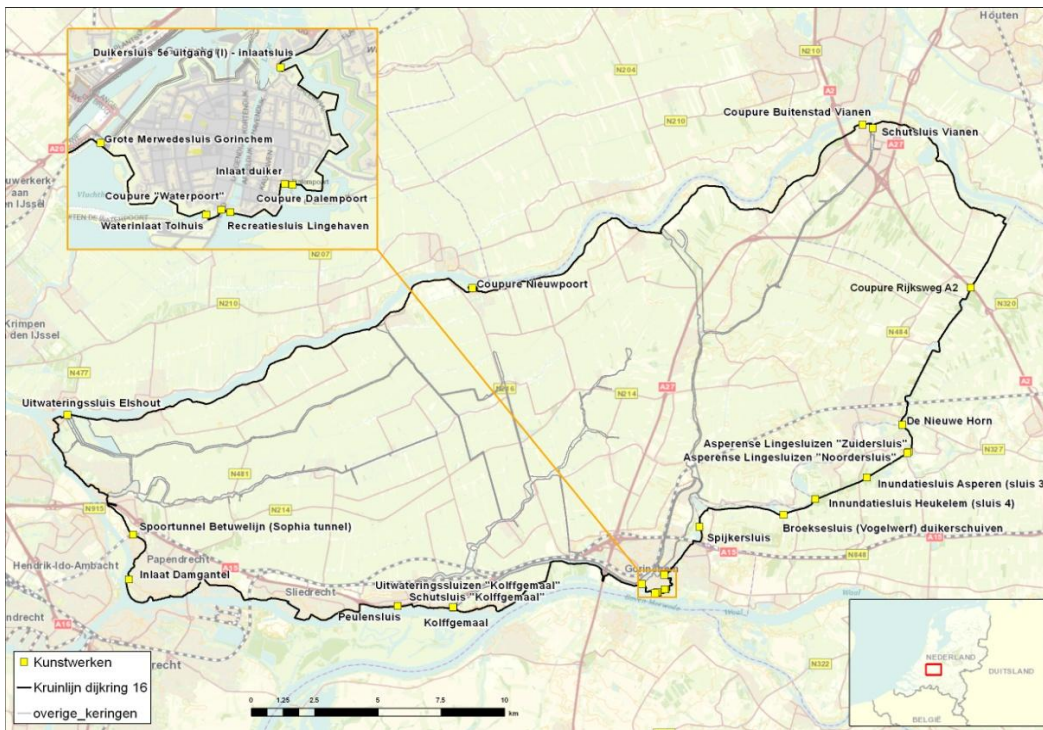
<sup>3</sup> Keyrail is beheerder van de Spoortunnel Betuwelijn (Sophiatunnel), Keyrail toetst het kunstwerk, Waterschap Rivierenland rapporteert het veiligheidsoordeel.

<sup>4</sup> Provincie Zuid-Holland is beheerder van de Merweddesluis Gorinchem en de Grote Sluis Vianen. De provincie toetst en rapporteert het veiligheidsoordeel.

<sup>5</sup> Rijkswaterstaat Utrecht is beheerder van Coupure Rijksweg A2, RWS toetst en rapporteert het veiligheidsoordeel.

Tabel 10: Waterkerende kunstwerken in dijkkring 16 [3].

Daarnaast liggen een aantal kunstwerken in de primaire kering categorie c van dijkkring 16 (Diefdijk), waarvan het overgrote deel in beheer is bij Waterschap Rivierenland. In Figuur 17 is de locatie van de betreffende categorie a- en c-kunstwerken weergegeven.



Figuur 17: Waterkerende kunstwerken in de primaire waterkeringen van dijkkring 16.

#### 2.4.2 Selectie primaire kunstwerken

Een deel van de kunstwerken weergegeven in Tabel 10 wordt meegenomen in de risicoanalyse van dijkkring 16. Deze selectie van kunstwerken is weergegeven in Tabel 11. In deze tabel is tevens aangegeven voor welke faalmechanismen deze kunstwerken zijn beoordeeld [17]. Voor de overige kunstwerken geldt dat deze als gevolg van onder meer de beperkte afmetingen of op basis van het toetsoordeel uit de derde toetsronde naar verwachting geen significante bijdrage leveren aan het overstromingsrisico van dijkkring 16. Deze kunstwerken zijn dan ook niet nader beschouwd [17]. Ook de kunstwerken in de categorie c-kering van dijkkring 16 maken geen onderdeel uit van de risicoanalyse van dijkkring 16, de scope van het project VNK2 betreft enkel de categorie a-keringen. In Tabel 42 in Bijlage D is aangegeven welke kunstwerken dit zijn en waarom deze niet nader zijn beschouwd. In Tabel 43 in dezelfde bijlage is aangegeven in welke ringdelen deze kunstwerken liggen.

#	VNK nummer	Naam kunstwerk	Faalmechanisme <sup>1</sup>			
			OO	BS	OA	SS
6	VNK.16.08.002	Uitwateringssluis Elshout		x	x	
8	VNK.16.01.003	Coupure buitenstad Vianen	x			x
9	VNK.16.01.001	Coupure Dalempoort	x			x
12	VNK.16.01.006	Coupure Waterpoort Gorinchem	x	x		x
17	VNK.16.06.004	Grote sluis Vianen	x			

<sup>1</sup> OO overloop/overslag, BS betrouwbaarheid sluiten, OA onder-/achterloopsheid, SS sterkte en stabiliteit

Tabel 11: Overzicht van kunstwerken binnen dijkkring 16 waarvoor een faalkans is berekend.

---

## 2.5 De invloed van de categorie c-keringen op het overstromingsrisico

Het dijkkringgebied wordt aan de oostzijde begrensd door de Diefdijk, een primaire waterkering van categorie c die onder normale omstandigheden niet direct wordt belast door buitenwater. De belangrijkste functie van de Diefdijk is het beschermen van de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden tegen een overstroming na een dijkdoorbraak in dijkkring 43. Deze waterkering behoort formeel tot dijkkring 16. De overstromingskansen en overstromingsrisico's van dijkkringgebied 43 zijn vastgelegd in het rapport 'Veiligheid van Nederland in Kaart, Overstromingsrisico dijkkring 43 Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden' [18].

In geval van overstroming van één van de twee dijkkringgebieden voorkomt de Diefdijk dat het water van de ene naar de andere dijkkring stroomt. Omdat het een groot gebied hellend gebied betreft, geldt met name dat de Diefdijk dijkkringgebied 16 beschermt tegen overstromen na een dijkdoorbraak in dijkkringgebied 43. De Diefdijk kan worden getypeerd als een compartimenteringskering. Deze categorie c-kering wordt onder normale omstandigheden niet belast door buitenwater. De Diefdijk is daarmee ook één van de belangrijkste binnendijken in Nederland (zie ook paragraaf 2.1.10).

Op basis van de resultaten van de risicoanalyse van dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden), gelegen ten oosten van de Diefdijk, wordt aan de hand van een eenvoudige gevoeligheidsanalyse beoordeeld wat de bijdrage is van dijkkring 43 en daarmee van de Diefdijk aan de overstromingskansen en het overstromingsrisico van dijkkring 16. Deze analyse is weergegeven in paragraaf 7.6.



---

## 3 Overstromingskans

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

### 3.1 Aanpak en uitgangspunten

De berekeningen van de overstromingskans van de dijkkring en de faalkansen van de dijkvakken en kunstwerken zijn uitgevoerd met behulp van het programma PC-Ring [19] [20] [21] [22]. De faalkansen voor het faalmechanisme *macrostabiliteit binnenwaarts* zijn met behulp van aparte procedures buiten PC-Ring berekend. De voor dit faalmechanisme berekende faalkansen dienden wel weer als invoer voor PC-Ring bij het berekenen van de overstromingskans.

Ten behoeve van de berekening van de faalkans is eerst per vak bepaald welke faalmechanismen op welke locaties binnen het dijkvak relevant zijn. Daarbij is gebruik gemaakt van de resultaten en onderliggende gegevens uit de tweede en derde toetsronde en het oordeel van de beheerder. Per faalmechanisme is per vak een schematisatie van de waterkering opgesteld (bepaling hoogte, intree- en uittreepunt, gemiddelden, spreidingen etc.). Op vakniveau zijn, indien relevant, gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om een beeld te krijgen van de invloeden van alternatieve schematisaties. Voor een uitgebreide toelichting op de vakindeling, selectie van faalmechanismen en opgestelde schematisaties wordt verwezen naar het achtergrondrapport [2].

De primaire waterkering van dijkkring 16 bestaat uit categorie a-keringen langs de Lek, Boven- en Beneden-Merwede en de Noord. Aan de oostzijde wordt de dijkkring gesloten door de Diefdijk, een categorie c-kering die de categorie a-keringen langs de Boven-Merwede en de Lek met elkaar verbindt. Deze categorie c-kering vormt de grens met dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden). Dit deel van de dijkkring is niet meegenomen in de risicoanalyse.

Het is bij de beheerder bekend dat de waterkering van dijkkringgebied 16 piping-gevoelig is. Daarnaast worden in de praktijk noodmaatregelen genomen (zoals opkisten of het aanbrengen van noodbermen) die de faalkans voor dit faalmechanisme positief kunnen beïnvloeden. Deze en eventueel andere noodmaatregelen zijn in deze risicoanalyse niet meegenomen, ze leveren wel een significante bijdrage aan het beperken van de overstromingskans.

In de berekening van de overstromingskans van dijkkring 16 zijn de dijkversterkingen in het kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP2) en in het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier meegenomen zoals deze recentelijk zijn uitgevoerd, in uitvoering zijn of nog worden uitgevoerd (Tabel 9). De dijkversterkingen in dijkkring 16 die worden uitgevoerd in het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier dienen echter niet te worden verward met de overige maatregelen in het gehele rivierengebied in het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier die leiden tot de beoogde waterstanddaling zoals beoordeeld in de gevoeligheidsanalyses in hoofdstuk 7.

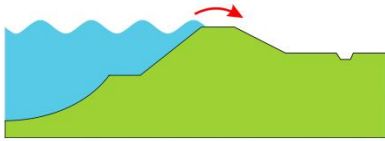
### 3.2 Beschouwde faalmechanismen

#### 3.2.1 Faalmechanismen dijken

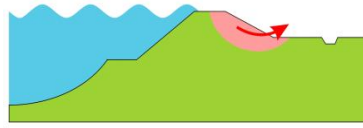
Bij de bepaling van de faalkans van de dijken worden in VNK2 de volgende faalmechanismen beschouwd (zie ook Figuur 18):

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

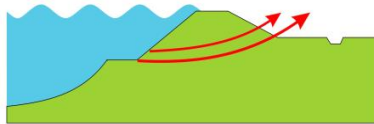
Overloop en golfoverslag



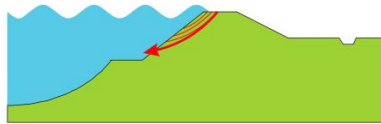
Macrostabieliteit binnenwaarts



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 golfhoogten wordt het bezwijken beschreven door het faalmechanisme *overloop*. In andere gevallen door het faalmechanisme *golfoverslag*.

#### *Macrostabieliteit binnenwaarts*

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

### 3.2.2 *Faalmechanismen kunstwerken*

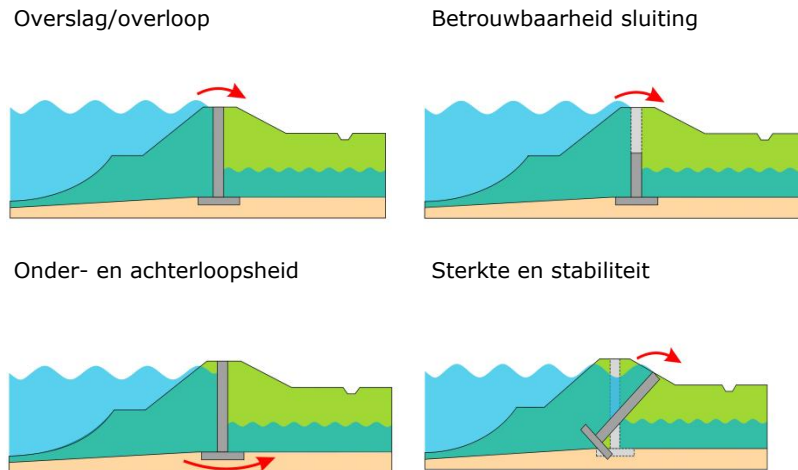
Voor de bepaling van de faalkans van een kunstwerk wordt rekening gehouden met de volgende faalmechanismen (zie ook Figuur 19):

- Overloop en golfoverslag
- Niet-sluiten van afsluitmiddelen
- Achterloopsheid en onderloopsheid
- Constructief falen

#### *Overslag/overloop*

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





Figuur 19: Beschouwde faalmechanismen kunstwerken.

#### *Betrouwbaarheid sluiting*

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

#### *Onder- en achterloopsheid*

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

#### *Sterkte en stabiliteit*

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

### 3.3 Niet beschouwde faalmechanismen

Niet alle faalmechanismen kunnen met het VNK2-instrumentarium worden doorgerekend. Zodoende worden onder meer de faalmechanismen zettingsvloeiing, afschuiven voorland, macrostabiliteit buitenwaarts, micro-instabiliteit en verweking binnen VNK2 niet in de faalkansberekeningen meegenomen. De redenen hiervoor zijn divers en houden verband met de volgende zaken:

- Voor sommige mechanismen is een kennistekort of onvoldoende data 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.

In deze paragraaf worden de effecten van de volgende faalmechanismen of objecten op de faalkans van de dijkkring kwalitatief beschouwd, waarbij ook wordt stilgestaan bij de toetsresultaten:

- Microstabiliteit (STBI)
- Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)
- Stabiliteit voorland (STVL)
- Bijzondere waterkerende constructies (BWC)
- Niet waterkerende objecten (NWO)

---

#### *Microstabiliteit (STBI)*

Van de circa 86 km waterkering categorie a in dijkkring 16 is 40,7 km in planvoorbereiding of uitvoering en is derhalve niet getoetst. Van de overige 25,3 km die wel is getoetst voor Microstabiliteit, krijgt eveneens 25,3 km het veiligheidsoordeel 'voldoet aan de norm' [3].

In het ontwerp van de waterkeringen van dijkkring 16 is impliciet rekening gehouden met microstabiliteit door het toepassen van een ontwerpmethodiek die tot doel had micro-instabiliteit uit te sluiten; onder meer door het toepassen van kleibekledingen binnen- en buitenwaarts met diktes en kwaliteit conform het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [23], door het toepassen van drainageconstructies bij dijken met grote zandlichamen, door het toepassen van kleikisten bij de buitenteen of op de oude kleikern zodat een waterdichte verbinding wordt gemaakt tussen respectievelijk de afdekkende laag of de oude kleikern en door een controle op uittredend water in het ontwerp. Omdat deze ontwerppunten overeenkomen met de voorwaarden voor microstabiliteit in het VTV2006, kon de veiligheidstoetsing conform het VTV2006 [24] worden uitgevoerd op een eenvoudig niveau.

De tweede ronde toetsing heeft geleid tot de score 'goed' voor het gedrag van de waterkering voor het aspect microstabiliteit voor het grootste deel van de waterkering. Op basis van de resultaten van de tweede toetsronde en de beheerervaring zijn in de derde ronde toetsing enkele trajecten aanvullend gedetailleerd getoetst. Deze trajecten zijn als voldoende of goed beoordeeld [3]. Op basis van bovenstaande is geconcludeerd dat het faalmechanisme Microstabiliteit geen significante bijdrage levert aan de overstromingskans en het overstromingsrisico van dijkkring 16.

#### *Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)*

Van de 25,3 km categorie a-kering die is getoetst binnen de derde toetsronde krijgt voor het toetsspoor Macrostabiliteit buitenwaarts 23,2 km het veiligheidsoordeel 'voldoet aan de norm' en 2,1 km het veiligheidsoordeel 'voldoet niet aan de norm'. Het overige deel van de categorie a-waterkeringen is niet getoetst aangezien deze in planvoorbereiding of uitvoering zijn [3].

Afschuiven van het buitentalud treedt alleen op bij snel dalende waterstanden. De hoogwatergolf is in deze situatie dan al bijna voorbij waardoor er bij het afschuiven van het buitentalud geen acuut overstromingsgevaar is. Het gevaar voor overstromen zit vooral in de kans dat er kort na de eerste hoogwatergolf een tweede golf voorbij komt. De kans hierop is klein en tevens is er een mogelijkheid om eventuele schade te repareren tussen de hoogwatergolven. Op basis van bovenstaande is geconcludeerd dat het faalmechanisme Macrostabiliteit buitenwaarts geen significante bijdrage levert aan de overstromingskans en het overstromingsrisico van dijkkring 16.

#### *Stabiliteit voorland (STVL)*

Van de 25,3 km categorie a-kering die is getoetst binnen de derde toetsronde krijgt voor het toetsspoor Stabiliteit voorland 25,0 km het veiligheidsoordeel 'voldoet aan de norm' en 0,3 km het veiligheidsoordeel 'voldoet niet aan de norm' [3]. Het overige deel van de categorie a-waterkeringen is niet getoetst aangezien deze in planvoorbereiding of uitvoering zijn [3].

Binnen het faalmechanisme Stabiliteit voorland wordt gekeken naar de deelfaalmechanismen 'afschuiven' en 'zettingsvloeiing'. De dijken van dijkkring 16 krijgen het veiligheidsoordeel 'voldoet aan de norm', met uitzondering van het traject AW018-AW020 (ca. 300 m) bij Boven-Hardinxveld dat het veiligheidsoordeel 'nader onderzoek nodig' krijgt [3]. Reeds in de tweede ronde toetsing is door GeoDelft voor dit traject een geavanceerde beoordeling voor het mechanisme zettingsvloeiing uitgevoerd. Tijdens de dijkversterking is er zand onder water aangebracht dat niet is verdicht. Op basis van de uitgevoerde faalkansanalyse kon niet tot een score worden gekomen. Op basis van

---

onderzoek van Waterschap Hollandse Delta en Deltares voor de Dordtse Kil, blijkt dat het uitvoeren van een bestorting mogelijk afdoende en goedkoper is dan geavanceerd onderzoek. Om deze reden is er geen aanvullend onderzoek uitgevoerd en is het technisch oordeel voor dit traject vooralsnog 'geen score'. Het veiligheidsoordeel is 'nader onderzoek nodig' [3] [25]. Aangezien de instabiliteit van het voorland wordt veroorzaakt door vallende waterstanden treedt het op na het passeren van de hoogwatergolf. Een mogelijke overstroming van het dijkkringgebied kan optreden indien een tweede hoogwatergolf langs komt binnen de benodigde tijd om de waterkering te herstellen. Op basis hiervan en de goede toetsresultaten is geconcludeerd dat het faalmechanisme Stabiliteit Voorland geen significante bijdrage levert aan het overstromingsrisico voor dijkkring 16.

#### *Bijzondere waterkerende constructies (BWC)*

Conform de veiligheidstoetsing van het waterschap zijn tientallen bijzonder waterkerende constructies aanwezig in dijkkring 16 [3]. Deze constructies zijn in de Derde ronde toetsing getoetst op de deelsporen 'aansluiting op grondlichaam' (STCG) en 'sterkte constructieonderdelen' (STCO). De technische beoordeling van de bijzonder waterkerende objecten op deze deelsporen is voor alle objecten 'goed' op basis van de eenvoudige toetsing. Daarnaast geldt dat de constructies in dijkkring 16 over het algemeen ontworpen zijn voor een planperiode van 100 jaar. Daarbij is veelal een grotere betrouwbaarheidsindex gehanteerd dan de minimaal vereiste conform veiligheidsklasse III van de CUR166 [3]. Voor de bijzondere waterkerende constructies wordt dan ook geen significante bijdrage aan het overstromingsrisico van dijkkring 16 verwacht.

#### *Niet waterkerende objecten (NWO)*

De niet waterkerende objecten (NWO) in en op de primaire waterkeringen van dijkkring 16 betreffen bebouwing, begroeiing en kabels en leidingen. De niet waterkerende objecten bebouwing en begroeiing worden gezien als elementen die weinig tot geen invloed hebben op het waterkerend vermogen van de waterkering. Vrijwel al deze NWO's op dijken zijn met een ontheffing tot stand gekomen en tijdens de laatste dijkverbetering uitgebreid beschouwd. Deze NWO's zijn daarnaast onderdeel van het dagelijks beheer en de schouw [3]. Voor kabels en leidingen geldt dat deze wel degelijk invloed kunnen hebben op het waterkerend vermogen van de waterkering. De kabels en leidingen in en direct rondom de primaire keringen van dijkkring 16 zijn echter met ontheffing aangelegd, waarbij met berekeningen en tekeningen is aangetoond dat het NWO voldoet aan de huidige constructieve eisen en actuele toetswaterstanden. Ook deze NWO's zijn onderdeel van het dagelijks beheer en de schouw [3]. Voor de genoemde niet-waterkerende objecten (begroeiing, bebouwing en kabels en leidingen) wordt op basis van bovenstaande geen significante bijdrage aan het overstromingsrisico van dijkkring 16 verwacht.

#### *Conclusie*

Op basis van de resultaten van de derde toetsronde wordt ingeschat dat de faalmechanismen die niet zijn opgenomen in PC-Ring geen significante bijdrage zullen leveren aan de overstromingskans en het overstromingsrisico van dijkkring 16. Dit komt deels doordat de faalkans van de kering op deze mechanismen verwaarloosbaar klein wordt geacht en anderzijds omdat het falen kan gebeuren bij een vallende waterstand na een hoogwatersituatie. In dat laatste geval faalt de kering wel, maar is er geen gevaar voor overstroming, omdat de waterstand reeds gedaald is. Wel kan het gebeuren dat een overstroming plaatsvindt door een tweede hoogwatergolf die kort op de eerste volgt waardoor er te weinig tijd is om tussentijds de schade te herstellen. De kans op zo'n situatie is echter niet beschouwd.

### **3.4 Berekende overstromingskansen**

VNK2 geeft een beeld van de overstromingskansen voor een dijkkring. De veiligheidsbenadering in VNK2 is daarmee anders dan die in de toetsing in het kader van de Waterwet. In de toetsing wordt beoordeeld of de primaire waterkeringen voldoen aan

de wettelijke normen. Deze normen zijn niet gedefinieerd als overstromingskansen, maar als overschrijdingskansen van waterstanden die de waterkeringen veilig moeten kunnen keren, rekening houdend met alle factoren die het waterkerend vermogen beïnvloeden (zie ook paragraaf 1.3).

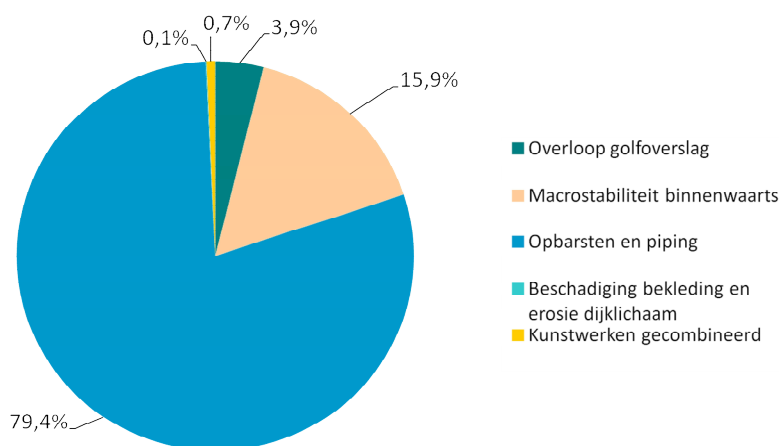
### 3.4.1 Overstromingskans en faalkansen per faalmechanisme

De berekende overstromingskans voor de categorie a-kering van dijkkring 16 is  $>1/100$  per jaar. In Tabel 12 zijn de faalkansen voor de verschillende faalmechanismen weergegeven [2] [17]. De overstromingskans voor dijkkring 16 wordt gedomineerd door het faalmechanisme opbarsten en piping en macrostabiliteit binnenwaarts. Het beeld is in hoofdlijnen consistent met het resultaat van de derde toetsronde en het beeld van de beheerder voor deze dijkkring.

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)
Dijk	Overloop en golfoverslag	1/1.460
	Macrostabiliteit binnenwaarts	1/360
	Opbarsten en piping	$>1/100$
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/80.000
Kunstwerk	Overloop en golfoverslag	1/46.000
	Niet sluiten	1/10.000
	Onderloopsheid en achterloopsheid (piping)	$<1/1.000.000$
	Constructief falen	$<1/1.000.000$
Overstromingskans		$>1/100$

Tabel 12: Berekende faalkansen per faalmechanisme en op ringniveau de overstromingskansen.

Figuur 20 geeft een overzicht van de procentuele bijdrage van de beschouwde faalmechanismen aan de som van de faalkansen per faalmechanisme.<sup>6</sup> In de figuur is de bijdrage van de faalkansen voor de faalmechanismen van de kunstwerken gecombineerd.



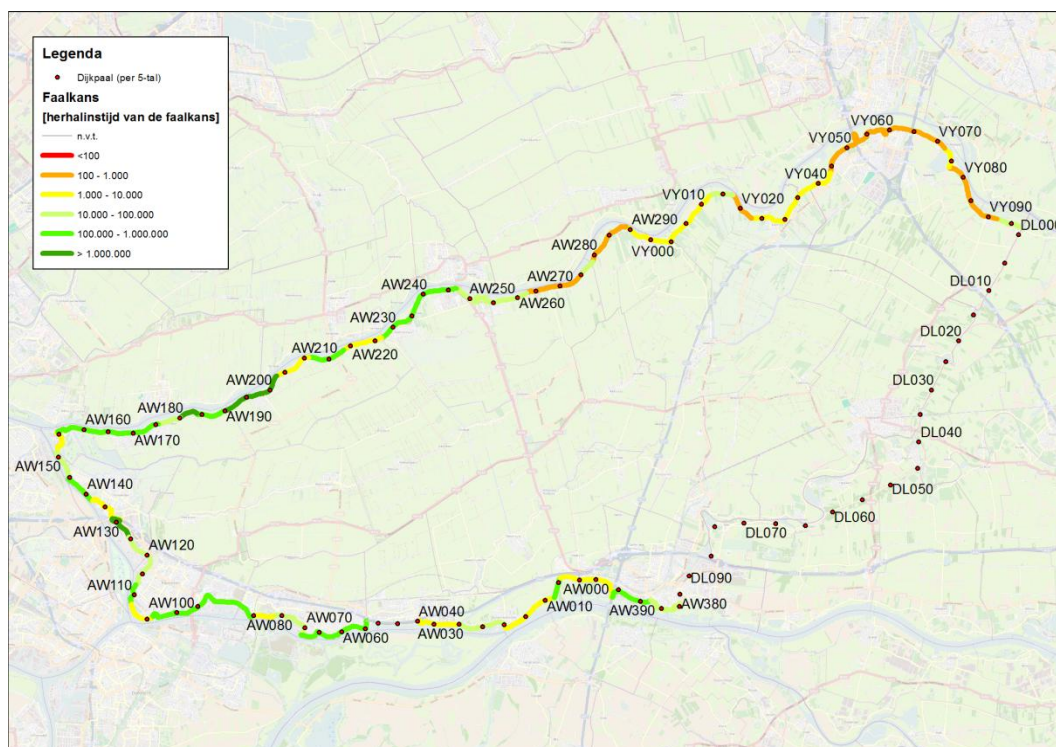
Figuur 20: Procentuele bijdragen van verschillende faalmechanismen aan de som van de faalkansen per mechanisme.

<sup>6</sup> De som van de faalkansen per faalmechanisme is door afhankelijkheden tussen de faalmechanismen niet exact gelijk aan de berekende overstromingskans. De bijdragen van de faalmechanismen zijn daarom uitgedrukt als percentage van de som van de faalkansen per faalmechanisme, in plaats van als percentage van de overstromingskans.

### 3.4.2 Faalkansen dijken

Op basis van de kansbijdragen van de verschillende faalmechanismen zijn per dijkvak en per kunstwerk faalkansen bepaald. Vervolgens zijn de kansbijdragen van de dijkvakken en kunstwerken gecombineerd tot de overstromingskans van de dijkkring. Bij het combineren van de kansbijdragen wordt rekening gehouden met de eventuele afhankelikheden tussen dijkvakken. De resultaten van de faalkansberekeningen voor de dijken zijn weergegeven in Bijlage E. Indien op voorhand kon worden aangegeven dat de faalkans van een faalmechanisme op een bepaalde locatie verwaarloosbaar klein is, dan is voor het bewuste vak en faalmechanisme geen faalkans berekend<sup>7</sup>.

In Figuur 21 is een overzicht opgenomen van de verdeling van de berekende faalkansen op vakniveau langs de dijkkring. Uit de figuur blijkt dat de faalkansen op vakniveau tamelijk gelijkmatig verdeeld zijn langs de dijkkring. Een uitzondering vormen de dijkvakken langs de Lek tussen Langerak en Everdingen waar significant hogere faalkansen zijn berekend. Deze vakken hebben een faalkans tussen de 1/260 en 1/1.300 per jaar en zijn hiermee maatgevend. Voor een overzicht van de berekende faalkansen per vak en per faalmechanisme wordt verwezen naar Bijlage E. In deze bijlage zijn tevens vergelijkbare figuren opgenomen met de berekende faalkansen op vakniveau uitgesplitst voor de vier beschouwde faalmechanismen.



---

In de derde toetsronde zijn die delen van de dijkkring die niet binnen de verschillende dijkversterkingsprogramma's vallen getoetst. In de derde toetsronde voldoen alle beoordeelde trajecten aan de eisen van de kerende hoogte [3]. De berekende faalkansen zijn relatief klein, op sommige trajecten zelfs verwaarloosbaar klein, en komen overeen met deze toetsresultaten.

Binnen de dijktrajecten die worden versterkt wordt lokaal ook de kruinhoogte van de dijk verhoogd. Dit vindt echter grotendeels zijn oorsprong in het feit dat de dijkversterkingen een planhorizon van 50 jaar gebruiken waarin aspecten als klimaatverandering en zettingen zijn meegenomen. De hoogte van de huidige kering is op de meeste locaties niet de aanleiding om te versterken. Echter door het aanleggen van deze overhoogte is de faalkans door overloop en golfoverslag zeer klein omdat voor deze dijkvakken de situatie direct na het gereedkomen van de versterking is doorgerekend.

#### *Opbarsten en piping*

De berekende gecombineerde faalkans voor het faalmechanisme opbarsten en piping voor alle beschouwde dijkvakken is  $>1/100$  per jaar. Hiermee is opbarsten en piping het dominante faalmechanisme van dijkkring 16 [2]. Met name langs het bovenstroomse deel van de Lek nabij Vianen zijn de faalkansen groot (in de orde van grootte  $1/250$  tot  $1/1.000$  per jaar). Deze dijkvakken zijn in de derde toetsronde afgekeurd en zijn gedeeltelijk al opgenomen in het project Ruimte voor de Rivier. De berekende faalkansen komen daarmee goed overeen met de resultaten uit de derde toetsronde.

De dijkvakken langs de Boven-Merwede, Beneden-Merwede, Noord en het benedenstroomse deel van de Lek laten kleinere faalkansen zien (kleiner dan  $1/900$ ). Deze dijkvakken zijn over het algemeen goedgekeurd in de derde toetsronde. De faalkansen komen op deze trajecten ook overeen met de resultaten uit de toetsing.

In de toetsing is gebruik gemaakt van de rekenregel van Bligh en van Sellmeijer. Indien de rekenregel van Bligh niet tot het oordeel goed is gekomen is een nadere analyse met de rekenregel van Sellmeyer uitgevoerd. Beide rekenregels zijn ook gebruikt bij het ontwerp van de huidige dijken. In de toetsing wordt verwezen naar een recente verificatie van de PKB Ruimte voor de Rivier voor de dijkvakken Zederik, Vianen en Hagestein – Everdingen [3]. Bij deze verificatie bleek het overgrote deel van deze dijktrajecten niet te voldoen voor piping, rekening houdend met de resttaakstelling van circa 0,3 m vanuit het project Ruimte voor de Rivier. De betreffende dijkvakken zullen in de komende jaren worden versterkt.

Bij de laatste dijkverbeteringen voor de vakken Zederik, Vianen en Hagestein–Everdingen is ontworpen op een maatgevende Rijnafvoer van  $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Aan deze dijkverbeteringen ligt een uitgekend ontwerp ten grondslag. Dus is er geen overmaat in de afmetingen van de aangelegde pipingbermen. De waterstandverlagende maatregelen van het project Ruimte voor de Rivier zijn onvoldoende om de maatgevende waterstanden dusdanig te verlagen dat wordt voldaan aan de eisen voor piping in de derde toetsronde. Voor deze dijktrajecten is een aanzienlijke resttaakstelling aanwezig die alleen kan worden opgelost met dijkversterkende maatregelen.

In de schematisatie in VNK2 is het voorkeursalternatief van het Ruimte voor de Rivierproject Hagestein–Fort Everdingen meegenomen. Aangezien de maatregelen bij Vianen nog niet voldoende zijn uitgewerkt en er nog nader onderzoek wordt uitgevoerd op het traject Schoonhovenseveer–Langerak (zie ook paragraaf (2.2.2) zijn deze niet meegenomen in de schematisatie. In de dijkversterking wordt ontworpen met de rekenregel van Sellmeijer met een bovengrens voor de kwelweglengte van 18 maal het verval over de dijk ( $18 \cdot \Delta h$ ). Dit leidt tot het aanbrengen van extra kwelweglengte. De faalkansen van de dijkvakken na uitvoering voorkeursalternatief zijn echter nog steeds relatief groot ( $1/550$  en  $1/890$  per jaar).

---

Doordat tien vakken een berekende faalkans hebben die groter is dan 1/1.000 per jaar wordt de ringkans voor dit faalmechanisme zeer groot. De gecombineerde faalkans voor *opbarsten en piping* is groter dan 1/100 per jaar. Hoewel deze berekende faalkans zeer groot is wordt ter ondersteuning hiervan opgemerkt dat het gebied bij Vianen berucht is om de zandmeevoerende wellen die hier in hoogwatersituaties met regelmaat optreden.

#### *Macrostabieliteit binnenwaarts*

Voor dijkkring 16 zijn veel problemen met *macrostabieliteit binnenwaarts*. Hierdoor zijn er momenteel veel dijkversterkingsprojecten gaande. In de selectie van de dijkvakken is hier rekening mee gehouden. Daarnaast is gestreefd naar een dijkkring dekkend beeld. Bij de selectie is rekening gehouden met de toetsresultaten uit de derde toetsronde. Er zijn profielen geselecteerd uit de afgekeurde trajecten. Deze profielen geven een indicatie van de faalkans voor het hele traject. Dit kan meerdere dijkvakken omvatten. Op basis van de beschikbare informatie is het maatgevende profiel per traject geselecteerd.

In de tweede toetsronde zijn reeds veel trajecten afgekeurd op het toetsspoor stabiliteit binnenwaarts. De betreffende trajecten worden versterkt binnen het HWBP of het project Ruimte voor de Rivier. Voor veel van deze trajecten zijn de dijkversterkingsplannen inmiddels gereed. Binnen deze versterkingen zijn een aantal dijkvakken en profielen geselecteerd om inzicht te krijgen in de veiligheidssituatie na het gereedkomen van de dijkversterking. De geselecteerde profielen worden representatief verondersteld voor het gehele te versterken traject.

Naast de dijkvakken die zijn afgekeurd in de derde toetsronde en die worden versterkt zijn een aantal vakken geselecteerd om een gebiedsdekkend beeld te krijgen van dijkkring 16. Voor de selectie van deze vakken is gekeken naar de profielen die op basis van de beschikbare informatie als representatief voor het dijkvak worden beschouwd. Tevens is met de beheerder gesproken over mogelijke aandachtslocaties. Op basis van deze informatie is tot een selectie van zeven dijkvakken gekomen: vijf vakken langs de Lek en twee vakken langs de Boven- en Beneden-Merwede.

De berekende faalkansen voor vier van de zeven geselecteerde vakken zijn verwaarloosbaar klein. Voor de overige drie vakken 16.AW262.275 (Langerak), 16.AW091.098 (Papendrecht) en 16.VY059.065 (Vianen) zijn relatief grote faalkansen berekend. De kansen berekend voor de vakken 16.AW091.098 en 16.VY059.065 worden echter als onbetrouwbaar beoordeeld.

Voor het vak 16.AW262.275 gelegen langs de Lek bij Langerak is een faalkans berekend van 1/370 per jaar. Voor dit dijkvak geldt dat het zomerbed is verlaagd als gevolg van erosie. Hoewel dit leidt tot een verlaging van de buitenwaterstand onder maatgevende omstandigheden, leidt dit ook tot een hogere stijghoogte onder en achter de dijk. De relatief grote faalkans berekend voor dit vak toont aan dat de combinatie van een hogere stijghoogte enerzijds en een verlaging van de buitenwaterstand anderzijds een netto negatief effect heeft op de stabiliteit.

Voor het dijkvak 16.AW091.098 gelegen langs de Beneden-Merwede bij Papendrecht is een grote faalkans berekend die als onbetrouwbaar wordt gezien. Het dijkvak is goed getoetst in de derde toetsronde, het binnen het project VNK2 beschouwde profiel (AW097) is echter niet in de toetsing beoordeeld. De steile taluds en de aanwezigheid van een wiel binnendijks ter hoogte van dit profiel geven aan dat dit de maatgevende situatie is. Hoewel deze situatie maar over een lengte van 120 m bestaat is toch gekozen om dit profiel te beschouwen. Hiervoor was het echter wel noodzakelijk om de bodemopbouw van een ander dwarsprofiel te gebruiken aangezien er op deze locatie geen boringen en sonderingen beschikbaar zijn. De faalkansen die op basis van deze schematisatie zijn berekend zijn echter onrealistisch groot en worden daarom als niet

---

betrouwbaar geacht. De belangrijkste redenen hiervoor is het ontbreken van grondonderzoek ter plaatse. Door de aanwezigheid van een wiel is de grondopbouw waarschijnlijk antropogeen terwijl in de som wordt uitgegaan van de natuurlijk aanwezige veenlagen. Daarnaast is in het ontwerp uitgegaan van pseudowaarden voor de grondparameters. Deze pseudowaarden worden gebruikt om zeer uitgekiend te kunnen ontwerpen. De reststerkte is derhalve minimaal. Voor een verdere toelichting wordt verwezen naar het bij dit rapport behorende achtergrondrapport [2].

Ook voor het dijkvak 16.VY059.065 gelegen langs de Lek bij Vianen is een grote faalkans berekend die als onbetrouwbaar wordt gezien. Het dijkvak is in de derde toetsronde maar gedeeltelijk getoetst en bovendien afgekeurd. De geometrie en bodemopbouw in de sommen zoals gebruikt in de derde toetsronde komt niet overeen met de beschikbare geotechnische lengteprofielen (en boringen en sonderingen) en de AHN2-profielen ter plaatse. Voor dit vak is de schematisatie uit de derde toetsronde losgelaten en is een nieuwe schematisatie opgezet, waarbij op basis van de AHN2-profielen en de geometrische lengteprofielen een ander maatgevend dwarsprofiel is geselecteerd met een kortere berm en een steiler talud. Dit resulteert in sommen met een lage stabiliteitsfactor en een grote faalkans voor het dijkvak. Hoewel het dijkvak is afgekeurd en de maatgevende situatie in het dijkvak slechter is dan beoordeeld in de toetsing worden de berekende faalkansen als onrealistisch groot en onbetrouwbaar beoordeeld. Ook voor dit dijkvak wordt voor een meer gedetailleerde toelichting op de bevindingen verwezen naar het bij dit rapport behorende achtergrondrapport [2].

Voor de dijkvakken 16.AW091.098 en 16.VY059.065 zijn de profielen uit de toetsing aangepast om de maatgevende situatie te beoordelen binnen het project VNK2. Voor beide profielen heeft dit geleid tot onbetrouwbaar grote faalkansen [2]. Hoewel de grootte van de faalkans onbetrouwbaar wordt geacht, onderkent ook het waterschap dat hier mogelijk een probleem met stabiliteit binnenwaarts bestaat. Voor beide locaties wordt dan ook aanbevolen om nader onderzoek uit te voeren, mede in het licht van de dijkverbeteringen die nog uitgevoerd gaan worden (zie ook paragraaf 2.2.2).

In overleg met het projectbureau VNK2 en Waterschap Rivierenland is besloten om het faalmechanisme *stabiliteit binnenwaarts* voor de dijkvakken 16.AW091.098 en 16.VY059.065 niet verder mee te nemen in de bepaling van de overstromingskans en het overstromingsrisico van dijkkring 16. Wel is aan de hand van een gevoeligheidsanalyse beoordeeld wat het effect van een grote faalkans voor het faalmechanisme *stabiliteit binnenwaarts* voor deze vakken is op de overstromingskans en het overstromingsrisico van dijkkring 16 (zie paragraaf 7.7.2).

#### *Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam*

De berekende faalkansen voor het faalmechanisme beschadiging bekleding en erosie dijklichaam zijn voor alle geselecteerde dijkvakken kleiner dan 1/150.000 per jaar [2]. De faalkansen zijn daarnaast relatief klein ten opzichte van de kansen zoals berekend voor de overige faalmechanismen. Het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* levert daardoor geen significante bijdrage aan de overstromingskans en het overstromingsrisico van dijkkring 16. De grasbekleding voldoet in de derde toetsronde voor de gehele dijkkring aan de norm [3]. Dit is in lijn met de resultaten van de faalkansberekeningen.

Er wordt opgemerkt dat in deze beoordeling is gerekend met een grasbekleding over het gehele talud. In werkelijkheid is ook veel harde bekleding aanwezig op verschillende trajecten. Hierdoor kan geen eerlijke vergelijking met het toetsoordeel worden gegeven. Omdat harde bekledingen over het algemeen sterker zijn dan grasbekledingen kan toch worden gesteld dat het beeld dat volgt uit de toetsing overeenkomt met de hier gepresenteerde resultaten.



### 3.4.3 Faalkansen kunstwerken

In dijkkring 16 liggen 26 primaire kunstwerken. Van 21 van deze kunstwerken is op basis van de beschikbare informatie geconcludeerd dat de bijdrage van de faalkansen berekend voor de kunstwerken aan de overstromingskans naar verwachting verwaarloosbaar klein is ten opzichte van de bijdrage van de overige berekende faalkansen (Bijlage E) [2]. Voor de resterende 5 kunstwerken is een faalkansanalyse uitgevoerd. Dit betreffen drie coupures, een uitwateringssluis en een schutsluis. In Tabel 13 is een overzicht opgenomen van de berekende faalkansen voor deze kunstwerken [17].

Kunstwerk naam	Faalkans per jaar			
	Overloop/ Overslag	Betrouwbaar- heid sluiting	Onder-/achter- loopsheid	Sterkte en stabiliteit
Uitwateringssluis Elshout (VNK.16.08.002)	1/500.000 <sup>1</sup>	1/13.000	<1/1.000.000	<1/200.000 <sup>2</sup>
Coupure buitenstad Vianen (VNK.16.01.003)	1/46.000	<1/200.000 <sup>2</sup>	<1/200.000 <sup>2</sup>	<1/1.000.000
Coupure Dalempoort (VNK.16.01.001)	1/93.000	1/1.000.000	- <sup>3</sup>	<1/200.000 <sup>2</sup>
Coupure Waterpoort Gorinchem (VNK.16.01.006)	1/120.000	1/34.000	- <sup>3</sup>	<1/1.000.000
Grote Sluis Vianen (VNK.16.06.004)	1/130.500	<1/200.000 <sup>2</sup>	<1/200.000 <sup>2</sup>	<1/200.000 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> De kerende hoogte van de Uitwateringssluis Elshout wordt gevormd door het dijklichaam van dijkvak 16.AW155.160. Hier is de faalkans uit het Dijken/Duinen spoor overgenomen voor overslag/overloop.

<sup>2</sup> De faalkans <1/200.000 is bepaald in de screening en komt overeen met 0,01 \* norm [17].

<sup>3</sup> Deze faalmechanismen zijn niet geanalyseerd, de bijdrage hiervan aan de overstromingskans van dijkkring 16 is niet significant.

Tabel 13: Berekende faalkansen voor de kunstwerken van dijkkring 16.

Voor de kunstwerken geldt dat de berekende faalkansen over het algemeen relatief klein zijn, met uitzondering van de faalkansen berekend voor het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting* voor Uitwateringssluis Elshout (1/13.000 per jaar) en Coupure Waterpoort Gorinchem (1/34.000 per jaar). Voor Uitwateringssluis Elshout geldt dat het falen van de keringen rond de (binnendijkse) maalkom Overwaard de oorzaak zijn van het falen van de uitwateringssluis. Wanneer het kunstwerk niet gesloten kan worden, leidt het instromend water tot bezwijken van de keringen rond de maalkom. Als dat gebeurt faalt de sluis alsnog door een te hoog instromend debiet.

Ook coupure Waterpoort Gorinchem heeft relatief grote faalkansen voor het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting*. Deze faalkans wordt vooral beïnvloed door het niveau van de drempel dat ligt onder het niveau van de waterstand waarbij het kunstwerk faalt. De coupure faalt door het eroderen van de bodembescherming achter de coupure [17].

De kunstwerken leveren echter een beperkte bijdrage aan de totale overstromingskans voor dijkkring 16 (zie ook Figuur 20), mede doordat de faalkansen voor de dijken tot een factor 100 groter zijn (Bijlage E).

### 3.5 Dominante vakken en faalmechanismen

Een overzicht van de 10 vakken met de grootste faalkansen is getoond in Tabel 14. Uit de tabel blijkt dat de overstromingskans voor de dijkkring alleen bepaald wordt door dijkvakken, kunstwerken dragen niet significant bij aan de berekende overstromingskans van dijkkring 16. Voor de tien meest dominante dijkvakken is het faalmechanisme opbarsten en piping maatgevend, met uitzondering van het meest dominante vak (16.AW262.275) waar het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts maatgevend is. Voor dit vak geldt overigens dat de berekende faalkans voor het faalmechanisme opbarsten en piping ook relatief groot is. De faalmechanismen overloop en golfoverslag en beschadiging bekleding en erosie dijklichaam zijn niet maatgevend voor deze vakken.

Vak	Faalkans per jaar <sup>1</sup>				
	Overloop en golfoverslag	Macrostabiliteit binnenwaarts	Opbarsten en piping	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Faalkans op vakniveau
16.AW262.275	1/27.000	<b>1/370</b>	1/960	<1/1.000.000	1/260
16.VY059.065	1/14.000	-	<b>1/280</b>	-	1/280
16.VY065.072	1/36.000	-	<b>1/340</b>	-	1/340
16.VY044.052	1/4.100	-	<b>1/460</b>	-	1/440
16.VY017.023	1/57.000	-	<b>1/460</b>	-	1/460
16.VY052.059	1/33.000	-	<b>1/490</b>	-	1/490
16.VY084.092	1/9.400	-	<b>1/550</b>	-	1/530
16.VY076.084	1/76.000	-	<b>1/890</b>	<1/1.000.000	1/890
16.AW279.289	1/23.000	-	<b>1/930</b>	-	1/910
16.AW218.227	<1/1.000.000	-	<b>1/1.300</b>	-	1/1.300

<sup>1</sup> vetgedrukte waarden zijn maatgevend voor het betreffende vak

Tabel 14: Overzicht van de 10 vakken met de grootste berekende faalkansen in dijkkring 16.

Hoewel de berekende faalkansen vrij uniform verdeeld zijn over de dijkkring liggen de tien dijkvakken met de grootste bijdragen aan de totale overstromingskans voor de categorie a-keringen van dijkkring 16 zonder uitzondering langs de Lek (Tabel 14). De dijkvakken tussen Langerak en Vianen zijn de dominante vakken en hebben relatief grote faalkansen voor de faalmechanismen opbarsten en piping (variërend van 1/280 tot 1/960 per jaar) en macrostabiliteit binnenwaarts (1/370 per jaar). Deze dijkvakken leveren dan ook de grootste bijdrage aan de overstromingskans van dijkkring 16.

---

## 4 De gevolgen van overstromingen per doorbraaklocatie

In dit hoofdstuk wordt een beeld gegeven van de gevolgen van overstromingen per potentiële doorbraaklocatie, waarbij ook meervoudige doorbraken mogelijk zijn. De gevolgen van een overstroming zijn uitgedrukt in economische schade en aantallen slachtoffers.

### 4.1 Aanpak en uitgangspunten

#### 4.1.1 Algemeen

De gevolgen van een overstroming worden bepaald door de mate waarin een dijkkringgebied overstroomt en de kwetsbaarheid van de getroffen objecten of personen. In VNK2 wordt de wijze waarop het dijkkringgebied overstroomt, berekend door middel van overstromingssimulaties. Deze simulaties zijn voor dijkkring 16 uitgevoerd met SOBEK1D2D (2.11.003). Met behulp van de overstromingskenmerken (waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid) uit de overstromingssimulaties worden de gevolgen berekend met behulp van HIS-SSM v2.5, uitgedrukt in schade en slachtoffers [27].

Omdat het overstromingspatroon en de gevolgen van een overstroming niet alleen afhankelijk zijn van de doorbraaklocatie maar ook van de belastingcondities waarbij de doorbraak plaatsvindt, beschouwt VNK2 meerdere mogelijke belastingcombinaties per ringdeel. In theorie zouden oneindig veel combinaties moeten worden beschouwd, maar in de praktijk is dat onmogelijk. Daarom worden per ringdeel alleen overstromingsberekeningen gemaakt voor belastingcombinaties bij toetspeil (tp), toetspeil minus een decimeringhoogte (tp-1d), toetspeil plus één decimeringhoogte (tp+1d) en toetspeil plus twee decimeringhoogten (tp+2d). Voor dijkkring 16 zijn buitenwaterstanden met de volgende overschrijdingskansen 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  
decimeringshoogtes (tp +2d)

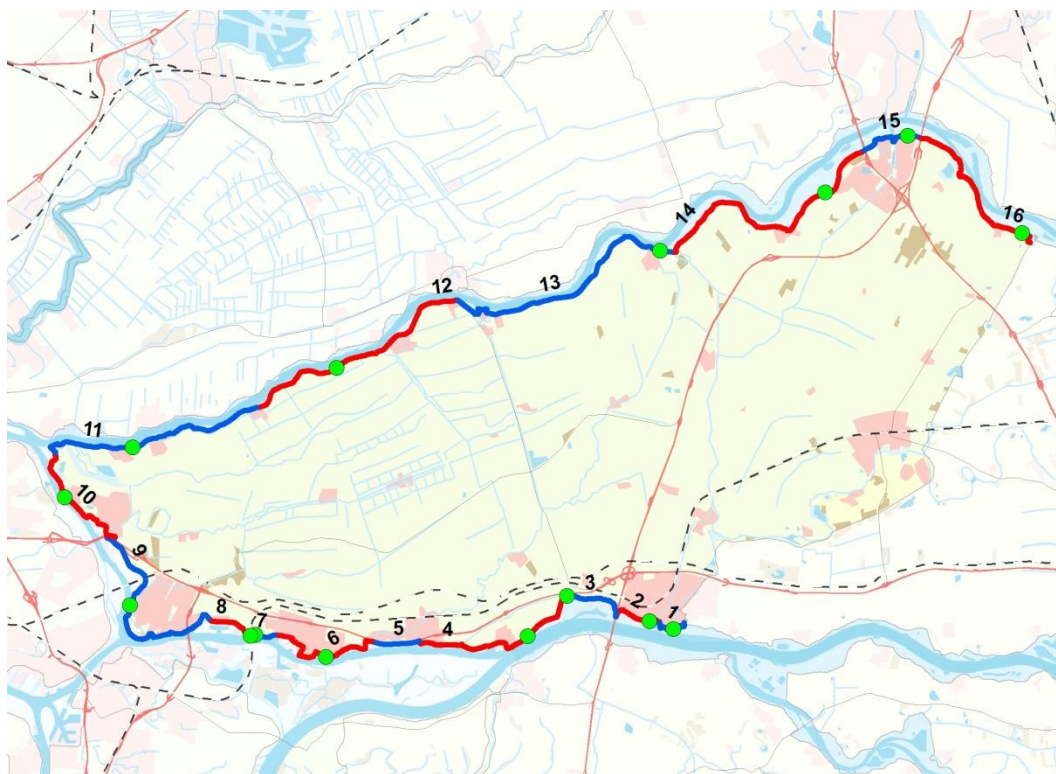
Voor dijkkring 16 zijn voor de meeste breslocaties de buitenwaterstanden met een overschrijdingskans van 1/200.000 jaar niet beschouwd omdat de statistiek in dit bereik tot onrealistische belastingssituaties leidt.

In het riviergedomineerde deel van de dijkkring is bij de scenario's tp+1d gerekend met een afvoergolf van 19.500 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Het is de vraag in hoeverre deze afvoer fysiek mogelijk is en daarom zijn er een aantal gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd waarbij de afvoergolf is afgetopt op 16.500 m<sup>3</sup>/s. Bij de scenario's met aftoppen ligt het aantal slachtoffers tussen de 10 en 40 procent lager, afhankelijk van de breslocatie. Bij de schade ligt het tussen de 0 en 15 procent lager. Binnen VNK2 wordt vanwege de uniformiteit tussen de dijkringen geen gebruik gemaakt van de afgetopte scenario's en wordt gerekend met de onafgetopte afvoergolf van 19.500 m<sup>3</sup>/s.

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 HISSM versie 2.5. Uit vergelijking met bevolkingsgegevens van het CBS uit het jaar 2010 blijkt dat de bevolking in de dijkkring is afgenomen met 2% (3.300 inwoners). Deze bevolkingsafname heeft naar verwachting een weinig tot geen effect op het berekende aantal slachtoffers.

#### 4.1.2 Ringdelen

Een ringdeel omvat een deel van de dijkkring waarvoor geldt dat het overstromingsverloop vrijwel onafhankelijk is van de exacte doorbraaklocatie binnen dat ringdeel. De overstromingsberekeningen per ringdeel vormen de basis voor de beschrijving van de overstromingsscenario's. Er zijn voor dijkkring 16, 16 ringdelen gedefinieerd, zoals weergegeven in Figuur 22. Vier ringdelen liggen met hun breslocatie aan de Boven-Merwede, vier ringdelen liggen met hun breslocatie aan de Beneden-Merwede, er zijn twee ringdelen met breslocaties aan de Noord en er liggen zes ringdelen met breslocaties aan de Lek. Een exacte beschrijving van het ringdeel en een overzicht van de vaken die in het ringdeel zijn gelegen wordt gegeven in Bijlage D.



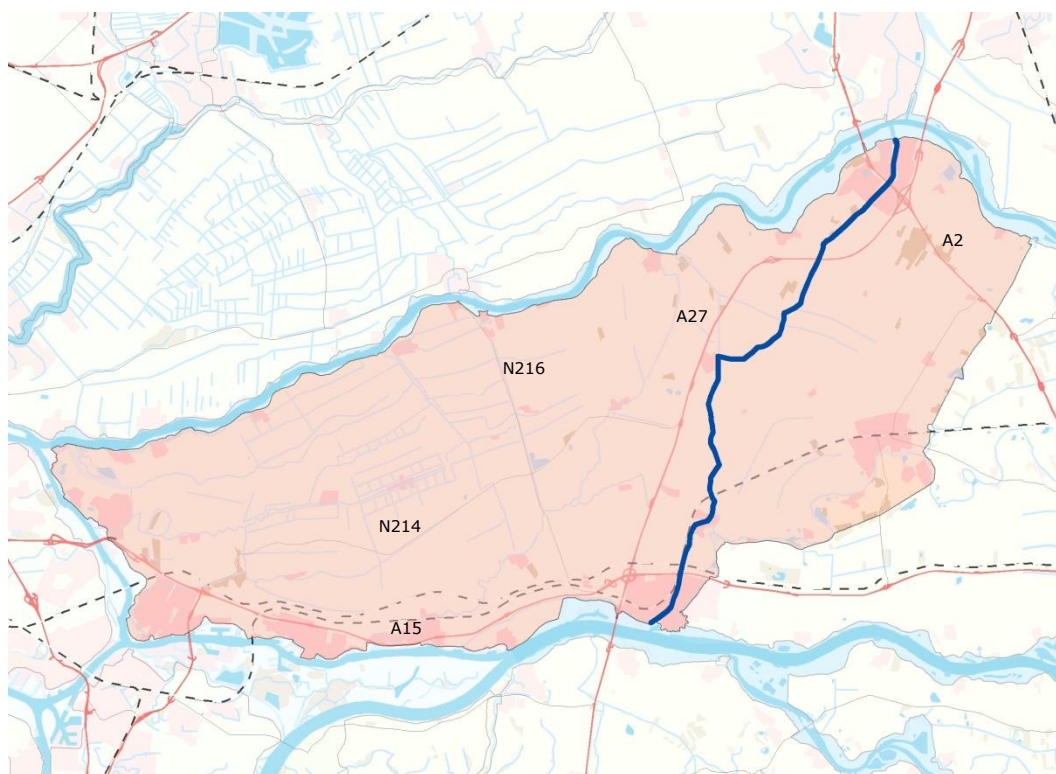
Figuur 22: Ringdelen met bijbehorende breslocaties voor dijkkring 16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden.

#### 4.1.3 Belastingcondities en sluitregimes

Voor dijkkring 16 kan vanuit 4riviertakken een overstroming optreden: de Boven-Merwede, de Beneden-Merwede, de Noord en de Lek. De hydraulische belasting is een combinatie van rivierafvoer en het getij met een stormopzet en is per breslocatie bepaald met Hydra B berekeningen. De hydraulische belastingen voor de breslocaties behorend bij ringdelen 1 t/m 4 en 12 t/m 16 zijn riviergedomineerd. De hydraulische belastingen voor de breslocaties behorend bij ringdelen 6 t/m 11 worden bepaald door een combinatie van rivierafvoer en het getij. Voor deze locaties zijn daarom overstromingsberekening gemaakt met zowel open als gesloten stormvloedkeringen (Maeslant- en Hartelkering). Hierbij zijn voor twee locaties, Kinderdijk en Nieuw-Lekkerland voor toetspeil plus één decimeringshoogte en voor toetspeil plus twee decimeringshoogte belastingcondities bepaald waarbij de kering faalt. Bij ringdeel 5 is geen breslocatie gedefinieerd. De snelweg A15 is hier onderdeel van de waterkering. De verwachting was dat hier geen bres op kon treden, hetgeen is bevestigd door de faalkansberekeningen (hoofdstuk 3).

#### 4.1.4 Verhoogde lijnelementen

Bij de overstromingsberekeningen van dijkkring 16 is er van uitgegaan dat regionale keringen met of zonder waterstaatkundige functie standzeker zijn zolang het water niet meer dan 15 centimeter boven de kruin uitkomt. Het Merwedekanaal en de Zouwendijk (deze dijk sluit ter hoogte van Meerkerk aan op het Merwedekanaal en loopt in noordelijke richting tot Ameide) zijn hierbij belangrijke hoge (en waterkerende) elementen die invloed hebben op de ontwikkeling van het overstromingspatroon. Het Merwedekanaal loopt van Gorinchem tot Vianen en scheidt de dijkkring in twee delen: het oostelijke en westelijke compartiment van de dijkkring (Figuur 23). Ook zijn er een aantal hoger in het landschap gelegen wegen (A2, A15, A27, N216 en de N214), die het overstromingspatroon kunnen beïnvloeden. In de overstromingsberekeningen is ervan uitgegaan dat deze lijnelementen standzeker zijn totdat het water >15 cm boven de kruin staat, daarboven bezwijken ze alsnog.



Figuur 23: Merwedekanaal en hooggelegen elementen dijkkring 16.

#### 4.1.5 Evacuatie

Voor het bepalen van het aantal slachtoffers als gevolg van een overstroming zijn de mogelijkheden voor (preventieve) evacuatie van belang<sup>8</sup>. 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 [28].

In VNK2 wordt rekening gehouden met preventieve evacuatie door het aantal slachtoffers te berekenen voor vier evacuatie-deelscenario's [29]. In Tabel 15 is een overzicht gegeven van de evacuatie-deelscenario's met de bijbehorende ingeschatte kansen van voorkomen voor dijkkring 16. In dijkkring 16 zijn, voor de breslocaties met riviergedomineerde belastingscondities, andere evacuatiefracties en conditionele

<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.

kansen gebruikt dan voor de breslocaties met een gecombineerde belastingsituatie (kust en rivier) [28]. 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 15 kan worden afgeleid wat de verwachtingswaarde voor evacuatie voor dijkkringgebied 16 is. Bij een riviergedomineerde overstromingsdreiging is dit ongeveer 75% per overstroming. Dat betekent dat bij een overstroming gemiddeld 75% van de bevolking preventief is geëvacueerd. Bij een kustgedomineerde overstroming is dit 11% bij een verwachtingswaarde van 0,11.

Evacuatie deelscenario		Evacuatiefractie (-)	Conditionele kans (-)	
Overstroming kort van tevoren verwacht of onverwacht	1. Geen evacuatie	0,00	0,40	Combinatie rivier-afvoer en getij (ringdelen 6 t/m11)
	2. Ongeorganiseerde evacuatie	0,03	0,44	
Overstroming ruim van tevoren verwacht	3. Ongeorganiseerde evacuatie	0,59	0,12	
	4. Georganiseerde evacuatie	0,76	0,04	
Overstroming kort van tevoren verwacht of onverwacht	1. Geen evacuatie	0,00	0,10	Rivier gedomineerd (ringdelen 1 t/m4 en 12 t/m 16)
	2. Ongeorganiseerde evacuatie	0,59	0,04	
Overstroming ruim van tevoren verwacht	3. Ongeorganiseerde evacuatie	0,80	0,26	
	4. Georganiseerde evacuatie	0,89	0,60	

Tabel 15: Evacuatiefracties en conditionele kans voor 4 verschillende evacuatie-deelscenario's.

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

## 4.2 Resultaten overstromingsberekeningen per ringdeel

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

Er wordt opgemerkt dat de gevolgen bij een overstromingsscenario groter kunnen zijn dan de in dit hoofdstuk beschreven gevolgen. Er kunnen zich immers ook meervoudige doorbraken voordoen, waarbij bressen ontstaan op meerdere locaties (bijvoorbeeld ringdeel 1 en ringdeel 2). De kenmerken van een overstromingsscenario met meervoudige doorbraken worden afgeleid uit die van de enkelvoudige doorbraken.

#### 4.2.1 Ringdeel 1: Doorbraaklocatie Lingesluis

Een overstroming bij Lingesluis is het gevolg van het falen van de Sluis Linge. De hoeveelheid water wordt hier beperkt door de afmetingen van de sluis. De buitenwaterstanden waaronder de kering bezwijkt wordt bij alle buitenwaterstanden volledig gedomineerd door de rivierafvoer. Na het falen van de sluisdeur stroomt het water de Linge op. In alle gevallen keert de sluis ter in eerste instantie het water volledig tot na 10 uur het watersysteem de hoeveelheid water niet meer kan bergen en de polder tussen de Linge en de Nieuwe Zuider Lingendijk overstroomt. Binnen een dag zijn de waterstanden in deze polder opgelopen tot vier meter bij buitenwaterstand tp-1d tot meer dan vijf meter bij tp+1d. De steden Heukelum en Asperen overstroomden volledig.

Na drie dagen stroomt het water over de kades van de Linge bij Gorinchem en Leerdam. Vanaf hier verplaatst het water zich langzaam in alle richtingen de polder in, waarbij de spoorlijn Leerdam-Gorinchem en later het meer oostelijk gelegen Merwedekanaal een verdere verbreiding tijdelijk tegenhouden. De overstroming als gevolg van het falen van de Sluis Linge is het kleinst van alle overstromingen. Toch worden er nog vier steden getroffen en treden er plaatselijk grote waterdiepten op. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 24.

	tp-1d	tp	tp+1d
<b>Waterdiepte (m)</b>			
<b>Schade [M€]</b>	1.020	1.575	1.930
<b>Slachtoffers</b>	10-100	15-155	20-190

Figuur 24: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Lingesluis voor drie buitenwaterstanden.

#### 4.2.2 Ringdeel 2: Doorbraaklocatie Gorinchem

Op het moment dat er een bres in de primaire kering ter hoogte van Gorinchem ontstaat, falen eveneens de kaden van het daar direct achter gelegen Kanaal van Steenenhoek. De kering faalt als gevolg van een rivier dominante hydraulische belasting. Direct na de doorbraak ontstaat een waterdiepte van meer dan 2,5 m in Gorinchem. Het water verplaatst zich richting het noorden langs beide kanten van de A27 waarbij het Merwedekanaal in het oosten voor buitenwaterstand tp-1d volledig waterkerend is. Wanneer het water Ameide bereikt verspreidt het zich over de gehele breedte van de dijkkring richting het westen. Hierbij wordt Neder-Hardinxveld ten zuiden van de spoorlijn Gorinchem-Leerdam het eerst bereikt. De N216 en de Ottolandsche Vliet hebben de grootste invloed op het voortschrijdende waterfront.

In de loop van de tweede en derde dag na de doorbraak overstroomden de steden in het westen van de dijkkring: Papendrecht, Alblasserwaard, Nieuw-Lekkerland en Sliedrecht waarbij waterdiepten optreden tot ruim 4 meter bij tp+1d. Voor berekeningen bij tp en tp+1d passeert het water het Merwedekanaal op respectievelijk de zevende en vierde dag, en wordt het oostelijke gedeelte van de dijkkring bereikt. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 25.

	tp-1d	tp	tp+1d
<b>Waterdiepte (m)</b>			
<b>Schade [M€]</b>	10 365	15.195	21.010
<b>Slachtoffers</b>	195-1.775	400-3.625	1.040-9.435

Figuur 25: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Gorinchem voor drie buitenwaterstanden.

#### 4.2.3 Ringdeel 3: Doorbraaklocatie Hardinxveld-Giessendam(AW003)

Op het moment dat er een bres in de primaire kering ten zuidwesten van Schelluinen ontstaat, falen eveneens de kaden van het daar direct achter gelegen Kanaal van Steenenhoek. De kering faalt als gevolg van een rivier dominante hydraulische belasting. Naast dat het water direct de polder Giessen-Nieuwkerk die achter het Kanaal van Steenenhoek instroomt, vinden er ook binnen een uur overstromingen plaats in Gorinchem en de Polder Hardinxveld. Binnen 8 uur staat de helft van Gorinchem onder water, de grootste gedeelten van Boven-Hardinxveld en delen van Neder-Hardinxveld. Het water verspreidt zich in alle richtingen binnen de dijkring, waarbij de kades van het Merwedekanaal in het oosten een begrenzing vormen en voor de overstroming bij tp-1d volledig waterkerend is. Binnen twee dagen overstroomden delen van Papendrecht, Sliedrecht, Ameide, Langerak en Groot-Ammers. Een dag later wordt ook de Alblasserwaard bereikt. De waterdiepten in het westelijke compartiment lopen in de eerste 7 dagen na de doorbraak op tot meer dan drie meter.

Voor de tp en tp+1d berekeningen passeert het water het Merwedekanaal op respectievelijk de achtste en vijfde dag en wordt het oostelijke gedeelte van de dijkring bereikt. Hierbij verspreidt het waterfront zich langs de spoorlijn Gorinchem-Leerdam tot dat het tot stilstand komt tegen de A27 ten en de A2 ten zuiden van Vianen. Na 9 dagen is het water ook deze laatste barrières gepasseerd en stroomt de rest van de dijkring onder water. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 26.

	tp-1d	tp	tp+1d
<b>Waterdiepte (m)</b>			
<b>Schade [M€]</b>	9.220	13.785	19.045
<b>Slachtoffers</b>	130-1.180	230-2.080	505-4.595

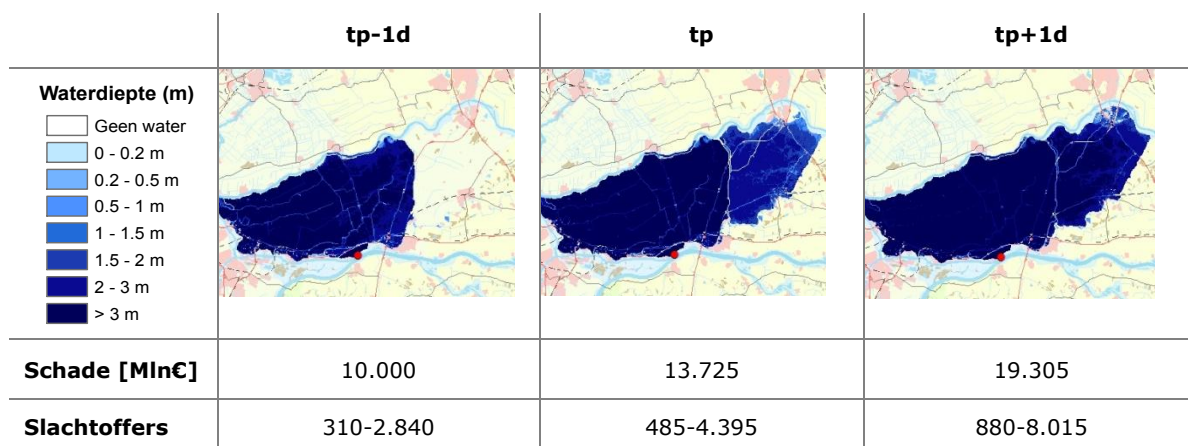
Figuur 26: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Hardinxveld-Giessendam (AW003) voor drie buitenwaterstanden.



#### 4.2.4 Ringdeel 4: Doorbraaklocatie Hardinxveld-Giessendam (AW015)

Op het moment dat de primaire kering bezwijkt stroomt de Polder Hardinxveld en Boven-Hardinxveld onder. Hierbij lopen de waterstanden op tot meer dan 3 meter in de eerste 2 uur bij tp-1d en meer dan 4 meter bij tp. De kering faalt als gevolg van een rivier dominante hydraulische belasting. Vervolgens wordt kanaal van Steenenhoek bereikt waardoor er overstromingen in Gorinchem plaatsvinden. Het meeste water verspreidt zich via Neder-Hardinxveld richting Sliedrecht in het westen, langs het Merwedekanaal in het oosten en via de polders naar het Noorden. Twee dagen na het ontstaan van de bres zijn Papendrecht, Ameide en Langerak grotendeels overstroomd. In de daarop volgende dag loopt het gehele westelijke compartiment van dijkkring 16 onder. Vanaf dat moment nemen de waterdiepten in het gebied toe met plaatselijke maxima van vier meter.

Voor tp en tp+1d overstroomt op dag 8 en dag 4 het Merwedekanaal en verspreidt het water zich richting het oosten. Vanaf dit moment verloopt de overstroming overeenkomstig met de scenario's Hardinxveld-Giessendam (AW003) en Gorinchem. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 27.



Figuur 27: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Hardinxveld-Giessendam (AW015) voor drie buitenwaterstanden.

#### 4.2.5 Ringdeel 5: geen doorbraaklocatie gedefinieerd

Bij ringdeel 5 is geen breslocatie gedefinieerd. De snelweg A15 is hier onderdeel van de waterkering, naar verwachting kan hier geen bres optreden.

#### 4.2.6 Ringdeel 6: Doorbraaklocatie Sliedrecht (AW063)

Op het moment dat de primaire kering bezwijkt, stroomt Sliedrecht onder. Hierbij lopen de waterstanden op tot meer dan 2 meter in de eerste 2 uur bij tp-1d en tp en tot meer dan 3 meter bij tp+1d. De kering faalt als gevolg van een rivier dominante hydraulische belasting. Er is ook een berekening bij tp gemaakt met een hydraulische belasting gedomineerd door de door wind verhoogde waterstanden op zee met gesloten stormvloedkeringen (Maeslantkering en Hartelkering).

Het water verspreidt zich via Sliedrecht richting het westen, oosten en het noordwesten tot aan het Merwedekanaal in het oosten. Voor de buitenwaterstanden tp-1d en tp+1d zijn na respectievelijk drie en twee dagen na het ontstaan van de bres het bebouwd gebied van Papendrecht en de Alblasserwaard overstroomd. Daarna stroomt het water verder naar het oosten de N216 over. De A27 heeft grote invloed op het voortschrijdende waterfront. De kades van het Merwedekanaal in het oosten vormen voor alle berekeningen een begrenzing. Bij een buitenwaterstand van tp-1d bereikt het water Gorinchem na 10 dagen. Bij een buitenwaterstand van tp+1d is dit na 5 dagen.

Bij een doorbraak met gesloten stormvloedkeringen stroomt het water na ruim 6 dagen over de N216 en bereikt het na 32 dagen Gorinchem en het Merwedekanaal. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 28 en Figuur 29.

	tp-1d	tp	tp+1d
<b>Waterdiepte (m)</b>			
<b>Schade [M€]</b>	6.330	7.560	9.745
<b>Slachtoffers</b>	260-1.075	350-1.470	705-2.940

Figuur 28: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Sliedrecht (AW063) voor drie buitenwaterstanden, **open** stormvloedkering.

	tp
<b>Waterdiepte (m)</b>	
<b>Schade [M€]</b>	4.655
<b>Slachtoffers</b>	205-855

Figuur 29: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Sliedrecht (AW063) voor tp, **gesloten** stormvloedkering.

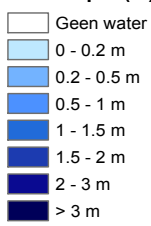
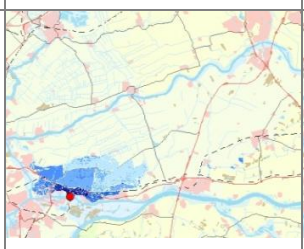
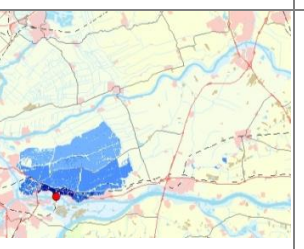
#### 4.2.7 Ringdeel 7: Doorbraaklocatie Sliedrecht (AW079)

Doorbraaklocatie Sliedrecht ligt net ten oosten van de spoorlijn over de Beneden-Merwede. Het overstromingspatroon verandert sterk wanneer de breslocatie net ten westen van de hooggelegen spoorlijn wordt gelegd. Daarom is ter plaatse van de spoorlijn een ringdeelgrens gelegd. De gevolgen van een overstroming als gevolg van een bres ten westen van de spoorlijn worden besproken bij ringdeel 8, doorbraaklocatie Papendrecht (AW080).

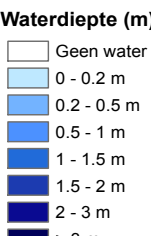

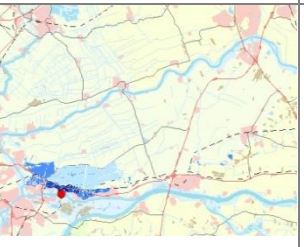
De hydraulische belasting wordt gedomineerd door de door wind verhoogde waterstanden op zee waarbij voor alle buitenwaterstanden (inclusief tp+2d) ook een berekening is uitgevoerd met gesloten stormvloedkeringen (Maeslantkering en Hartelkering).

Op het moment dat de primaire kering bezwijkt stroomt eerst het westelijk deel van Sliedrecht onder. Hierbij lopen de waterstanden op tot 2 meter in de eerste 2 uur. Het water verspreid zich eerst richting Papendrecht en Sliedrecht onder de A15 om vervolgens naar de achtergelegen polders te stromen. De N214 heeft grote invloed op het voortschrijdende waterfront en de kades van de Ottolandsche Vliet vormen een begrenzing in het oosten. De N216 wordt in geen van de berekeningen bereikt door het

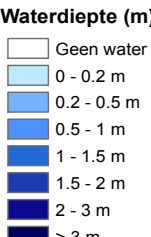

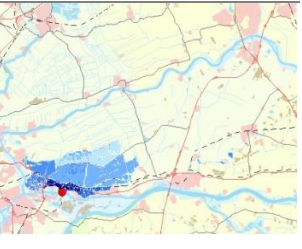
water. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 30, Figuur 31 en Figuur 32.

	tp-1d	tp
<b>Waterdiepte (m)</b> 		
<b>Schade [M€]</b>	1.375	1.675
<b>Slachtoffers</b>	35-140	45-185

Figuur 30: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Sliedrecht (AW079) voor twee buitenwaterstanden, **open** stormvloedkering.

	tp-1d	tp
<b>Waterdiepte (m)</b> 		
<b>Schade [M€]</b>	735	970
<b>Slachtoffers</b>	15-65	20-90

Figuur 31: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Sliedrecht (AW079) voor twee buitenwaterstanden, **gesloten** stormvloedkering.

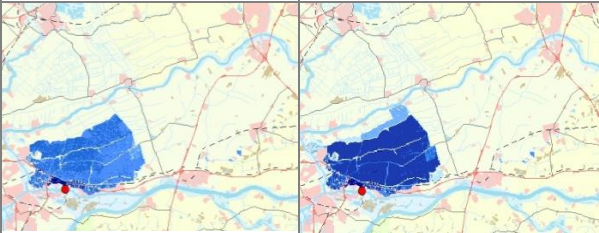
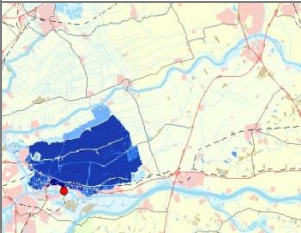
	tp+1d	tp+2d
<b>Waterdiepte (m)</b> 		
<b>Schade [M€]</b>	1.240	1.425
<b>Slachtoffers</b>	30-130	40-175

Figuur 32: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Sliedrecht (AW079) voor buitenwaterstanden tp+1d en tp+2d, **gesloten** kering.

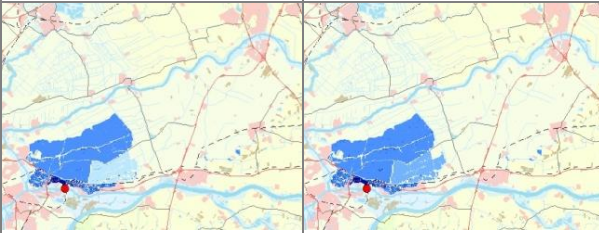
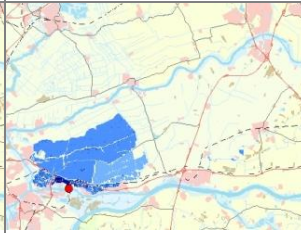
#### 4.2.8 Ringdeel 8: Doorbraaklocatie Papendrecht (AW080)

Op het moment dat de primaire kering bezwijkt, stroomt eerst het oosten van Papendrecht onder. Hierbij lopen de waterstanden op tot 2 meter in de eerste 2 uur. De hydraulische belasting waaronder de kering bezwijkt wordt gedomineerd door de door wind verhoogde waterstanden op zee waarbij voor alle buitenwaterstanden (inclusief tp+2d) ook een berekening is uitgevoerd met gesloten stormvloedkeringen (Maeslantkering en Hartelkering).

Het water verspreid zich richting Papendrecht en Sliedrecht en stroomt bijna meteen over de A15 naar de achtergelegen polders. De N214 heeft grote invloed op het voortschrijdende waterfront en de kades van de Ottolandsche Vliet vormen een begrenzing in het oosten. De N216 wordt in geen van de berekeningen bereikt door het water. Alleen bij tp met een open stormvloedkering wordt Alblasserdam bereikt en stroomt polder Streefkerk onder. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 33, Figuur 34 en Figuur 35.

	tp-1d	tp
<b>Waterdiepte (m)</b>		
<b>Schade [M€]</b>	1.750	2.105
<b>Slachtoffers</b>	45-185	60-245

Figuur 33: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Papendrecht(AW080) voor twee buitenwaterstanden, **open** stormvloedkering.

	tp-1d	tp
<b>Waterdiepte (m)</b>		
<b>Schade [M€]</b>	1.520	1.580
<b>Slachtoffers</b>	35-150	40-160

Figuur 34: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Papendrecht (AW080) voor buitenwaterstanden tp-1d en tp, **gesloten** kering.

	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 [M€]</b>	1.675	1.760
<b>Slachtoffers</b>	40-175	45-190

Figuur 35: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Papendrecht (AW080) voor buitenwaterstanden tp+1d en tp+2d, **gesloten** kering.

#### 4.2.9 Ringdeel 9: Doorbraaklocatie Papendrecht (AW112)

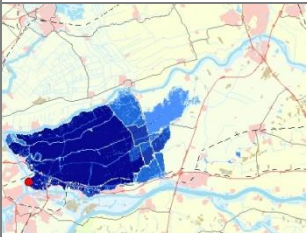
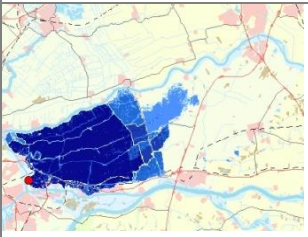
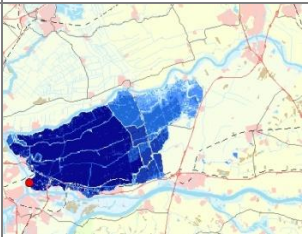
De breslocatie Papendrecht ligt bij het Westeind. De bres ontstaat als gevolg van een hydraulische belasting die gedomineerd wordt door de door wind verhoogde waterstanden op zee. Voor alle buitenwaterstanden is ook een berekening uitgevoerd met gesloten stormvloedkeringen (Maeslantkering en Hartelkering). Op het moment dat de primaire kering bezwijkt, overstroomt heel Papendrecht, waarbij vrijwel direct ruim twee meter water aanwezig is en bij tp+1d waterstanden van ruim 3 meter optreden.

Bij alle buitenwaterstanden staat de stad binnen 3 uur onder water en wordt de Polder Zuidzijde bereikt. Via deze polder overstromen alle polders ten westen van de Ammersche Boezem. Bij tp met een open stormvloedkering lopen na drie dagen de eerste stadsdelen van Sliedrecht onder water. Alblasterdam wordt 6 dagen na de doorbraak bereikt. Tegen die tijd staat Sliedrecht vrijwel volledig onder water en stroomt ook Nieuw-Lekkerland onder water. Het water heeft op dag negen plaatselijk de N216 bereikt.

In alle overstromingsberekening stroomt het water langzaam over deze weg verder richting het oosten waarbij voor de berekeningen met gesloten keringen Meerkerk nog wordt belast en bij de berekeningen met open keringen het water Ameide bereikt. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 36 en Figuur 37.

	tp-1d	tp
<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 [M€]</b>	4.290	4.355
<b>Slachtoffers</b>	390-1.615	395-1.645

Figuur 36: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Papendrecht (AW112) voor twee buitenwaterstanden, **open** stormvloedkering.

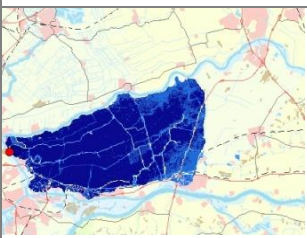
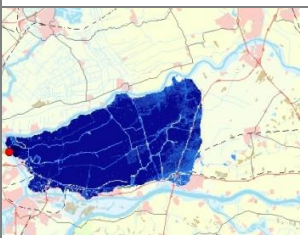
	tp-1d	tp	tp+1d
<b>Waterdiepte (m)</b>			
<b>Schade [M€]</b>	3.870	3.925	4.110
<b>Slachtoffers</b>	185-775	225-930	295-1.230

Figuur 37: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Papendrecht (AW112) voor drie buitenwaterstanden, **gesloten** stormvloedkering.

#### 4.2.10 Ringdeel 10: Doorbraaklocatie Kinderdijk

Bij doorbraaklocatie Kinderdijk ontstaat de bres in de primaire kering door een zeedominante hydraulische belasting. De breslocatie ligt in de wijk Kinderdijk van Alblasterdam. Voor twee buitenwaterstanden is ook een berekening uitgevoerd met gesloten stormvloedkeringen (Maeslantkering en Hartelkering). De berekening tp+1d open is berekend met een zeedominante hydraulische belasting waarbij de stormvloedkeringen gefaald hebben. In de eerste 3 uur na het ontstaan van de bres komt Alblasterdam volledig onder water te staan en bereikt het water Nieuw Lekkerland. Vanuit hier overstromen als eerste de Streefkerkpolder, Polder Noordzijde, Polder Zuidzijde en de polder Brandwijk. Overeenkomstig met het voorgaande scenario, breidt de overstroming zich uit in westelijke en zuidelijke richting. Hierbij hebben de Ammersche Boezem, de Ottolandsche Vliet, de Persumsche Vliet, de A15 en het spoor (Gorinchem-Leerdam) de grootste invloed op het voortschrijden van het waterfront.

Bij tp met een open stormvloedkering overstromen de eerste delen van Papendrecht 2 dagen na het ontstaan van de bres. Een dag later bereikt het water ook Sliedrecht. Na 6 dagen overstroomt de N216. Na 13 dagen is het gebied tussen de N216 en de A27 volgestroomd. Het water stroomt hierna nog het achter de A27 gelegen gebied in waarbij westelijke delen van Gorinchem overstromen. De waterdiepten in het gebied worden niet groter dan ruim twee meter. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 38, Figuur 39 en Figuur 40.

	tp-1d	tp	
<b>Waterdiepte (m)</b>			
<b>Schade [M€]</b>	5.345	5.680	
<b>Slachtoffers</b>	350-1.465	400-1.665	

Figuur 38: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Kinderdijk voor twee buitenwaterstanden, **open** stormvloedkering.

	tp-1d	tp	tp+1d
<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 [M€]</b>		4.850	5.155
<b>Slachtoffers</b>		205-850	245-1.015

Figuur 39: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Kinderdijk voor twee buitenwaterstanden, **gesloten** stormvloedkering.

	tp-1d	tp	tp+1d
<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 [M€]</b>			4.010
<b>Slachtoffers</b>			270-1.120

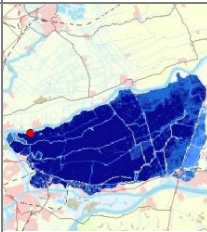
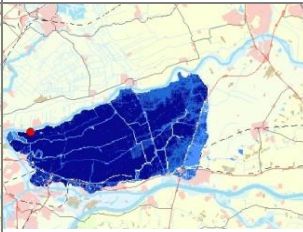
Figuur 40: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Kinderdijk voor tp+1d, stormvloedkering **faalt**.

#### 4.2.11 Ringdeel 11: Doorbraaklocatie Nieuw Lekkerland

Bij doorbraaklocatie Nieuw-Lekkerland ontstaat de bres in de primaire kering door een zeedominante hydraulische belasting, met een grote rivierafvoer. Doordat een hoge rivierafvoer langer aanhoudt dan een storm, zijn de gevolgen bij tp-1d en tp (Figuur 41) groter dan de zeedomineerde overstromingen bij tp+1d en tp+2d (Figuur 42).

	tp-1d	tp	tp+1d
<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 [M€]</b>	5.860	6.040	
<b>Slachtoffers</b>	90-835	100-880	

Figuur 41: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Nieuw-Lekkerland voor 2 buitenwaterstanden, **open** stormvloedkering.

	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 [M€]</b>		4.760	4.840
<b>Slachtoffers</b>		75-665	75-700

Figuur 42: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Nieuw-Lekkerland voor 2 buitenwaterstanden, **falende** stormvloedkering.

De berekening voor tp+1d en tp+2d zijn berekend met een zeedominante hydraulische belasting waarbij de stormvloed keringen gefaald hebben. Bij alle buitenwaterstanden komt de eerste 2 uur na het ontstaan van de bres Nieuw-Lekkerland volledig onder water te staan met waterdiepten tot ruim 2 meter. Na 1,5 dag staat het water tot aan De A15 en het spoor (Gorichem-Leerdam). Aan het einde van dag 2 begint Papendrecht te overstromen en na 3 dagen Sliedrecht. Halverwege dag 3 overstromen de Ammersche Boezem, de Ottolandsche Vliet en de Persumsche Vliet, waarna het water richting het oosten stroomt. De N216 houdt het waterfront gedurende een dag op, waarna het water verder verspreidt richting de A27.

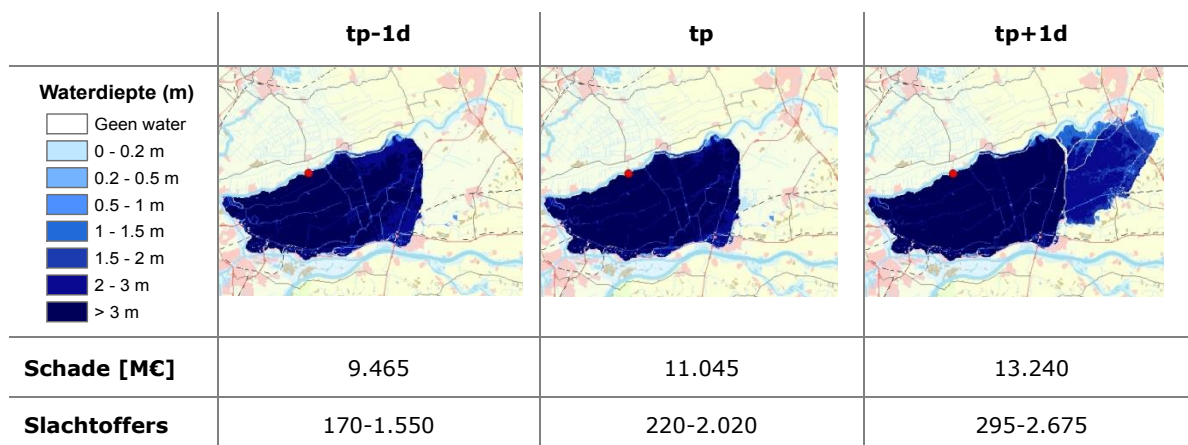
Bij tp (zeegedomineerd, maar met grote rivierafvoer) staat acht dagen na de doorbraak het gedeelte van dijkkring 16 ten westen van de A27 onder water, bij tp+2d (zeegedomineerd) is dit na 18 dagen. Aan het einde van de achtste dag loopt het gebied tussen de A27 en het Merwedekanaal onderwater te beginnen bij Gorinchem. Bij alle buitenwaterstanden blijft het oostelijke compartiment van de dijkkring volledig droog. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 41 en Figuur 42.

#### 4.2.12 Ringdeel 12: Doorbraaklocatie Casa Novum

Casa-Novum ligt aan de Lek tussen Groot Ammers en Streefkerk. De hydraulische belasting waaronder de primaire kering op deze locatie bezwijkt, is rivierdominant bepaald. Na het ontstaan van de bres overstroomt Polder Streefkerk als eerste. Voor alle buitenwaterstanden wordt binnen 6 uur Nieuw-Lekkerland bereikt. Voordat de kade van de Ammersche Boezem in het oosten en de Polder Molensgraaf in het zuiden overstroomt, zijn de waterstanden in dit gebied opgelopen tot twee meter. Vervolgens wordt Alblassedam binnen een halve dag bereikt.

De Ottolandsche Vliet begrenst de overstroming in het oosten waardoor het water zich in zuidelijke richting verspreidt. Het waterfront bereikt Papendrecht na 1 dag. Het spoor (Gorichem-Leerdam) remt het waterfront voor enkele uren af waarna ook Sliedrecht overstroomt. Na 2,5 dagen staat het dijkkring gedeelte ten westen van de A27 nagenoeg volledig onder water, waarbij de waterdiepten tot ruim twee meter stijgen. Na bijna drie dagen staat het water tot aan het Merwedekanaal, waarvan de dijken bij tp-1d en tp volledig waterkerend blijven. Bij tp+1d overstroomt halverwege de vijfde dag het Merwedekanaal ten noorden van Arkel. Zes dagen na de doorbraak bereikt het water Leerdam. Uiteindelijk overstroomt het hele westelijke deel van dijkkring 16 waarbij de waterdiepten oplopen tot meer dan drie meter. In het oostelijke deel van de dijkkring lopen de waterdiepten op tot ruim 2 meter. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 43.





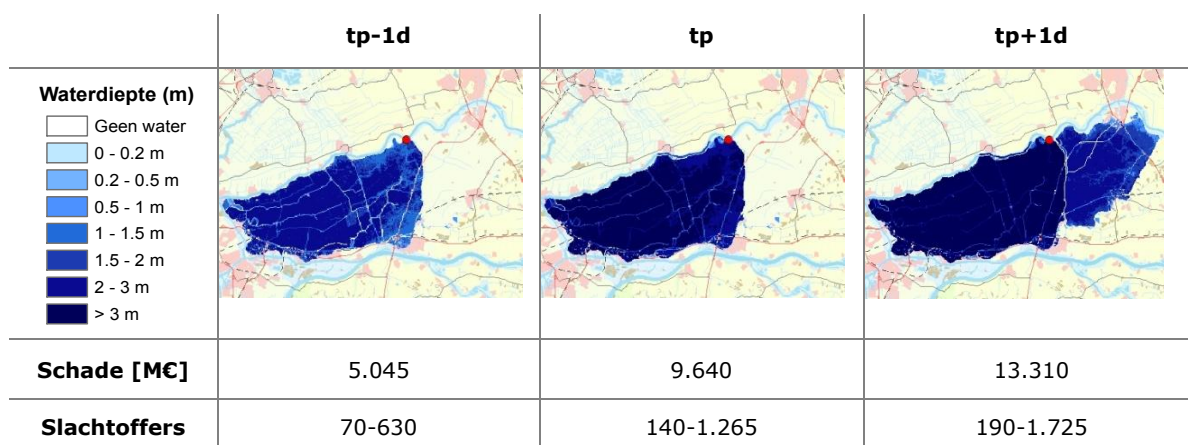
Figuur 43: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Casa Novum voor drie buitenwaterstanden.

#### 4.2.13 Ringdeel 13: Doorbraaklocatie Ameide

Ameide ligt aan de Lek en de primaire kering bezwijkt onder een rivier gedomineerde hydraulische belastingcombinatie. Na het doorbreken van de Lekdijk stroomt het water naar het zuidwesten, waarbij het waterfront geremd wordt door de N216. Na ongeveer een dag is bij tp+1d de waterstand zodanig opgelopen dat het water over de A27 stroomt richting het Merwedekanaal. Voor tp-1d is dit na ruim anderhalve dag. Op dat moment worden de buitenwijken van Gorinchem bereikt.

Voor tp+1d staat na 2.5 dagen het westelijke compartiment van de dijkkring vol tot aan de grenzen van de steden in het westen. Een dag later staan de steden (Alblasserdam, Papendrecht en Kinderdijk) bijna volledig onder water.

Voor tp-1d en tp blijven de kades van het Merwedekanaal volledig waterkerend. Voor tp+1d overstroomt het Merwedekanaal halverwege de negende dag ten noorden van Arkel. Tien dagen na de doorbraak bereikt het water Leerdam. Uiteindelijk staat heel dijkkring 16 volledig onder water. Hierbij treden in het westelijk deel waterstanden op van meer dan drie meter. In het oostelijk deel van de dijkkring lopen de waterdiepten op tot ruim 2 meter. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 44.



Figuur 44: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Ameide voor drie buitenwaterstanden.

#### 4.2.14 Ringdeel 14: Doorbraaklocatie Vianen (VY040)

Doorbraaklocatie Vianen (VY040) ligt tussen Vianen en het Merwedekanaal. De primaire kering bezwijkt hier onder een rivier gedomineerde hydraulische belasting. Voor alle buitenwaterstanden stroomt als eerste het gebied tussen de kering, het Merwedekanaal, de A27 en de A2 onder. Na een halve dag bereikt het water Leerdam en overstroomt ook het spoor en de A2 richting Everdingen. Op de tweede dag overstroomt het Merwedekanaal ten noorden van Arkel. Het water verplaatst zich richting het westen waarbij het voornamelijk wordt opgehouden door de N216 en de boezemkaden. Het waterfront bereikt de buitenwijken van Alblasserdam na 3,5 dagen en die van Papendrecht en Sliedrecht ongeveer 4 dagen na de doorbraak. Uiteindelijk is de gehele dijkkring in 6 dagen ondergelopen voor tp+1d en staat dijkkring 16 volledig onder water. Hierbij treden bij de hoogste buitenwaterstand waterdiepten op van meer dan vier meter in het westelijke deel en meer dan 3 meter in het oostelijke deel. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 45.

	tp-1d	tp	tp+1d
<b>Waterdiepte (m)</b>			
<b>Schade [M€]</b>	7.210	11.750	17.320
<b>Slachtoffers</b>	95-870	155-1.415	230-2.075

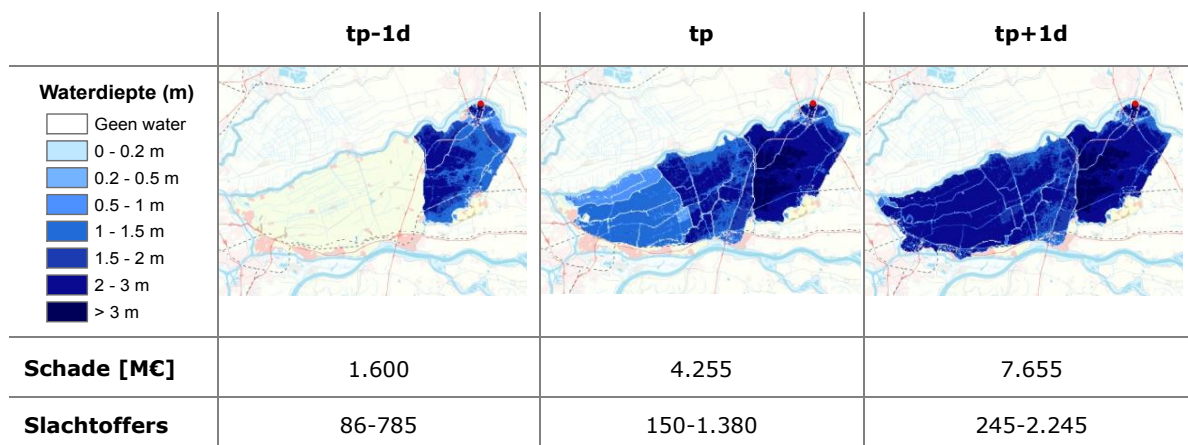
Figuur 45: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Vianen (VY040) voor drie buitenwaterstanden.

#### 4.2.15 Ringdeel 15: Doorbraaklocatie Vianen (VY062)

De doorbraaklocatie in de primaire kering te Vianen is midden in de stad gekozen. De hydraulische belasting waaronder de primaire kering bezwijkt, is rivier gedomineerd. Het water staat bij alle buitenwaterstanden in de stadskern van Vianen vrijwel onmiddellijk ruim drie meter hoog, omdat deze plaats wordt omringd door verhoogde snelwegen.

Vervolgens stroomt het water in alle richtingen het oostelijke compartiment van dijkkring 16 in; ten oosten van de A2, tussen de A2 en de A27 en ten westen van de A27. Het duurt bij tp bijna 5 dagen voordat de waterdiepte in het oostelijke compartiment ter hoogte van de kaden van het Merwedekanaal is opgelopen tot drie meter. Op dat moment overstroomt de kade en overstroomt het westelijke compartiment. De kaden van de boezem, de A27 en de A15 het vertragen hierbij het waterfront. De overstroming treft uiteindelijk na 17 dagen het grootste gedeelte van de dijkkring, waarbij ook Papendrecht overstroomt. Alblasserdam en grote delen van Sliedrecht en Gorinchem blijven gespaard.

Bij tp+1d stroomt het water aan na 3,5 dag na de doorbraak over de kades van het Merwedekanaal. De overstroming treft uiteindelijk na 12 dagen het grootste gedeelte van de dijkkring waarbij alle steden in het westen overstromen. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 46.

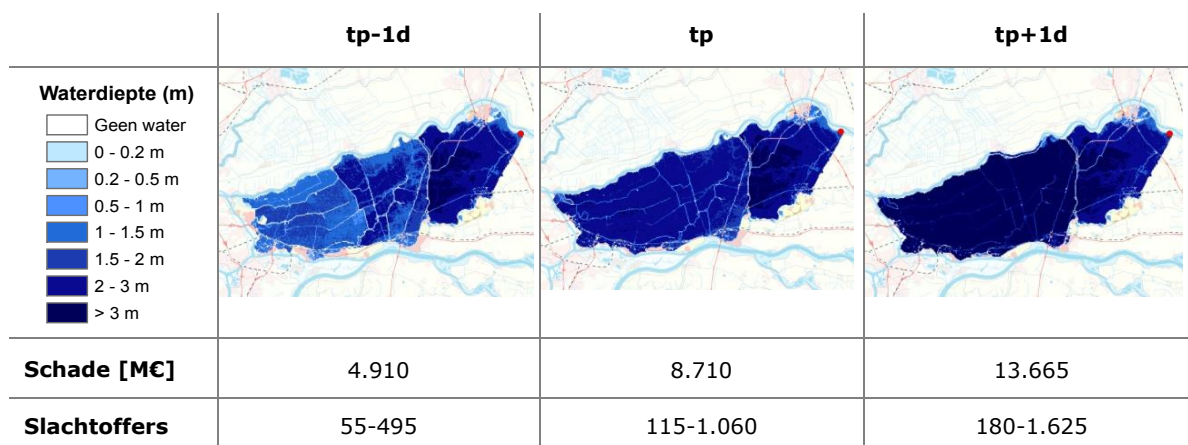


Figuur 46: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Vianen (VY062) voor drie buitenwaterstanden.

#### 4.2.16 Ringdeel 16: Doorbraaklocatie Everdingen

De breslocatie in de primaire kering is gekozen tussen de plaats Everdingen en de Diefdijk. De hydraulische belastingcombinatie is rivier gedomineerd. Deze breslocatie ligt nog bovenstrooms van de stuw van Hagenstein. Na de doorbraak stroomt het water bij alle buitenwaterstanden al snel tegen de A2 aan en wordt hierdoor enigszins opgestuwd richting het noordwesten. Vervolgens overstroomt het gebied gelegen tussen de A27, het Merwedekanaal en de kades van de Linge.

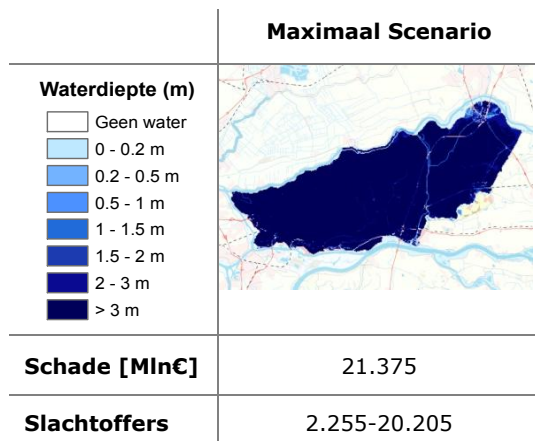
Bij tp is na 1,5 dag het oostelijke compartiment vol en is de waterstand zover toegenomen dat het water over de kade van het Merwedekanaal stroomt. Vervolgens stroomt het water naar het westen toe, waar het nog even wordt vertraagd door de A27, en de N216. Na 4,5 dag staat het water aan de rand van de westelijke steden: Papendrecht, Alblasserdam en Nieuw Lekkerland. Binnen een dag zijn de steden overspoeld. Vanaf dat moment neemt de waterdiepte in de hele dijkkring toe tot meer dan drie meter. De maximale waterdiepten en de verwachte gevolgen die tijdens deze overstroming optreden zijn gegeven in Figuur 47.



Figuur 47: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Everdingen) voor drie buitenwaterstanden.

#### 4.2.17 Maximaal scenario

Figuur 48 geeft de maximale waterdiepte voor het maximaal scenario, waarbij een doorbraak ontstaat bij 3 doorbraaklocaties tezamen (zie 4.2.2, 4.2.10 en 4.2.14). Voor dijkkring 16 is het maximaal scenario samengesteld op basis van de maximale waterdiepten van 3 doorbraaklocaties bij tp+1d. Voor het maximaal scenario in dijkkring 16 bedraagt de economische schade meer dan 21 miljard Euro en zijn circa 2.000 tot 20.000 slachtoffers berekend, afhankelijk van de evacuatiemogelijkheden.



Figuur 48: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij het maximale scenario.

### 4.3 Overzicht resultaten overstromingsberekeningen

De resultaten van de overstromingsberekeningen voor dijkkring 16 zijn per doorbraaklocatie samengevat in Tabel 16 en Bijlage G.

Ring deel	Breslocatie		buitenwaterstand			
			tp-1d	tp	tp+1d	tp+2d
1	Lingesluis	schade (miljoen €)	1.020	1.575	1.930	-
		aantal slachtoffers	10-100	15-155	20-190	-
2	Gorinchem	schade (miljoen €)	10.365	15.195	21.010	-
		aantal slachtoffers	195-1.775	400-3.625	1.040-9.435	-
3	Hardinxveld-Giessendam AW003	schade (miljoen €)	9.220	13.785	19.045	-
		aantal slachtoffers	130-1.180	230-2.080	505-4.595	-
4	Hardinxveld-Giessendam AW015	schade (miljoen €)	10.000	13.725	19.305	-
		aantal slachtoffers	310-2.840	485-4.395	880-8.015	-
5	niet gedefinieerd		-	-	-	-
6	Sliedrecht AW063	schade (miljoen €)	6.330	7.560	9.745	-
		aantal slachtoffers	260-1.075	350-1.470	705-2.940	-
	Sliedrecht AW063 SVK gesloten	schade (miljoen €)	-	4.655	-	-
		aantal slachtoffers	-	205-855	-	-
7	Sliedrecht AW079	schade (miljoen €)	1.375	1.675	-	-
		aantal slachtoffers	35-140	45-185	-	-
	Sliedrecht AW079 SVK gesloten	schade (miljoen €)	735	970	1.240	1.425
		aantal slachtoffers	15-65	20-90	30-130	40-175

Ring deel	Breslocatie		buitenwaterstand			
			tp-1d	tp	tp+1d	tp+2d
8	Papendrecht AW080	schade (miljoen €)	1.750	2.105	-	-
		aantal slachtoffers	45-185	60-245	-	-
	Papendrecht AW080 <i>SVK gesloten</i>	schade (miljoen €)	1.520	1.580	1.675	1.760
		aantal slachtoffers	35-150	40-160	40-175	45-190
9	Papendrecht AW112	schade (miljoen €)	4.290	4.355	-	-
		aantal slachtoffers	390-1.615	395-1.645	-	-
	Papendrecht AW112 <i>SVK gesloten</i>	SVK gesloten	3.870	3.925	4.110	-
		<i>schade (miljoen €)</i>	185-775	225-930	295-1.230	-
10	Kinderdijk	schade (miljoen €)	5.345	5.680	-	-
		aantal slachtoffers	350-1.465	400-1.665	-	-
	Kinderdijk <i>SVK gesloten</i>	schade (miljoen €)	-	4.850	5.155	-
		aantal slachtoffers	-	205-805	245-1.015	-
	Kinderdijk <i>falende SVK</i>	schade (miljoen €)	-	-	4.010	-
		aantal slachtoffers	-	-	270-1.120	-
11	Nieuw Lekkerland	schade (miljoen €)	5.860	6.040	4.760	4.840
		aantal slachtoffers	90-835	100-880	75-665	75-700
12	Casa Novum	schade (miljoen €)	9.465	11.045	13.240	-
		aantal slachtoffers	170-1.550	220-2.020	295-2.675	-
13	Ameide	schade (miljoen €)	5.045	9.640	13.310	-
		aantal slachtoffers	70-630	140-1.265	190-1.725	-
14	Vianen VY040	schade (miljoen €)	7.210	11.750	17.320	-
		aantal slachtoffers	95-870	155-1.415	230-2.075	-
15	Vianen VY062	schade (miljoen €)	1.600	4.255	7.655	-
		aantal slachtoffers	86-785	150-1.380	245-2.245	-
16	Everdingen	schade (miljoen €)	4.910	8.710	13.665	-
		aantal slachtoffers	55-495	115-1.060	180-1.625	-
Max Scen.	Maximaal scenario	schade (miljoen €)	-	-	21.375	-
		aantal slachtoffers	-	-	2.255-20.205	-

Tabel 16: Overzicht resultaten overstromingsberekeningen.



---

## 5 Overstromingsscenario's en scenariokansen

In dit hoofdstuk worden de scenariokansen voor verschillende overstromingsscenario's van dijkkring 16 beschreven. De scenariokans is de kans op het optreden van een bepaald overstromingsverloop. De scenariokansen vormen de koppeling tussen de berekende faalkansen (hoofdstuk 3) en de gevolgen van een overstroming (hoofdstuk 4).

### 5.1 Aanpak bepaling scenariokansen

#### 5.1.1 Definitie overstromingsscenario's

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

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

#### 5.1.2 Ontlasten na een dijkdoorbraak

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

- Geen ontlasten bij doorbraak.
- Ontlasten bij doorbraak, het zwakste vak faalt als eerste (zwakste schakel).
- Ontlasten bij doorbraak, het eerst belaste vak faalt als eerste (volgorde-effect).

Over het algemeen geldt dat bij een doorbraak langs de grote rivieren een dusdanige daling van de waterstand te verwachten is dat de kans op een doorbraak op een andere locatie langs dezelfde rivier klein zal zijn. Vanwege de doorbraak wordt de afvoergolf door de rivier afgetopt, de benedenstrooms van de breslocatie gelegen dijkvakken zullen hierdoor minder zwaar worden belast. Bij een doorbraak langs de kust is geen daling van de waterstand te verwachten. De hoeveelheid water in de Noordzee is zo groot dat een overstroming niet tot nauwelijks van invloed is op de waterstanden aan de kust. In een dergelijk geval is geen sprake van ontlasten. Er zijn dan dus meerdere doorbraken mogelijk.

Dijkkringgebied 16 ligt in het benedenriviergebied, meer specifiek in het overgangsg gebied. Het benedenrivierengebied is een gebied waarin de maatgevende waterstanden worden bepaald door een combinatie van een hoge rivierafvoer met stormopzet aan zee. Dit heeft invloed op de keuze voor het te hanteren uitgangspunt met betrekking tot de vraag of er sprake is van ontlasten of niet. Voor het deel van het benedenrivierengebied aan de kust geldt dat de maatgevende waterstanden vooral door hoge waterstanden op zee worden bepaald (stormopzet gedomineerd). Aan de bovenstroomse rand van het benedenrivierengebied worden de maatgevende waterstanden bepaald door de rivierafvoer (rivierafvoer gedomineerd). In het overgangsg gebied worden de maatgevende waterstanden bepaald door een combinatie van beiden.

Dijkring 16 is verdeeld in 15 ringdelen (Figuur 49). Voor elk ringdeel is een breslocatie bepaald, waarvoor diverse overstromingsberekeningen zijn gemaakt. De bijbehorende hydraulische belastingen zijn bepaald met Hydra-B berekeningen (hoofdstuk 4).



Figuur 49: Overzicht ringdelen dijkkring 16.

Ringdeel / doorbraaklocatie	Buitenwater	Maatgevende waterstand
1 Lingesluis	Boven-Merwede	Rivierafvoer
2 Gorinchem (AW389)	Boven-Merwede	Rivierafvoer
3 Hardinxveld Giessendam (AW003)	Boven-Merwede	Rivierafvoer
4 Hardinxveld Giessendam (AW015)	Boven-Merwede	Rivierafvoer
5 Ringdeel zonder naam*	Beneden-Merwede	-
6 Sliedrecht (AW063)	Beneden-Merwede	Stormopzet
7 Sliedrecht (AW079)	Beneden-Merwede	Stormopzet
8 Papendrecht (AW080)	Beneden-Merwede	Stormopzet
9 Papendrecht (AW112)	Noord	Stormopzet
10 Kinderdijk (AW144)	Noord	Stormopzet
11 Nieuw-Lekkerland(AW171)	Lek	Stormopzet
12 Casa Novum (AW217)	Lek	Rivierafvoer
13 Ameide (AW296)	Lek	Rivierafvoer
14 Vianen (VY040)	Lek	Rivierafvoer
15 Vianen (VY062)	Lek	Rivierafvoer
16 Everdingen (VY095)	Lek	Rivierafvoer

\* De ringdelen zijn vernoemd naar de overstromingsberekeningen. Voor dit ringdeel is geen doorbraaklocatie gedefinieerd en zijn hier dientengevolge geen overstromingsberekeningen uitgevoerd (zie paragraaf 4.2.5).

Tabel 17: Overzicht van buitenwater per ringdeel voor dijkkringgebied 16.



De hydraulische belastingen voor de breslocaties van de ringdelen Everdingen VY095 tot en met Casa Novum AW217 langs de Lek en de ringdelen Linge Sluis tot en met Hardinxveld-Giessendam AW015 langs de Boven-Merwede zijn rivierafvoer gedomineerd. De hydraulische belastingen voor de breslocaties van de ringdelen Nieuw Lekkerland, Kinderdijk, Papendrecht en Sliedrecht worden bepaald door een combinatie van een minder extreme rivierafvoer met een bovengemiddelde stormopzet. Aangenomen is dat deze ringdelen dus stormopzet gedomineerd zijn (Tabel 17).

### 5.1.3 Combinatie ontlasten / geen ontlasten

Omdat dijkkring 16 in het overgangsgebied ligt, deels rivierafvoer gedomineerd en deels stormopzet gedomineerd, is gekozen voor een combinatie van ontlasten en geen ontlasten. Bij de berekening van de scenariokansen op het gedeelte van de dijkkring dat rivierafvoer gedomineerd is, is uitgegaan van ontlasten na een doorbraak. Hierbij is gekozen voor het volgorde effect, waarbij het vak dat als eerste wordt belast ook als eerste faalt. Voor de 6 ringdelen van de dijkkring die stormopzet gedomineerd zijn, is uitgegaan van geen ontlasten.

Voor dijkkring 16 kan vanuit drie buitenwatergebieden een overstroming optreden: vanuit de Boven- en Beneden-Merwede, de Noord en de Lek. Een doorbraak langs de Lek (5 ringdelen) heeft geen invloed op de kans op een doorbraak langs het door rivierafvoer gedomineerde deel van de Boven- en Beneden-Merwede (4 ringdelen) en vice versa. Er kunnen dus meervoudige doorbraken optreden (dubbele doorbraken), waarbij een doorbraak optreedt langs de Lek en een doorbraak langs de Boven- en Beneden-Merwede.

Een doorbraak langs de Lek (al dan niet in combinatie met een doorbraak op de Boven- en Beneden-Merwede) heeft geen invloed op de kans op een doorbraak in het stormopzet gedomineerde deel van dijkkring 16. De doorbraakscenario's op de rivierafvoer gedomineerde delen van de dijkkring kunnen dus gecombineerd worden met de doorbraak scenario's op het stormopzet gedomineerde deel van de dijkkring.

In totaal zijn volgens de aangehouden definitie 1919 verschillende overstromingssscenario's mogelijk voor dijkkringgebied 16. In Tabel 18 is het aantal overstromingssscenario's voor verschillende sets weergegeven.

Beschrijving scenario	Aantal scenario's
Enkelvoudige doorbraken Lek (rivier)	5
Enkelvoudige doorbraken Boven- en Beneden-Merwede (rivier)	4
Enkelvoudige doorbraken benedenrivierengebied (storm)	6
Meervoudige doorbraken benedenrivierengebied (storm)	57
Tweevoudige doorbraken Lek en Boven- en Beneden-Merwede (rivier)	20
Meervoudige doorbraken gehele dijkkring (combinatie rivier en storm)	1827
Totaal	1919

Tabel 18: Overzicht van aantal overstromingssscenario's voor dijkkring 16.

## 5.2 Scenariokansen

Voor alle mogelijke doorbraakscenario's zijn scenariokansen berekend. Uit deze scenario's is de top 50 geselecteerd, deze top 50 is aangevuld met 4 enkelvoudige scenario's die niet in de top 50 staan. Gezamenlijk hebben deze 54 scenario's een bijdrage van 92,8% aan de ringkans (Tabel 19). De scenario's met een doorbraak langs de Lek (eventueel in combinatie met een doorbraak langs de Boven- of Beneden-Merwede) dragen het meest bij aan de overstromingskans. Dit is het gevolg van de grote faalkansen zoals berekend voor de vakken in de ringdelen langs de Lek (Tabel 14).

Het meervoudige scenario met de grootste kansbijdrage aan de overstromingskans betreft het scenario met een doorbraak bij Hardinxveld-Giessendam AW015 (Beneden- en Boven-Merwede) in combinatie met een doorbraak bij Everdingen VY095 (Lek). Dit scenario heeft een kansbijdrage van 1,4%.

Beschrijving scenario	Bijdrage aan de overstromingskans
Enkelvoudige doorbraken Lek	79,4%
Enkelvoudige doorbraken rivierafvoer gedomineerd (Boven- en Beneden-Merwede)	1,2%
Enkelvoudige doorbraken stormopzetgedomineerd	2,4%
Totaal Enkelvoudige doorbraken	83,0%
Meervoudige doorbraken zonder ringdeel langs de Lek	0,0%
Meervoudige doorbraken met minimaal 1 ringdeel langs de Lek	9,8%
Totaal Meervoudige doorbraken	9,8%
Alle doorbraakscenario's met minimaal 1 ringdeel langs de Lek	$79,4 + 9,8 = 89,2\%$
Alle doorbraakscenario's zonder ringdeel langs de Lek	3,6%
Som van alle scenariokansen (top54)	92,8%
Restant	7,2%
TOTAAL	100%

Tabel 19: Overzicht van bijdrage overstromingsscenario's aan de overstromingskans voor dijkkringgebied 16.

Uit Tabel 19 blijkt dat som van alle scenariokansen niet gelijk is aan de ringkans. Deze afwijking van circa 7,2% wordt enerzijds veroorzaakt doordat niet alle scenario's zijn meegenomen in de optelling (top54) en anderzijds door afrondingen tijdens het rekenproces. Deze restkans wordt meegenomen in het berekenen van het overstromingsrisico door deze te koppelen aan het overstromingsscenario met het maximale gevolg (paragraaf 4.2.17). Doordat de gevolgen van het maximale scenario in dezelfde orde-grootte zijn als de gevolgen van de overige scenario's, wordt het risicobeeld van dijk-ring 16 niet gedomineerd door de koppeling met het maximale scenario.

---

## 6 Overstromingsrisico

In het project VNK2 worden kansen en gevolgen (economische schade en slachtoffers) van een overstroming berekend per dijkkringgebied. De kansen op en de gevolgen van de mogelijke overstromingsscenario's bepalen samen het overstromingsrisico. Dit overstromingsrisico wordt beschreven in de vorm van diverse risicomaten. In dit hoofdstuk worden de berekening van het overstromingsrisico en de risicomaten voor dijkkringgebied 16 beschreven en geanalyseerd.

### 6.1 Aanpak berekening overstromingsrisico

Het risico is berekend door de kansen op en de gevolgen van de overstromingsscenario's zoals gedefinieerd in hoofdstuk 5, te combineren. Bij de selectie van de overstromingsberekeningen is steeds gekeken naar de belastingcondities waarbij het optreden van de verschillende scenario's het meest waarschijnlijk is. Als een scenario naar verwachting pas optreedt bij een zeer hoge waterstand, is uitgegaan van een overstromingsberekening die hoort bij deze extreme waterstand.

De waarden van de belastingvariabelen in het ontwerp punt zijn gebruikt om de koppeling met de gevolgen van de gedefinieerde overstromingsscenario's te maken. Het ontwerp punt beschrijft de meest waarschijnlijke waarden van de stochasten waarbij het overstromingsscenario optreedt. Er is sprake van een combinatie van variabelen die leidt tot de waterstand in het ontwerp punt (waterstand Maasmond en afvoer Lobith). Per ringdeel is bepaald welke variabelen de grootste invloed hebben op de waterstand in het ontwerp punt. Op basis hiervan zijn per ringdeel de belastingvariabelen geprioriteerd. Voor elk ontwerp punt is de gevolg berekening geselecteerd die hoort bij de eerstvolgende, ongunstigere belastingvariabele met de hoogste prioriteit.

Deze aanpak is niet per definitie conservatief. Idealiter wordt voor de gevolgen van een overstromingsscenario immers uitgegaan van de verwachtingswaarde van de gevolgen gegeven overstroming en niet van de meest waarschijnlijke gevolgen bij een overstroming. Indien het ontwerp punt van de lokale waterstand steeds exact gelijk zou zijn aan het peil waarbij de overstromingsberekening is uitgevoerd, dan zou het overstromingsrisico worden onderschat. Hetzelfde overstromingsscenario kan immers ook optreden bij ongunstigere (maar minder waarschijnlijke) omstandigheden.

De overstromingssommen voor de scenario's met een meervoudige doorbraak worden samengesteld uit de overstromingssommen voor de scenario's met een enkelvoudige doorbraak. Bij het samenstellen wordt gebruik gemaakt van het maximaal scenario. De waterdieptes bij de meervoudige doorbraakscenario's mogen nergens groter zijn dan bij dit worst case scenario.

Voor een uitgebreide beschrijving van de koppeling tussen de scenariokansen en de gevolgen en voor een overzicht van samenstelling van de scenario's met een dubbele doorbraak wordt verwezen naar het bij dit rapport behorende achtergrondrapport [2].

### 6.2 Overstromingsrisico

Het overstromingsrisico kan worden uitgedrukt in diverse risicomaten, zoals de verwachtingswaarde van de economische schade, de schadefunctie (FS-curve), de verwachtingswaarde van het aantal dodelijke slachtoffers, het plaatsgebonden risico (PR), het lokaal individueel risico (LIR) en het groepsrisico (FN-curve). In deze paragraaf worden deze risicomaten voor dijkkringgebied 16 beschreven en geanalyseerd.

### 6.2.1 Economisch risico

De berekende verwachtingswaarde van de economische schade is 166,4 miljoen euro per jaar. In dijkkringgebied 16 wonen circa 220.000 mensen [4][27]. Per inwoner is de verwachtingswaarde van de economische schade dus gemiddeld 760 euro per jaar. In Tabel 20 zijn de 10 overstromingsscenario's met de grootste bijdrage aan het economisch risico weergegeven, voor een nadere specificatie van de gevolgen per scenario wordt verwezen naar het achtergrondrapport [2].

Uit Tabel 20 blijkt dat het overstromingsscenario 1 (falend ringdeel Everdingen VY095) een bijdrage heeft van 23,3% aan het totale economisch risico. Dit is een gevolg van de grote kans op voorkomen van dit scenario (van 26,0%) en de relatief grote gevolgen bij dit doorbraakscenario (zie ook hoofdstukken 4 en 5 en Bijlage E). In totaal dragen de enkelvoudige overstromingsscenario's langs de Lek voor 69,0% bij aan het economische risico. Daarnaast staan er nog drie scenario's met meervoudige doorbraken in de top 10 waarbij in ieder geval één van de doorbraken langs de Lek plaatsvindt. Er staat 1 scenario in de top 10 waarbij helemaal geen doorbraak langs de Lek plaatsvindt, dit betreft het scenario met een doorbraak bij Hardinxveld-Giessendam, met een bijdrage aan het economisch risico van 1,5%.

Overstromingsscenario (falende ringdelen)	Scenario kans (per jaar)	Kans bijdrage	Cumulatieve kansbijdrage	Economisch risico (M€ / jaar)	Bijdrage economisch risico	Cumulatief economisch risico
Everdingen VY095	1/220	26,0%	26,0%	38,7	23,3%	23,3%
Ameide AW296	1/250	23,3%	49,3%	38,5	23,1%	46,4%
Vianen VY040	1/690	8,5%	57,8%	17,2	10,3%	56,7%
Vianen VY062	1/330	17,5%	75,4%	12,8	7,7%	64,4%
Casa Novum AW217	1/1.500	4,0%	79,4%	7,6	4,6%	69,0%
Everdingen VY095, Hardinxveld Giessendam AW015	1/4.300	1,4%	80,8%	5,1	3,0%	72,0%
Everdingen VY095, Hardinxveld Giessendam AW003	1/5.400	1,1%	81,9%	3,7	2,2%	74,2%
Hardinxveld Giessendam AW015	1/5.500	1,1%	82,9%	2,5	1,5%	75,7%
Vianen VY062, Hardinxveld Giessendam AW015	1/7.800	0,8%	83,7%	2,2	1,4%	77,1%
Overige (verschillende ringdelen)	1/640	9,1%	92,8%	16,7	10,0%	87,1%
Restant	1/810	7,2%	100,0%	21,4	12,9%	100,0%
Totaal	>1/100	100,0%		166,4	100,0%	

Tabel 20: Scenario-kansen en economisch risico (top10) voor dijkkring 16.

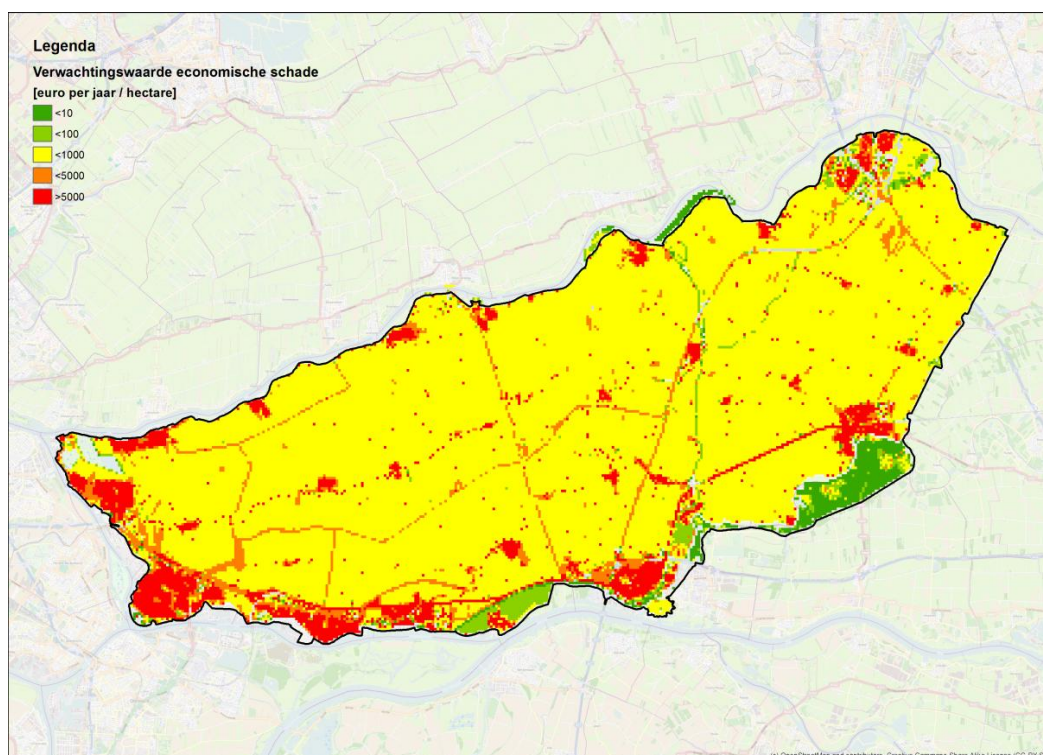
Uit Tabel 20 en Tabel 21 blijkt dat het economisch risico gedomineerd wordt door de doorbraakscenario's waarin de bovenstreams gelegen ringdelen langs de Lek aanwezig zijn. Een overstroming als gevolg van een doorbraak in het stormopzet gedomineerde deel van de dijkkring heeft minder ernstige gevolgen en is bovendien minder waarschijnlijk (zoals volgt uit de berekende faalkansen en scenariokansen). De scenario's waarin de ringdelen langs de Boven- en Beneden-Merwede falen hebben een relatief kleine kansbijdrage en daardoor een kleine bijdrage aan het economisch risico van dijkkringgebied 16, ondanks de aanzienlijke gevolgen van een overstroming in deze laatstgenoemde ringdelen.

Belastingstelsysteem	Scenario kans (per jaar)	Kans bijdrage	Economisch risico (M€ / jaar)	Bijdrage economisch risico
Rivierafvoergedomineerd deel Lek (enkelvoudig)	>1/100	79,4%	114,7	69,0%
Rivierafvoergedomineerd deel Boven- en Beneden-Merwede (enkelvoudig)	1/5.100	1,2%	2,7	1,6%
Rivierafvoergedomineerd (meervoudige doorbraken)	1/1.200	4,7%	13,5	8,1%
Stormopzetgedomineerd (enkelvoudige doorbraken)	1/3.200	1,8%	1,3	0,8%
Stormopzet en rivierafvoer gedomineerd	1/1.000	5,7%	12,7	7,6%
Restant	1/810	7,2%	21,5	12,9%
Totaal	>1/100	100,0%	166,4	100,0%

Tabel 21: Bijdrage van de belastingssystemen aan overstromingskans en economisch risico.

#### Ruimtelijke verdeling verwachtingswaarde economische schade

In Figuur 50 is de verdeling van de verwachtingswaarde van de totale economische schade over het dijkkringgebied weergegeven. De verwachtingswaarde van de totale economische schade is het grootst in bebouwd gebied. De verwachtingswaarde kan hier oplopen tot ruim boven de € 5.000 per jaar per hectare. Voor het overige deel van het dijkkringgebied geldt dat de verwachtingswaarde van de schade maximaal € 1.000 per jaar per hectare bedraagt. Dit betreft voornamelijk landelijk gebied.



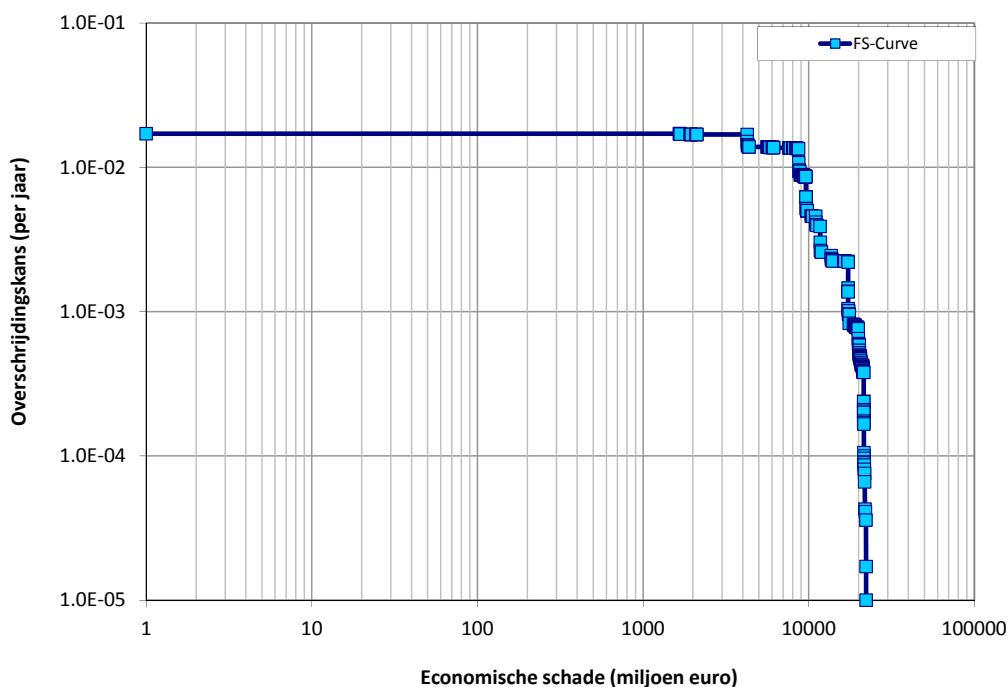
Figuur 50: Verwachtingswaarde van de economische schade per hectare per jaar.

Ten zuiden van Leerdam ligt een gebied met een lage verwachtingswaarde van het economische risico. Dit komt doordat dit gebied alleen overstroomt bij een overstroming vanuit het ringdeel Linge Sluis. Doordat de kans op een overstroming vanuit dit ringdeel klein is, resulteert dit ook in een lage verwachtingswaarde van het econo-

misch risico. Hierbij wordt opgemerkt dat er niet is gekeken naar een doorbraak van de Diefdijk (categorie c-kering). Voor dit gebied kan een doorbraak van de Diefdijk leiden tot een sterke verhoging van het economische risico. Ook nabij Boven-Hardinxveld is het risico lager. Dit komt door de compartimenterende werking van de A15 en de kanaaldijken van het Kanaal van Steenenhoek. Door deze compartimentering overstroomt het gebied bij doorbraken langs de Lek en de Noord niet, wat resulteert in een lager economisch risico.

#### Schadefunctie

Voor dijkkringgebied 16 is tevens een schadefunctie bepaald. Deze schadefunctie geeft de kans per jaar dat een overstroming van het dijkkringgebied een bepaald schadebedrag veroorzaakt. De schadefunctie wordt gepresenteerd in een FS-curve. In Figuur 51 zijn de kansen op overschrijding van bepaalde schadebedragen getoond voor dijkkringgebied 16. Elk punt in de curve geeft aan wat de kans is dat een bepaald schadebedrag wordt bereikt of overschreden.



Figuur 51: FS-curve dijkkringgebied 16.

Uit de curve blijkt dat de minimale schade ongeveer gelijk is aan 1,6 miljard euro, de kans hierop is >1/100 per jaar, zie Figuur 51 en Tabel 22. De maximale schade die kan optreden is ongeveer gelijk aan 22,0 miljard euro, de kans hierop is circa 1/24.000 per jaar. In dit geval is vrijwel het hele dijkkringgebied overstroomd. In Tabel 22 zijn ter illustratie enkele kenmerkende punten uit Figuur 51 opgenomen.

Schade [miljoen euro]	Kans [per jaar]
100	>1/100
1.000	>1/100
10.000	1/200
20.000	1/1.600
>20.000	1/24.000

Tabel 22: Kans op economische schade in dijkkringgebied 16.

## 6.2.2 Slachtofferrisico

De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is 11,7 slachtoffers per jaar. Ter vergelijking, op basis van landelijke statistieken verschaald naar dijkkringgebied 16, vallen per jaar ongeveer 11 doden als gevolg van verkeersongevallen [30] en ongeveer 250 doden als direct gevolg van roken [31] in dijkkringgebied 16.

In Tabel 23 zijn de bijdragen van de gedefinieerde scenario's aan het slachtofferrisico weergegeven. Uit de tabel blijkt dat de top10 gedomineerd wordt door scenario's met in ieder geval één doorbraak langs de Lek. Deze scenario's in de top10 hebben samen een bijdrage van 60,4% aan het slachtofferrisico en 77,7% aan de overstromingskans.

Overstromingsscenario (falende ringdelen)	Scenario kans (per jaar)	Kans bijdrage	Cumulatieve kansbijdrage	Slachtoffer risico (aantal/jr)	Bijdrage slachtoffer risico	Cumulatief slachtoffer risico
Ameide AW296	1/250	23,3%	23,3%	1,19	10,1%	10,1%
Everdingen VY095	1/220	26,0%	49,3%	1,11	9,4%	19,5%
Vianen VY062	1/330	17,5%	66,9%	0,97	8,3%	27,8%
Kinderdijk AW144, Everdingen VY095, Hardinxveld Giessendam AW003	1/16.000	0,4%	67,3%	0,91	7,8%	35,6%
Kinderdijk AW144, Everdingen VY095, Hardinxveld Giessendam AW015	1/23.000	0,2%	67,5%	0,80	6,8%	42,4%
Everdingen VY095, Hardinxveld Giessendam AW015	1/4.300	1,4%	68,9%	0,80	6,8%	49,2%
Kinderdijk AW144, Vianen VY062, Hardinxveld Giessendam AW015	1/30.000	0,2%	69,1%	0,49	4,2%	53,4%
Vianen VY040	1/690	8,5%	77,6%	0,48	4,2%	57,6%
Kinderdijk AW144, Vianen VY040, Hardinxveld Giessendam AW015	1/46.000	0,1%	77,7%	0,33	2,8%	60,4%
Overige (verschillende ringdelen)	1/380	15,2%	92,8%	4,03	34,5%	94,9%
Restant	1/810	7,2%	100,0%	0,60	5,1%	100,0%
Totaal	>1/100	100,0%		11,7	100,0%	

Tabel 23: Scenario-kansen en slachtofferrisico's (top10) voor dijkkring 16.

De vijf enkelvoudige doorbraakscenario's langs de Lek hebben een bijdrage van 34,7% aan het totale slachtofferrisico, waarvan vier scenario's in de top10 (Tabel 24). Het beeld voor het slachtofferrisico wijkt hiermee af van het beeld voor het economisch risico, waaraan de enkelvoudige doorbraakscenario's langs de Lek een bijdrage hebben van 68,1%. Voor het economisch risico is met name de resulterende waterstand van belang, deze is voor dijkkring 16 voornamelijk afhankelijk van de locatie van de doorbraak. De dijkkring loopt vrijwel helemaal vol na een dijkdoorbraak, de locatie bepaald tot welke waterstand de dijkkring volloopt. Het slachtofferrisico wordt sterk bepaald door de stijgsnelheid van het water. Een doorbraak langs de Lek zorgt weliswaar lokaal voor hoge stijgsnelheden, de bevolkingsconcentraties liggen echter voornamelijk langs de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede. Daardoor is de bijdrage van de ringdelen langs de Lek aan het slachtofferrisico relatief beperkt. Daarnaast spelen de mogelijkheden tot evacuatie een rol. Bij een doorbraak als gevolg van waterstanden veroorzaakt door een storm is er minder tijd om te evacueren en worden minder mensen geëvacueerd. Daarentegen overstroomt een minder groot deel van het dijkkringgebied.

Bij een doorbraak in meerdere ringdelen, waarvan de maatgevende waterstanden van minimaal 1 ringdeel stormopzet gedomineerd zijn en van minimaal 1 ander ringdeel rivierafvoer gedomineerd zijn, is op basis van het overstromingsbeeld (hoofdstuk 4) bepaald welke evacuatiefracties en conditionele kansen gebruikt worden. Als het overstromingsbeeld van een doorbraak in het ringdeel dat stormopzet gedomineerd is laat zien dat het grootste deel van de dijkkring overstroomt, is ervoor gekozen om uit te gaan van de evacuatiescenario's die horen bij een overstroming veroorzaakt door stormopzet. Verhoogde waterstanden als gevolg van een storm zijn immers kort van te voren te voorspellen. Dit is de reden dat de meervoudige overstromingsscenario's met falend ringdelen Kinderdijk AW144 in de top10 een grote kansbijdrage aan het slachtofferrisico hebben, ondanks dat deze scenario's een kleine scenariokans hebben.

Belastingstelsel	Economisch risico (M€ / jaar)	Bijdrage economisch risico	Slachtoffer risico (aantal/jr)	Bijdrage slachtoffer risico
Rivierafvoer gedomineerd deel Lek (enkelvoudig)	114,7	69,0%	4,1	34,7%
Rivierafvoer gedomineerd deel Boven- en Beneden-Merwede (enkelvoudig)	2,7	1,6%	0,3	2,8%
Rivierafvoer gedomineerd (meervoudige doorbraken)	13,5	8,1%	2,3	19,4%
Stormopzet gedomineerd (enkelvoudige doorbraken)	1,3	0,8%	0,3	2,6%
Stormopzet en rivierafvoer gedomineerd	12,7	7,6%	4,1	35,4%
Restant	21,5	12,9%	0,6	5,1%
Totaal	166,4	100,0%	11,7	100,0%

Tabel 24: Bijdrage van de belastingssystemen aan het economisch en slachtofferrisico.

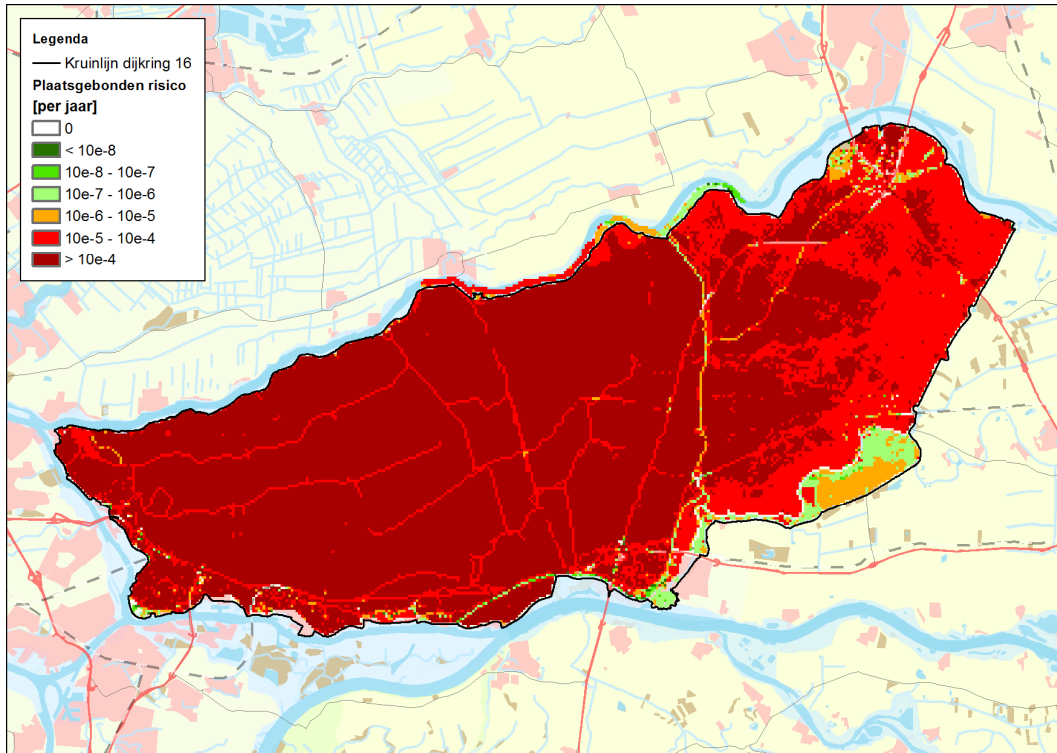
#### Plaatsgebonden risico

Figuur 52 geeft het plaatsgebonden risico (PR) voor dijkkringgebied 16 weer. Het PR is de kans dat een onbeschermd persoon die zich gedurende een jaar continu op dezelfde plek bevindt, daar het slachtoffer wordt van een overstroming.

Het plaatsgebonden risico wordt bepaald door de scenariokansen en de waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid die bij een overstroming op de betreffende plek kunnen ontstaan. Bij het bepalen van het plaatsgebonden risico wordt evacuatie buiten beschouwing gelaten. In tegenstelling tot de verwachtingswaarde van het totaal aantal dodelijke slachtoffers is het plaatsgebonden risico onafhankelijk van de aanwezige bevolking.

Uit Figuur 52 blijkt dat het plaatsgebonden risico in het hele dijkkringgebied relatief hoog is (groter dan 1/10.000 per jaar). Alleen in het bovenstroomse deel van het dijk-ringgebied is het risico lager (maar voor het grootste deel nog wel veelal groter dan 1/100.000 per jaar). De waterdiepte is hier minder groot vanwege de relatief hoge ligging van het gebied. In de laag gelegen gebieden in het westen worden grote waterdiepten berekend na een dijkdoorbraak. Dit komt tot uitdrukking in het berekende PR in deze delen van het dijkkringgebied. In de omgeving van de kernen Asperen en Heukelum (in het zuidoosten van de dijkkring) is het plaatsgebonden risico klein. Hierbij wordt opgemerkt dat het niet meenemen van de Diefdijk (categorie c-kering) voor dit gebied een mogelijk vertekend beeld van het risico geeft.

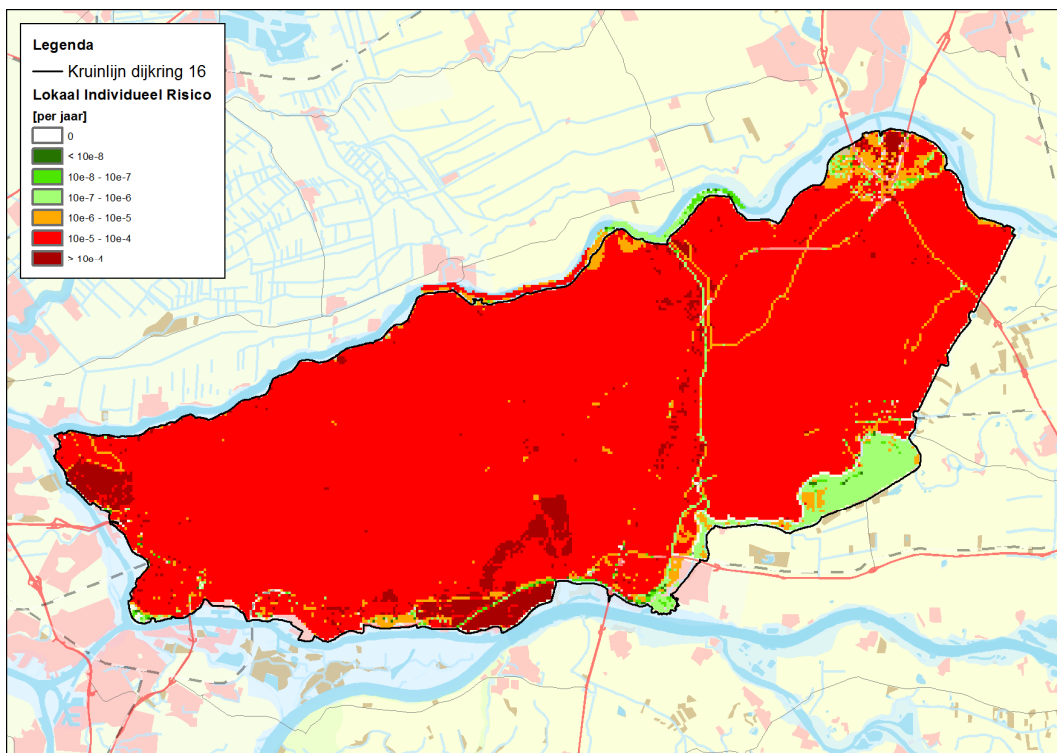




Figuur 52: Het plaatsgebonden risico (PR) in dijkringgebied 16.

#### Lokaal individueel risico

Het lokaal individueel risico is de kans per jaar dat een persoon die zich permanent op een bepaalde plaats in het dijkringgebied bevindt, overlijdt als gevolg van een overstroming van dit dijkringgebied, waarbij de mogelijkheden voor preventieve evacuatie zijn meegenomen. Het lokaal individueel risico is vrijwel overal groter dan 1/100.000 per jaar (Figuur 53).

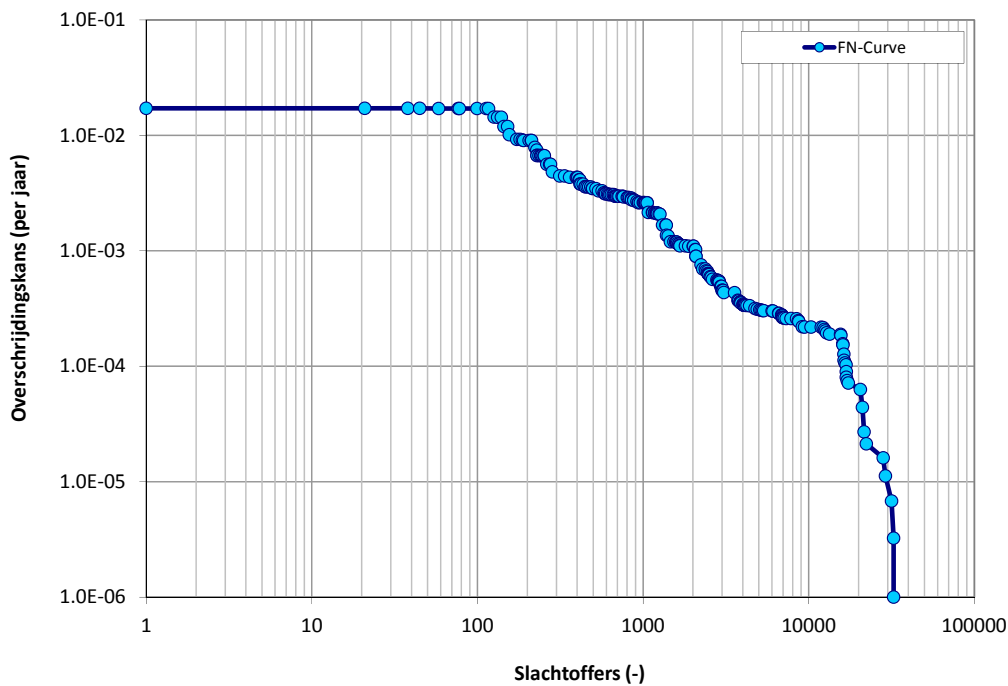


Figuur 53: Het lokaal individueel risico (LIR) in dijkringgebied 16.

Over het algemeen geldt dat het risico in het westen van de dijkkring hoger is dan in het oosten, doordat in het westen de waterdiepte bij een overstroming groter is. Net zoals voor het plaatsgebonden risico geldt, is alleen in de omgeving van de kernen Asperen en Heukelum (zuidoosten dijkkring) het lokaal individueel risico laag. Het niet meenemen van de Diefdijk geeft voor dit gebied een mogelijk vertekend beeld van het werkelijke risico. Ook het hoge lokale individuele risico bij Boven-Hardinxveld valt op. Door de compartimenterende werking van de kanaaldijken resulteert een doorbraak in de nabijgelegen ringdelen lokaal in grote stijghoogte snelheden wat vervolgens weer resulteert in een hoog lokaal individueel risico.

#### Groepsrisico

Voor dijkkringgebied 16 is tevens het groepsrisico bepaald. Het groepsrisico geeft de kans op een ongeval, in dit geval een overstroming, met N of meer slachtoffers. In de berekening van het groepsrisico is dus effect van evacuatie meegenomen. Het groepsrisico wordt weergegeven in een FN-curve. In de FN-curve in Figuur 54 zijn de kansen op overschrijding van bepaalde slachtofferaantallen getoond voor dijkkringgebied 16. De punten in de FN-curve zijn de gedefinieerde doorbraakscenario's, uitgesplitst per evacuatie-deelscenario (evacuatie, geen evacuatie, etc.). In de risicoberekening van dijkkring 16 zijn in totaal 54 doorbraakscenario's gedefinieerd met per doorbraakscenario 4 evacuatie-deelscenario's. Elk punt in de curve geeft aan wat de kans is dat een bepaald slachtofferaantal zal worden bereikt of overschreden.



Figuur 54: FN-curve dijkkringgebied 16.

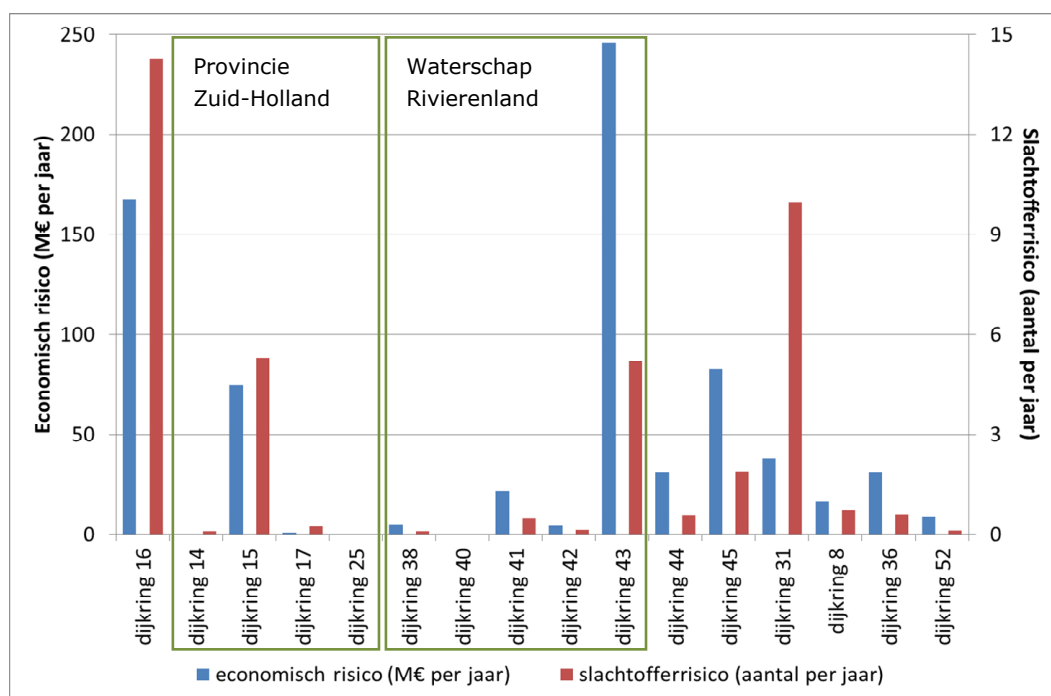
Slachtoffers [aantal]	Kans [per jaar]
10	>1/100
100	>1/100
1.000	1/380
10.000	1/4.500
>30.000	1/90.000

Tabel 25: Kans op slachtoffers in dijkkringgebied 16.

Uit de FN-curve (samengevat in Tabel 25) blijkt dat het minimum aantal slachtoffers gelijk is aan 21, de kans hierop is de overstromingskans van de dijkkring (>1/100 per jaar). In het ernstigste geval vallen meer dan 30.000 slachtoffers, de kans hierop is echter klein (1/90.000 per jaar).

### 6.3 Berekende overstromingsrisico's in perspectief

De in dit hoofdstuk gepresenteerde overstromingsrisico's krijgen betekenis wanneer deze worden gepresenteerd in relatie tot de berekende overstromingsrisico's voor andere dijkkringen. Daartoe zijn in Figuur 55 naast het berekend economisch en slachtofferrisico voor dijkkring 16 tevens de risico's gepresenteerd voor een selectie van dijkkringen binnen het beheersgebied van waterschap Rivierenland, de provincie Zuid-Holland en enkele andere dijkkringen in Nederland. In de figuur is ook het risico voor dijkkring 43 weergegeven. Samen met dijkkring 43 vormt dijkkring 16 het hart van het rivierengebied gelegen tussen de Waal en de Nederrijn/Lek en van elkaar gescheiden door de Diefdijk. Deze overstromingsrisico's zijn samen met de overstromingskansen voor de selectie van dijkkringen weergegeven in Tabel 54 in Bijlage J. Hierbij wordt opgemerkt dat nog niet voor alle dijkkringen de risicoanalyse is uitgevoerd (peildatum februari 2014).



Figuur 55: Economisch risico en slachtofferrisico voor selectie van dijkkringen.

Uit Figuur 55 blijkt dat de berekende risico's voor dijkkring 16 relatief hoog zijn ten opzichte van de risico's berekend voor de overige gepresenteerde dijkkringen. Dit hoge risico hangt samen met de relatief grote faalkansen berekend voor dijkkring 16 (hoofdstuk 3), de ligging van de stedelijke gebieden in het dijkkringgebied direct achter de waterkering waardoor hoge slachtofferaantallen worden berekend bij een dijkdoorbraak en de grote waterdieptes die ontstaan in het dijkkringgebied na een dijkdoorbraak waardoor de economische schade groot is (hoofdstuk 4).

In de figuur is tevens het berekende risico voor dijkkring 14 (Centraal Holland) weergegeven. Het beeld leeft dat deze dijkkring hoge overstromingsrisico's kent. Uit de gepresenteerde resultaten blijkt dat de dijkkringen in het rivierengebied echter een substantieel hoger risico kennen, waarbij met name voor dijkkring 16, dijkkring 15 (Lopiker- en Krimpenerwaard), dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) en dijkkring 45 (Gelderse Vallei) een hoog risico is berekend.



---

## 7 Gevoeligheidsanalyses

In dit hoofdstuk worden de gevoeligheidsanalyses voor dijkkring 16 gepresenteerd. Deze analyses geven inzicht in de gevoeligheid van de berekeningsresultaten gepresenteerd in de voorgaande hoofdstukken voor diverse aannamen en uitgangspunten.

### 7.1 Selectie van gevoeligheidsanalyses

In de geselecteerde gevoeligheidsanalyses is onderscheid gemaakt tussen het bepalen van het effect van maatregelen gericht op het vergroten van het veiligheidsniveau van de dijkkring enerzijds, en het effect van aannamen gedaan tijdens de risicoanalyse op de berekeningsresultaten anderzijds. Deze verschillende typen gevoeligheidsanalyses zijn in onderstaande paragrafen nader toegelicht.

#### 7.1.1 Analyses naar het veiligheidsniveau van dijkkring 16

Het veiligheidsniveau van de dijkkring kan worden vergroot door het uitvoeren van waterstandverlagende en dijkversterkende maatregelen of een combinatie van beiden. Om inzicht te krijgen in welke maatregelen effect sorteren voor het verhogen van het veiligheidsniveau van de dijkkring zijn de volgende analyses uitgewerkt. Het uitgangspunt voor deze analyses zijn de resultaten gepresenteerd in de voorgaande hoofdstukken waarin maatregelen in het kader van het HWBP2 reeds zijn meegenomen.

##### 1. Veiligheidsniveau na waterstandverlagende maatregelen

Deze analyse geeft antwoord op de vraag of de waterstandverlaging, die het gevolg is van de rivierverruimende maatregelen in het kader van het project Ruimte voor de Rivier, de dijkkring op een substantieel hoger veiligheidsniveau brengt. Daartoe zijn de effecten van de voorziene waterstanddaling, conform de taakstelling van het project Ruimte voor de Rivier, op de overstromingskans en het overstromingsrisico bepaald. Deze analyse is verder uitgewerkt in paragraaf 7.2. De situatie na afronding van het project Ruimte voor de Rivier en na afronding van het HWBP2 vormt tevens de referentiesituatie voor de overige analyses, omdat dit project reeds in gang is gezet en op relatief korte termijn (verwachting 2016) zal worden afgerond.

##### 2. Veiligheidsniveau na dijkversterkende maatregelen

Deze analyses geven antwoord op de vraag welke inspanning nodig is om de dijkkring na uitvoering van het project Ruimte voor de Rivier op een substantieel hoger veiligheidsniveau te brengen. Daartoe wordt stapsgewijs beoordeeld welke delen van de waterkering van dijkkring 16 verbeterd moeten worden. De maatregelen hebben betrekking op zowel aanpassing van de 10 dijkvakken die als meest zwak zijn geïdentificeerd<sup>9</sup>, als ook op verdere aanpassing van de dijken om te voldoen aan strengere veiligheidsnormen. Hierbij worden de volgende situaties beoordeeld, die verder zijn uitgewerkt in paragraaf 7.3:

###### a. Stapsgewijze verbetering van de 10 zwakste dijkvakken:

Bij elke verbetering wordt steeds de faalkans voor één van de 10 dijkvakken die als meest zwak zijn geïdentificeerd tot een verwaarloosbare waarde teruggebracht. De volgorde van de verbeteringen is dusdanig dat de overstromingskans met zo min mogelijk maatregelen zo veel mogelijk wordt gereduceerd. Dit is een efficiënte strategie zolang geen grote verschillen bestaan tussen de kosten van versterkingen op verschillende locaties.

###### b. Overstromingskans = overschrijdingskansnorm (1/2.000 per jaar):

Om te voldoen aan de veiligheidsnorm *overstromingskans is overschrijdingskansnorm (1/2.000 per jaar)* zullen delen van de waterkeringen van dijkkring 16 moeten

---

<sup>9</sup>De binnen VNK2 als meest zwak beoordeelde vakken vallen overigens niet persé samen met de officiële versterkingsopgave van het *n*HWBP. De opgave van het *n*HWBP volgt uit de resultaten van de derde wettelijke toetsronde (2006-2011).

---

worden aangepast. Deze analyse geeft inzicht in welke inspanning nodig is om het gewenste veiligheidsniveau te bereiken.

- c. *Overstromingskans = optimale kans conform MKBA WV21 (1/4.000 per jaar):*  
Om te voldoen aan de veiligheidsnorm *overstromingskans = optimale kans conform MKBA (1/4.000 per jaar)* zoals bepaald in WV21 [15] zullen nog aanvullende delen van de waterkeringen van dijkkring 16 moeten worden aangepast. Deze analyse geeft inzicht in welke extra inspanning nodig is om het veiligheidsniveau nog verder te verhogen.

### 3. *Veiligheidsniveau bij voorgestelde eisen Deltaprogramma Veiligheid*

In het Deltaprogramma wordt een nieuwe normering voor de waterveiligheid ontwikkeld en uitgewerkt [38]. De huidige wettelijk verankerde overschrijdingskansnorm voor dijken wordt over enkele jaren vervangen door een overstromingskansnorm op basis van een risicobenadering, waarbij de kans op een overstroming en het gevolg van een overstroming beide in beeld komen. Het voorstel is om deze nieuwe aanpak gepaard te laten gaan met het uitgangspunt van een basisveiligheid voor iedereen die woont of werkt in een gebied dat door dijken, duinen en dammen wordt beschermd.

Voor het afleiden van de normen wordt gekeken naar drie veiligheidssituaties waarbij de maatgevende situatie wordt gebruikt voor het normeren van de trajecten. De volgende situaties worden beschouwd:

- a. *Deltaprogramma Veiligheid: Basisveiligheid LIR <math>10^{-5}</math> per jaar:*  
Lokaal Individueel Risico (LIR) in het dijkkringgebied moet kleiner zijn dan  $10^{-5}$  per jaar (basisveiligheidseis). Deze analyse geeft antwoord op de vraag welke inspanning nodig is om de dijkkring vanuit de situatie na afronding van het project Ruimte voor de Rivier en na afronding van het HWBP2 op dit veiligheidsniveau te brengen. Deze analyse is nader uitgewerkt in paragraaf 7.4;
- b. *Deltaprogramma Veiligheid: Overstromingskansnorm MKBA:*  
De normen worden gebaseerd op een Maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) waarbij de kosten van de dijkversterking worden afgewogen tegen de reductie van het overstromingsrisico. De nieuwe norm zal niet meer zoals nu per dijkkringgebied gelden, maar per dijktraject (onderdeel van een dijkkring). In het verleden werd de norm voor het beschermingsniveau van een dijkkring gebaseerd op de zwaarst mogelijke gevolgen binnen die dijkkring. Dit leidde voor sommige dijkingen tot een onevenredige verhouding tussen de gevolgen van een overstroming en de kosten van het op het gewenste beschermingsniveau brengen en houden van de waterkering. De gevolgen kunnen per dijktraject echter verschillen, waardoor ook de normen per dijktraject kunnen verschillen. Door het Deltaprogramma Veiligheid is dijkkring 16 verdeeld in 4 dijktrajecten, waarbij voor elk traject op basis van een MKBA en een basisveiligheidsanalyse (LIR-eis  $10^{-5}$  per jaar) een overstromingskansnorm is afgeleid [39]. De analyse geeft antwoord op de vraag welke inspanning nodig is om de dijktrajecten aan de nieuwe norm te laten voldoen vanuit de situatie na afronding van het project Ruimte voor de Rivier en na afronding van het HWBP2. Deze analyse is nader uitgewerkt in paragraaf 7.5;
- c. *Maatschappelijke ontwrichting (uitgedrukt als groepsrisico) waarbij de kans op grote groepen slachtoffers niet te groot mag zijn. De norm die volgt uit de maatschappelijke ontwrichting is niet nader beschouwd in dit project.*

#### 7.1.2 *Analyses naar aannamen in de risicoanalyse van dijkkring 16*

Binnen de risicoanalyse zoals gepresenteerd in de voorgaande hoofdstukken zijn uitgangspunten en aannamen gehanteerd. Voor vier van dergelijke aannamen is middels een gevoeligheidsanalyse inzichtelijk gemaakt wat het effect van een andere keuze bij deze aannamen zou zijn op de berekende overstromingskans en het overstromingsrisico in de huidige situatie. Het betreft de volgende aannamen, die verder zijn uitgewerkt in paragraaf 7.6 en 7.7:

- 
1. *Veiligheidsniveau zonder standzekerheid Diefdijk:*  
Een uitgangspunt in de in hoofdstuk 6 gepresenteerde overstromingskansen en –risico's is dat de Diefdijk, de categorie c-kering die de scheiding vormt tussen dijk-  
ringgebied 43 en dijkkringgebied 16, standzeker is. De Diefdijk maakt formeel deel  
uit van de primaire waterkeringen die de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden  
moeten beschermen tegen een overstroming. De Diefdijk beschermt dijkkringgebied  
16 daarbij specifiek tegen een overstroming vanuit dijkkringgebied 43. Vanuit die  
optiek is een kwalitatieve analyse uitgevoerd naar de bijdrage van dijkkring 43 in  
combinatie met de Diefdijk aan het overstromingsrisico van dijkkringgebied 16. De-  
ze analyse is nader uitgewerkt in paragraaf 7.6.
  2. *Erosie van de bodem van de Lek:*  
De erosie van de bodem van de Lek is een proces geïnitieerd door het aanbrengen  
van de stuwen in de Lek en leidt tot lagere maatgevende waterstanden langs de  
Lek benedenstrooms van de stuw bij Hagestein. De oorspronkelijke faalkansbere-  
keningen zijn uitgevoerd zonder de erosie van de bodem van de Lek en de daar-  
mee samenhangende waterstanddaling hierin mee te nemen. Deze analyse geeft  
inzicht in het effect van het wel meenemen van de verwachte waterstanddaling op  
de berekende kansen en risico's. Deze analyse is uitgewerkt in paragraaf 7.7.1.
  3. *Faalkans Macrostabieliteit binnenwaarts 1/100 per jaar:*  
In de berekende overstromingskans en overstromingsrisico zoals gepresenteerd in  
de voorgaande hoofdstukken zijn twee delen van de waterkering buiten beschou-  
wing gelaten waar voor het faalmechanisme *Macrostabieliteit binnenwaarts* een on-  
betrouwbaar geacht hoge faalkans is berekend (zie paragraaf 3.4.2). Deze analyse  
geeft inzicht in het effect van het wel meenemen van deze delen van de waterke-  
ring op de berekende kansen en risico's, waarbij voor beide delen van de waterke-  
ring een faalkans van 1/100 per jaar is aangenomen voor het faalmechanisme. De-  
ze analyse is nader uitgewerkt in paragraaf 7.7.2.
  4. *Effect waterstandverlaging project 'Ontpoldering Noordwaard':*  
De waterstandverlaging die het Ruimte voor de Rivier project 'Ontpoldering Noord-  
waard' realiseert op de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede is groter dan de  
formele taakstelling van het project Ruimte voor de Rivier. Deze analyse geeft in-  
zicht in het effect van deze extra waterstanddaling op de berekende kansen en  
risico's ten opzichte van de berekeningen met de formele taakstelling zoals gepre-  
senteerd in paragraaf 7.2. De analyse is nader uitgewerkt in paragraaf 7.7.3.

---

## 7.2 Veiligheidsniveau na waterstandverlagende maatregelen

Deze analyse geeft antwoord op de vraag of de waterstanddaling, die het gevolg is van de rivierverruimende maatregelen in het kader van de Planologische Kernbeslissing (PKB) Ruimte voor de Rivier [33], de dijkkring op een substantieel hoger veiligheidsniveau brengt. Daartoe worden de effecten van de voorziene waterstanddaling, conform de doelstelling van de PKB, op de overstromingskans en het overstromingsrisico bepaald. De situatie na uitvoering van de rivierverruimende maatregelen in het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier (en na afronding van het HWBP2) vormt tevens de referentiesituatie voor de overige analyses, omdat dit project reeds in gang is gezet en op relatief korte termijn (verwachting 2016) zal worden afgerond.

Het doel van de PKB Ruimte voor de Rivier is om de maatgevende waterstanden dusdanig te verlagen dat deze overeenkomen met de Hydraulische Randvoorwaarden 1996 (HR1996) [34]. De waterstanddaling die deze ingrepen veroorzaken moet ertoe leiden dat de waterstand over het hele traject wordt verlaagd tot de HR1996 waterstand. Door de ingrepen kan de waterstand lokaal onder de HR1996 komen te liggen.

### 7.2.1 Ruimte voor de Rivier projecten nabij dijkkring 16

Voor dijkkring 16 zijn vier Ruimte voor de Rivier projecten van toepassing. De eerste drie betreffen de projecten 'Ontpoldering Noordwaard', 'Uiterwaardvergraving Avelingen' en 'Ruimte voor de Lek Vianen'. Waar rivierverruiming niet mogelijk is, worden dijkverbeteringen uitgevoerd. In het kader van Ruimte voor de Rivier betreft dit het project 'Dijkverbetering Lek / Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden'. De dijkverbeteringen in het kader van Ruimte voor de Rivier zijn reeds meegenomen in de overstromingsberekeningen gepresenteerd in hoofdstuk 3. Deze hebben geen effect op de waterstanden en zijn in deze analyse dus niet beschouwd.

Het MHW effect van het project Ruimte voor de Lek Vianen is bekend, maar voor de gevoeligheidsberekeningen is uitgegaan van de globale doelstelling van de PKB Ruimte voor de Rivier om de waterstanden te verlagen tot de HR1996. Het berekende waterstandseffect is met 8 cm namelijk enkele malen kleiner dan deze doelstelling [35]. Daarnaast is het effect van de dijkverbeteringen in het kader van Ruimte voor de Rivier nog onbekend. De in rekening te brengen waterstandverlaging voor de Lek is daarom bepaald als het verschil in toetspeilen tussen de HR2006 [26] en HR1996 [34], waarbij elk dijkvak is gekoppeld aan een rivierkilometer. Voor de Lek is de waterstandverlaging per rivierkilometer weergegeven in Tabel 48 in Bijlage I.

Voor de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede zijn de projecten 'Uiterwaardvergraving Avelingen' en 'Ontpoldering Noordwaard' van belang. De uiterwaardvergraving bij Avelingen moet een waterstanddaling opleveren van 8cm bij Gorinchem [37]. De waterstanddaling die de ontpoldering van de Noordwaard realiseert op de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede is echter reeds bekend [36]. Het berekende MHW-effect van dit project is een factor 2 groter dan het verschil tussen HR2006 en HR1996 voor de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede. Ten behoeve van de consistentie in de berekeningen is voor de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede echter het verschil tussen HR2006 en HR1996 aangehouden. De waterstanddaling voor de Noord conform taakstelling is weergegeven in Tabel 49 in Bijlage I. De waterstanddaling voor de Boven- en Beneden-Merwede conform taakstelling is weergegeven in Tabel 50 in dezelfde bijlage. Het berekende waterstandseffect van de ontpoldering van de Noordwaard is in een aparte gevoeligheidsanalyse meegenomen (paragraaf 7.7.3).

Door de wijze waarop de waterstandverlaging van genoemde projecten in de berekeningen wordt meegenomen is de waterstandstatistiek niet conform de HR1996, maar wordt een verlaagde waterstandstatistiek van de TMR2006 gebruikt. Hierdoor zijn de berekeningsresultaten een indicatie van de mogelijke gevolgen van de PKB Ruimte voor de Rivier en dienen de resultaten ook als zodanig te worden beschouwd.



### 7.2.2 Overstromingskansen na Ruimte voor de Rivier maatregelen

In Tabel 26 zijn de berekende faalkansen voor de beschouwde faalmechanismen en de overstromingskansen voor dijkkring 16 weergegeven voor de huidige situatie en de situatie na uitvoering van het project Ruimte voor de Rivier. Op basis van deze tabel kan worden geconcludeerd dat een waterstandverlaging zoals bedoeld in de PKB Ruimte voor de Rivier, niet leidt tot een wezenlijk kleinere overstromingskans van de dijkkring; de overstromingskans neemt weliswaar af met een factor 1,4 maar blijft >1/100 per jaar. De verandering in overstromingskans is vooral het gevolg van een verandering van de faalkansen voor het maatgevende faalmechanisme *opbarsten en piping*. Voor dit faalmechanisme daalt de faalkans eveneens met een factor 1,4.

Type kering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)		
		Oorspronkelijk	Ruimte voor de Rivier	Reductie factor
Dijk	Overloop en golfoverslag	1/1.460	1/1.670	1,1
	Macrostabiliteit binnenwaarts	1/360	1/480	1,3
	Opbarsten en piping	>1/100	1/100	1,4
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/80.000	1/82.000	1,0
Kunstwerk	Overloop en golfoverslag	1/46.000	1/60.000	1,3
	Niet sluiten	1/10.000	1/11.000	1,1
	Onderloopsheid en achterloopsheid (piping)	<1/1.000.000	<1/1.000.000	1,0
	Constructief falen	<1/1.000.000	<1/1.000.000	1,7
Overstromingskans		>1/100	>1/100	1,4

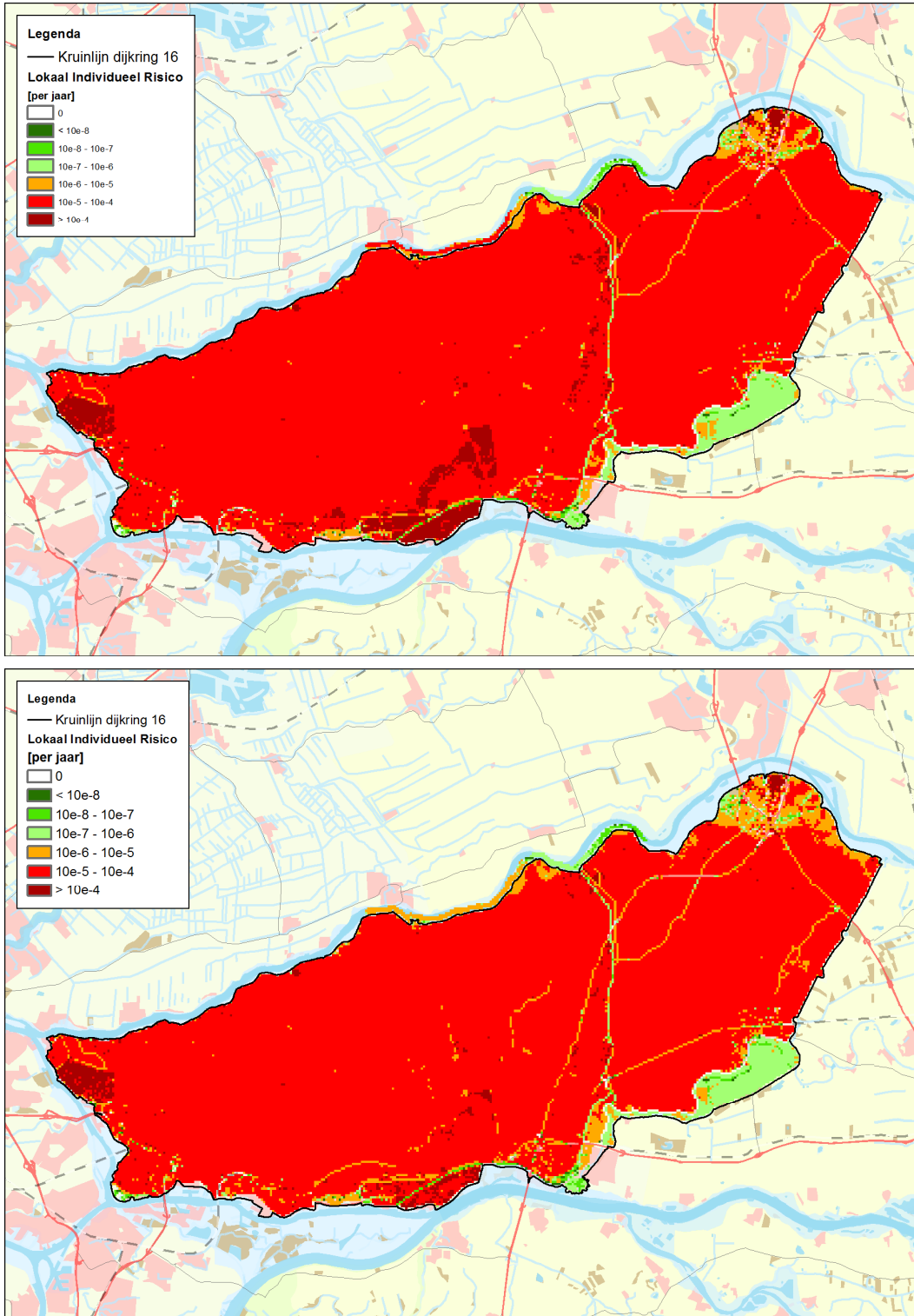
Tabel 26: Berekende faalkansen per faalmechanisme en op ringniveau de overstromingskansen.

Hoewel de Ruimte voor de Rivier maatregelen de overstromingskans met circa een factor 1,4 verkleinen blijft deze overstromingskans relatief groot. Dit is met name het gevolg van het feit dat het faalmechanisme *opbarsten en piping* maatgevend is. Voor het falen van een waterkering op het faalmechanisme *opbarsten en piping* hoeft niet noodzakelijkerwijs een hoge waterstand te worden bereikt, maar kan de waterkering ook falen bij waterstanden lager dan maatgevend hoogwater. De waterstandverlaging zoals vastgesteld in de PKB Ruimte voor de Rivier lijkt op basis van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse onvoldoende om de dijken naar een substantieel lagere overstromingskans te brengen.

### 7.2.3 Overstromingsrisico's na Ruimte voor de Rivier maatregelen

Een waterstanddaling als gevolg van de Ruimte voor de Rivier maatregelen leidt tot kleinere faalkansen voor de waterkeringen en tot een daling van het overstromingsrisico. De verwachtingswaarde van de economische schade neemt met circa 29% af van 166,4 miljoen euro per jaar naar 118,9 miljoen euro per jaar. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar neemt met circa 30% af van 11,7 naar 8,2 slachtoffers per jaar. Doordat de schade en slachtoffers voornamelijk worden bepaald door overstromingen vanuit de Lek werkt de reductie in faalkansen voor de dijkvakken langs de Lek door waterstandverlaging vrijwel één op één door in de reductie van het overstromingsrisico. In Bijlage K zijn de FN- en FS-curve voor de situatie na uitvoering van de Ruimte voor de Rivier maatregelen opgenomen. Deze curven vertonen een lichte verschuiving als gevolg van de relatief kleine afname van de overstromingskans van de dijkkring.

In Figuur 56 is het Lokaal Individueel Risico (LIR) weergegeven voor zowel de huidige situatie als de situatie na het gereedkomen van de Ruimte voor de Rivier maatregelen. In vrijwel het gehele dijkkringgebied is een lichte afname van het LIR berekend, dit is vanwege de gekozen schaal niet altijd zichtbaar. Wel is een duidelijke afname te zien van het oppervlak waar het LIR groter is dan  $10^{-4}$  per jaar (1/10.000 per jaar). Met name in het stedelijk gebied van Hardinxveld en in mindere mate Alblasterdam is een duidelijke afname waarneembaar.



Figuur 56: LIR in huidige situatie (boven) en na Ruimte voor de Rivier maatregelen (onder).

## 7.2.4 Resumé

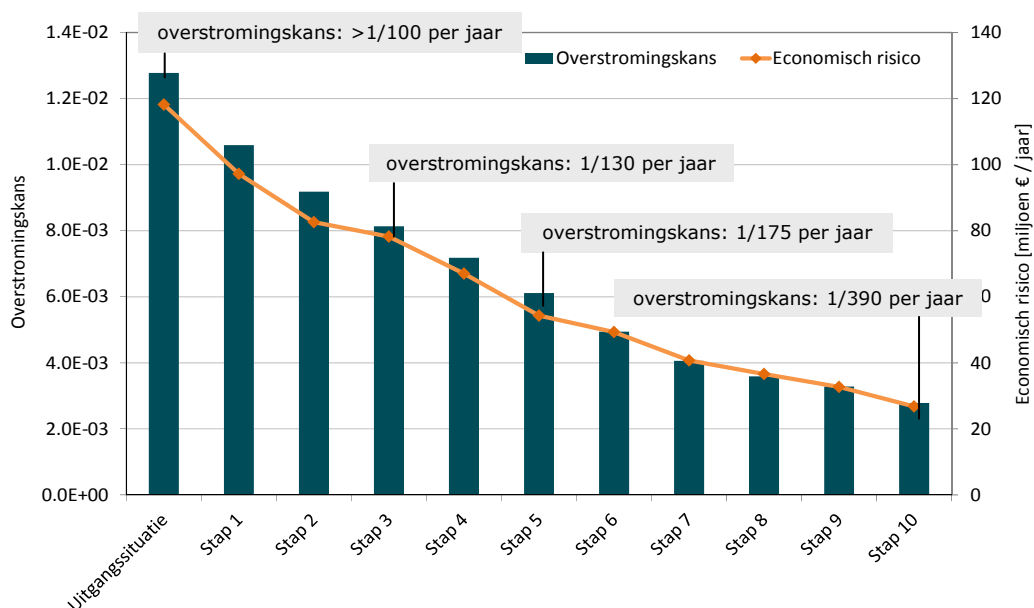
De waterstandverlaging zoals vastgesteld in de PKB Ruimte voor de Rivier lijkt op basis van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse onvoldoende om de dijken naar een substantieel lagere overstromingskans te brengen; de berekende overstromingskans wordt ondanks een afname met een factor 1,4 niet kleiner dan 1/100 per jaar. De waterstandverlaging heeft wel een substantieel effect op het berekende overstromingsrisico; de verwachtingswaarde van de economische schade en de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar nemen af met respectievelijk 29% en 30% ten opzichte van de huidige situatie. Ook in het Lokaal Individueel Risico is een substantiële afname waarneembaar in met name de stedelijke gebieden van Hardinxveld en Alblasterdam. Doordat de schade en slachtoffers voornamelijk worden bepaald door overstromingen vanuit de Lek werkt de reductie in faalkans voor de vakken langs de Lek door waterstandverlaging vrijwel één op één door in de reductie van het overstromingsrisico.

## 7.3 Veiligheidsniveau na dijkversterkende maatregelen

Deze analyses geven antwoord op de vraag welke inspanning nodig is om de dijkkring na uitvoering van het project Ruimte voor de Rivier en na afronding van het HWBP2 op een substantieel hoger veiligheidsniveau te brengen. Daartoe wordt stapsgewijs beoordeeld welke delen van de waterkering verbeterd moeten worden. De maatregelen hebben betrekking op zowel aanpassing van de 10 dijkvakken die als meest zwak zijn geïdentificeerd als ook op verdere aanpassing van de dijken om te voldoen aan strengere veiligheidsnormen. De aanpassingen betreffen ook vakken die reeds worden versterkt en als zodanig al zijn meegenomen in de overstromingskansberekening (hoofdstuk 3).

### 7.3.1 Stapsgewijze verbetering van de 10 zwakste dijkvakken

De overstromingskans van dijkkring 16 is door middel van gerichte maatregelen te verlagen. Op basis van de resultaten van de faalkansberekeningen zijn de 10 vakken en kunstwerken geselecteerd met de grootste bijdrage aan de totale overstromingskans. Voor deze 10 vakken is de faalkans tot een verwaarloosbare waarde teruggebracht. Vervolgens zijn steeds opnieuw de overstromingskans en -risico berekend. Figuur 57 toont de overstromingskans als functie van het aantal verbeteringen dat is uitgevoerd. De resultaten van deze berekeningen zijn verder weergegeven Tabel 27. Alle tien de verbeterstappen betreffen ingrepen in vakken langs de Lek (zie Figuur 88 in Bijlage K).



Figuur 57: De overstromingskans als functie van het aantal vakken waarin de faalkans voor het daar dominante faalmechanisme tot een verwaarloosbare omvang is teruggebracht.

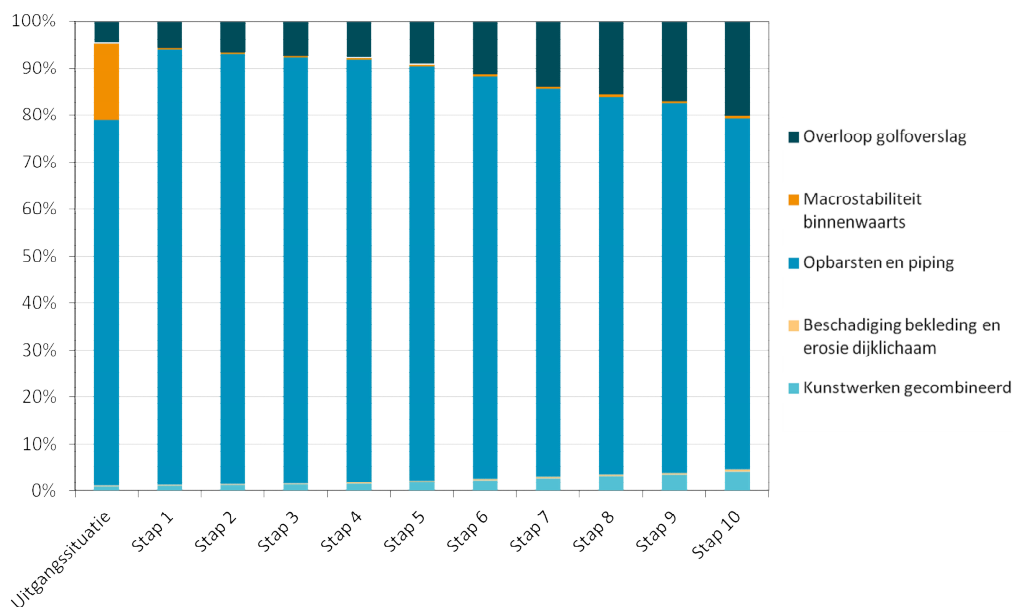
Bij elke verbetering wordt de faalkans voor een faalmechanisme in een vak tot een verwaarloosbare waarde teruggebracht. Dit betekent dat de betreffende dijkvakken dusdanig moeten worden versterkt dat de faalkans voor alle faalmechanismen verwaarloosbaar klein wordt ten opzichte van de overige dijkvakken. De volgorde van de verbeteringen is dusdanig dat de overstromingskans met zo min mogelijk maatregelen zo veel mogelijk wordt gereduceerd. Dit is een efficiënte strategie zolang geen grote verschillen bestaan tussen de kosten van versterkingen op verschillende locaties. Deze kosten worden in deze analyses niet beschouwd.

Stap	Dijkvak	Faalkans vak [per jaar]	Lengte vak [km]	Overstromingskans [per jaar]	Economisch risico [M€ / jaar]	Slachtoffer risico [aantal/jr]
0	<i>Uitgangssituatie</i> (Ruimte voor de Rivier)			>1/100	118,2	8,2
1	16.AW262.275 (Lek nabij Langerak)	1/380	2,3	1/100	97,2	7,6
2	16.VY065.072 (Lek nabij Vianen)	1/380	1,5	1/115	82,6	6,6
3	16.VY059.065 (Lek nabij Vianen)	1/490	1,3	1/130	78,2	5,5
4	16.VY044.052 (Lek tussen Lexmond en Vianen)	1/560	2,0	1/150	67,0	5,0
5	16.VY017.023 (Lek tussen Ameide en Lexmond)	1/620	1,2	1/175	54,3	4,5
6	16.VY052.059 (Lek nabij Vianen)	1/630	1,8	1/215	49,3	4,0
7	16.VY084.092 (Lek nabij Everdingen)	1/830	1,6	1/265	40,7	3,2
8	16.VY076.084 (Lek nabij Hagestein)	1/1.500	1,4	1/300	36,6	3,0
9	16.AW279.289 (Lek tussen Lagerak en Ameide)	1/1.800	2,1	1/330	32,7	2,9
10	16.AW218.227 (Lek tussen Streefkerk en Groot-Ammers)	1/1.800	1,6	1/390	26,8	2,7

Tabel 27: Overstromingskans en overstromingsrisico na 10 gerichte ingrepen in dijkkring 16.

De lengte van de tien te verbeteren dijkvakken is 16,8 km op een totale lengte van de categorie a-kering van de dijkkring van 86 km. Voor 9 van de 10 vakken is het maatgevende faalmechanisme *opbarsten en piping*. Van het overige vak is het maatgevende faalmechanisme *macrostabiliteit binnenwaarts*. Dit betreft tevens wel het meest maatgevende vak. Door het verbeteren van deze 10 vakken (en na afronding van de waterstandverlagende Ruimte voor de Rivier maatregelen) neemt de overstromingskans af van >1/100 per jaar naar 1/390 per jaar (Figuur 57). De verwachtingswaarde van het economisch risico daalt na deze ingrepen van 118,2 naar 26,8 miljoen euro per jaar. Het slachtofferrisico (niet in Figuur 57) daalt van 8,2 naar 2,7 slachtoffers per jaar.

In Figuur 58 is de procentuele bijdrage van de faalmechanismen aan de overstromingskans per verbeterstap weergegeven. In de uitgangssituatie (na afronding Ruimte voor de Rivier maatregelen) wordt de overstromingskans voor circa 78% verklaard door het faalmechanisme *opbarsten en piping*. De faalmechanismen *macrostabiliteit binnenwaarts* en *overloop en golfoverslag* dragen respectievelijk 16% en 5% bij aan de overstromingskans. De overige faalmechanismen (dijken en kunstwerken) dragen voor circa 1% bij aan de overstromingskans.



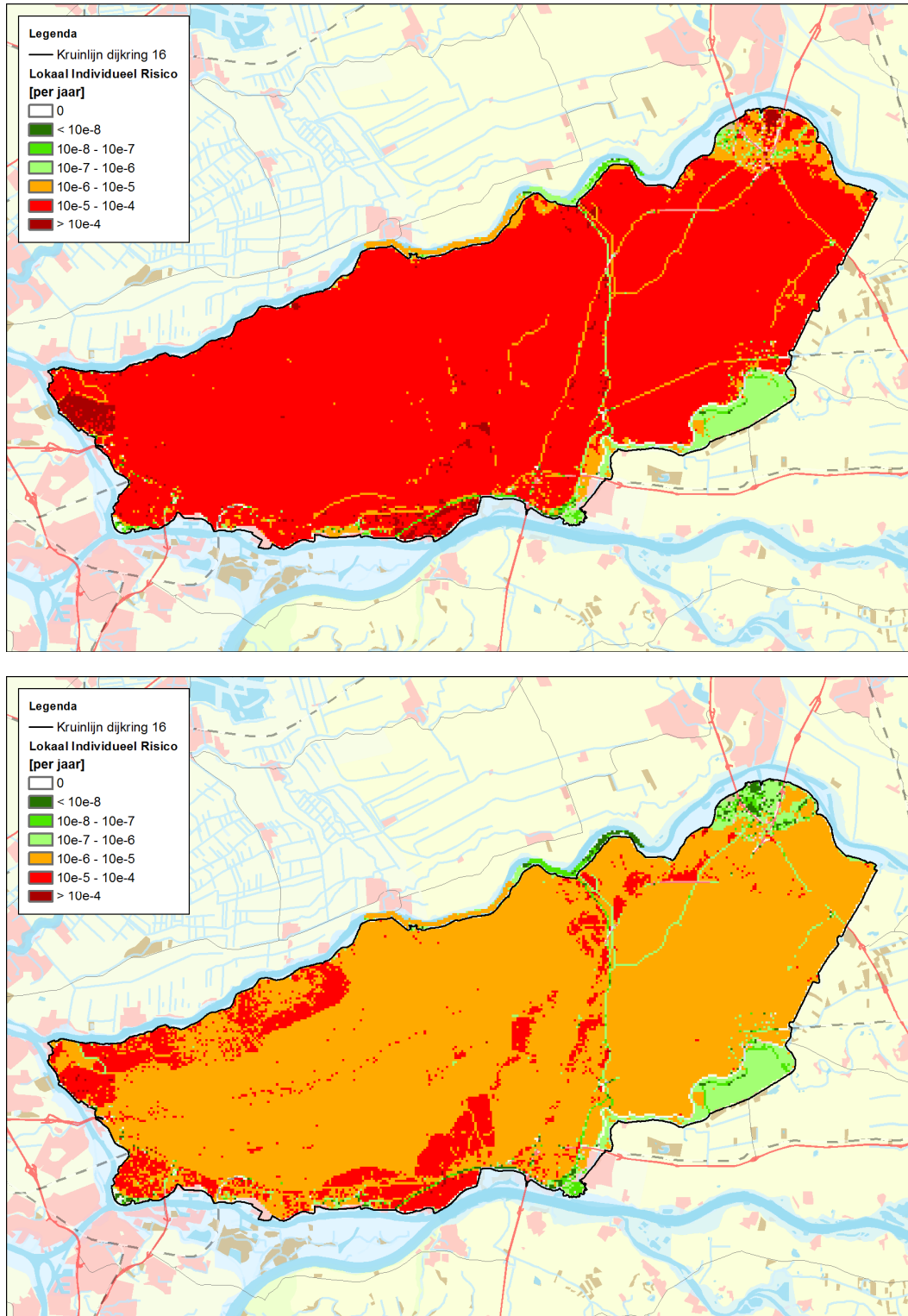
Figuur 58: De procentuele bijdrage van de faalmechanismen aan de overstromingskans per gerichte verbeterstap.

De eerste verbeterstap betreft het dijkvak waarvoor de maatgevende faalkans door het faalmechanisme *macrostabiliteit binnenwaarts* wordt bepaald. Doordat de overige vakken waar het faalmechanisme *macrostabiliteit binnenwaarts* is beschouwd nauwelijks bijdragen aan de overstromingskans neemt de bijdrage van dit faalmechanisme direct af tot circa 1%. De overige faalmechanismen krijgen hierdoor een procentueel hogere bijdrage aan de faalkans.

In stap 2 tot en met 10 worden verbeteringen uitgevoerd voor het faalmechanisme *opbarsten en piping*. Hierdoor neemt de procentuele bijdrage van dit faalmechanisme stapsgewijs af en neemt de bijdrage van de overige faalmechanismen toe. Na stap 10 wordt nu bijna 20% van de overstromingskans verklaard door het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* en is het faalmechanisme *opbarsten en piping* nog steeds dominant, met een bijdrage van circa 75%<sup>10</sup>. De bijdrage van de kunstwerken aan de overstromingskans is toegenomen naar bijna 4%.

<sup>10</sup> Dikwijls wordt de verwachting uitgesproken dat het faalmechanisme overloop en golfoverslag voor 90% bijdraagt aan de overstromingskans. Door de VNK2-resultaten voor dijkkring 16 wordt dit beeld niet bevestigd. Waarbij wordt opgemerkt dat deze 90%-bijdrage ook niet volgt uit de veiligheidsfilosofie die door de TAW (tegenwoordig ENW) is opgesteld. In Grondslagen voor Waterkeren staat vermeld dat de kans op het falen van een waterkering door andere oorzaken dan overloop en golfoverslag bij de overbelastingsbenadering per dijkvak niet meer dan 10% van de getalswaarde van de norm mag bedragen [32]. Ook staat ten aanzien van het faalmechanisme overloop en golfoverslag vermeld dat de kans op het overschrijden van het toelaatbare debiet niet groter mag zijn dan de getalswaarde van de norm. Bij het toelaatbare debiet hoeft de kering nog niet te bezwijken. De faalkans voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag zou dan dus kleiner moeten zijn dan de getalswaarde van de norm. Dit betekent dat ook de faalkansbijdrage van overloop en golfoverslag kleiner zou moeten zijn dan 90%. Indien de faalkans voor overloop en golfoverslag een orde (factor 10) kleiner is dan de kans op overschrijding van het toelaatbare debiet, dan zou de faalkans 10% van de getalswaarde van de norm bedragen, net zoals de gecombineerde faalkans van de overige faalmechanismen. Het faalmechanisme overloop en golfoverslag zou dan dus voor 50% bijdragen aan de overstromingskans.

Het Lokaal Individueel Risico (LIR) in dijkkringgebied 16 na 10 gerichte verbeterstappen is weergegeven in Figuur 59. Ten opzichte van het LIR zonder uitvoering van deze 10 verbeterstappen is een flinke afname merkbaar. In met name het oostelijk deel van het dijkkringgebied is het LIR nu kleiner dan  $10^{-5}$  per jaar.



Figuur 59: LIR in dijkkringgebied 16 na uitvoering Ruimte voor de Rivier maatregelen (boven) en na verbetering 10 zwakste dijkvakken inclusief Ruimte voor de Rivier (onder).

### 7.3.2 Opgave dijkverbetering voor strengere veiligheidsnormen

Na afronding van de Ruimte voor de Rivier maatregelen en met de 10 verbeterstappen zoals aangegeven in de vorige paragraaf is de berekende overstromingskans gereduceerd tot circa 1/390 per jaar. Om de overstromingskans van de dijkkring echter te laten voldoen aan strengere veiligheidsnormen, zullen nog aanvullende maatregelen nodig zijn. Deze analyse geeft inzicht in welke inspanning nodig is om de volgende veiligheidsniveaus te bereiken:

- overstromingskans = overschrijdingskansnorm (1/2.000 per jaar);
- overstromingskans = optimale kans conform MKBA (1/4.000 per jaar) [15].

#### Overstromingskansen en -risico's

Om te bepalen welke delen van de waterkeringen van dijkkring 16 moeten worden aangepast om aan genoemde normen te voldoen is steeds stapsgewijs voor het maatgevende vak de faalkans tot een verwaarloosbare waarde teruggebracht. In eerste instantie zijn meerdere vakken tegelijkertijd verbeterd omdat nog een groot verschil bestaat tussen de berekende overstromingskans en de gewenste overstromingskans. Wanneer de berekende overstromingskans na verbetermaatregelen kleiner is dan de overschrijdingskansnorm van 1/2.000 per jaar of kleiner dan de optimale kans die volgt uit de MKBA van 1/4.000 per jaar is ook het overstromingsrisico opnieuw berekend. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 28.

Stap	Dijkvak	Totale lengte [km]	Overstromingskans [per jaar]	Economisch risico [M€ / jaar]	Slachtoffer risico [aantal/jr]
0	<i>Uitgangssituatie (Ruimte voor de Rivier)</i>		>1/100	118,2	8,2
10	zie paragraaf 7.3.1, Tabel 27	16,8	1/390	26,8	2,7
18	Stap 10 +16.AW008.020 (Boven-Hardinxveld) +16.AW395.004 (Gorinchem) +16.AW076.080 (Sliedrecht) +16.VY000.012 (Ameide) +16.AW289.299 (Ameide) +16.AW151.155 (Kinderdijk) +16.AW030.040 (Neder-Hardinxveld) +16.VY036.044 (Lexmond)	31,3	1/1.350		
19	Stap 18+16.VY023.031 (Lexmond)	32,9	1/1.700		
20	Stap 19+16.AW203.211 (Streefkerk)	34,4	1/2.280	4,0	0,7
24	Stap 20 +16.AW104.108 (Papendrecht) +16.AW132.139 (Kinderdijk) +16.AW020.030 (Neder-Hardinxveld) +16.VY072.076 (Vianen)	40,2	1/3.400		
25	Stap 24 +16.VY031.036 (Lexmond)	41,2	1/4.600	1,8	0,3

Tabel 28: Overstromingskansen en overstromingsrisico na 26 gerichte ingrepen in dijkkring 16.

Uit Tabel 28 blijkt dat 20 dijkvakken verbeterd dienen te worden om de overstromingskans minimaal gelijk te krijgen aan de overschrijdingskansnorm van 1/2.000 per jaar. Het betreft vooral vakken langs de Lek, maar ook enkele langs de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede (Figuur 88 in Bijlage K). De totale lengte van de te verbeteren vakken is circa 34,4 km op een totale lengte van de categorie a-keringen van dijkkring 16 van 86 km. Als gevolg van deze verbeteringen neemt de verwachtingswaarde van de economische schade met circa 97% af tot 4,0 miljoen euro per jaar. De

---

verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar neemt als gevolg van de verbeteringen met circa 91% af tot 0,7 slachtoffers per jaar.

Om de overstromingskans minimaal gelijk te krijgen aan de optimale kans die volgt uit de MKBA van 1/4.000 per jaar moeten nog 5 aanvullende dijkvakken worden versterkt (stap 25). In dit geval dient met circa 41 km bijna de helft van de totale lengte van de categorie a-keringen van dijkkring 16 te worden versterkt. De verwachtingswaarde van de economische schade is als gevolg van deze maatregelen met circa 98% afgenomen tot 1,8 miljoen euro per jaar. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar is met circa 96% afgenomen tot 0,3 slachtoffers per jaar.

#### *Lokaal individueel risico*

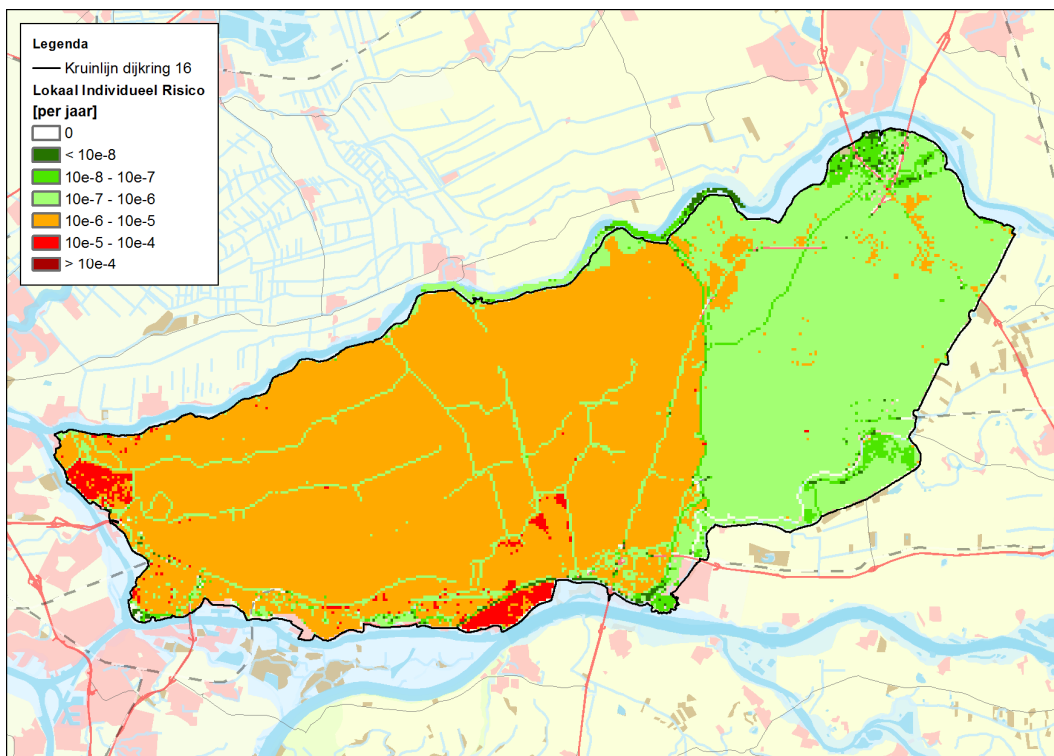
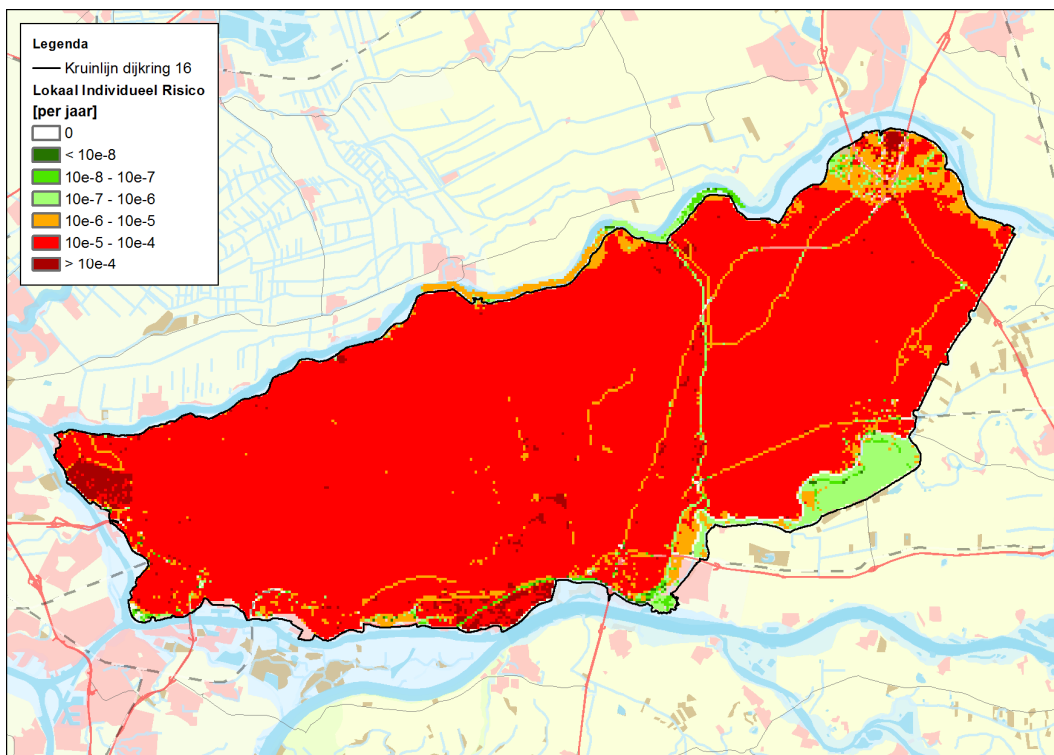
In Figuur 60 en Figuur 61 is het Lokaal Individueel Risico (LIR) in dijkkringgebied 16 weergegeven voor respectievelijk de situatie waarin de overstromingskans gelijk is aan de overschrijdingskansnorm en voor de situatie waarin de overstromingskans gelijk is aan de optimale kans uit de MKBA (beiden inclusief afronding Ruimte voor de Rivier maatregelen). Voor beide situaties geldt dat het LIR als gevolg van de bijbehorende verbeteringsmaatregelen relatief sterk afneemt ten opzichte van de huidige situatie.

Voor de situatie waarin de overstromingskans gelijk is aan de overschrijdingskansnorm is het LIR in de Vijfheerenlanden als gevolg van de voorgestelde ingrepen (Tabel 28) over het algemeen afgenomen tot  $<10^{-6}$  per jaar (Figuur 60). Hiermee is het LIR in de Vijfheerenlanden overwegend ruim kleiner dan het gewenste niveau van  $10^{-5}$  per jaar. In de Alblasserwaard is het LIR als gevolg van de voorgestelde ingrepen nu ook  $<10^{-5}$  per jaar, met uitzondering van Hardinxveld-Giessendam en Alblasserdam. In deze stedelijke gebieden ligt het LIR overwegend tussen  $10^{-5}$  en  $10^{-4}$  per jaar.

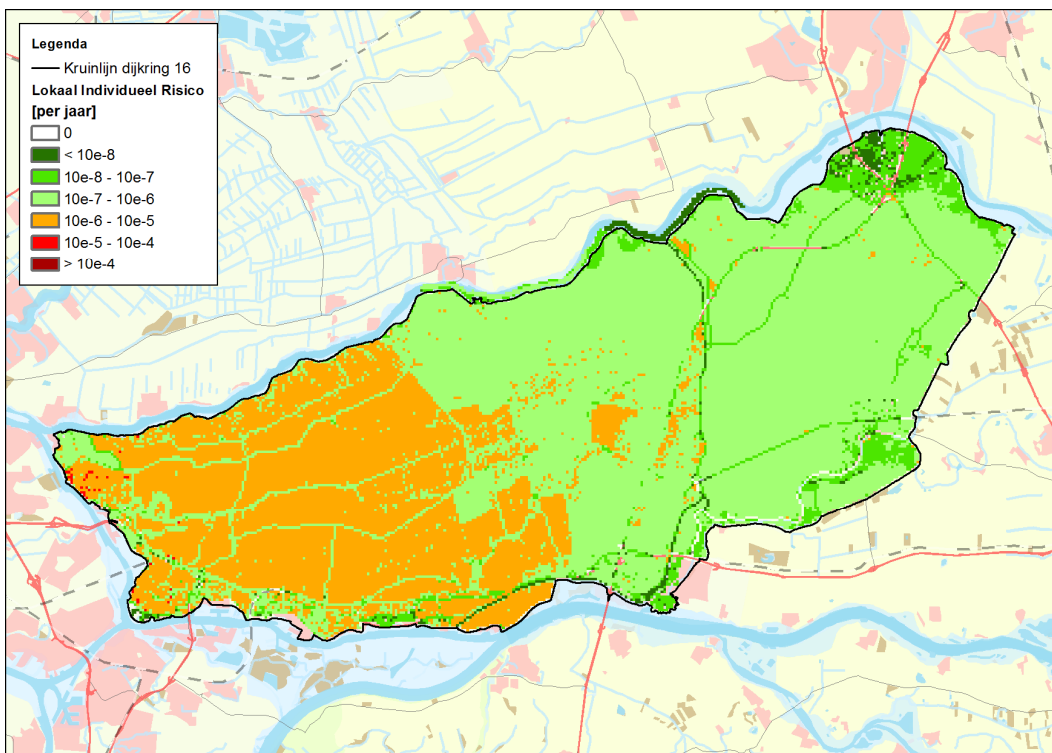
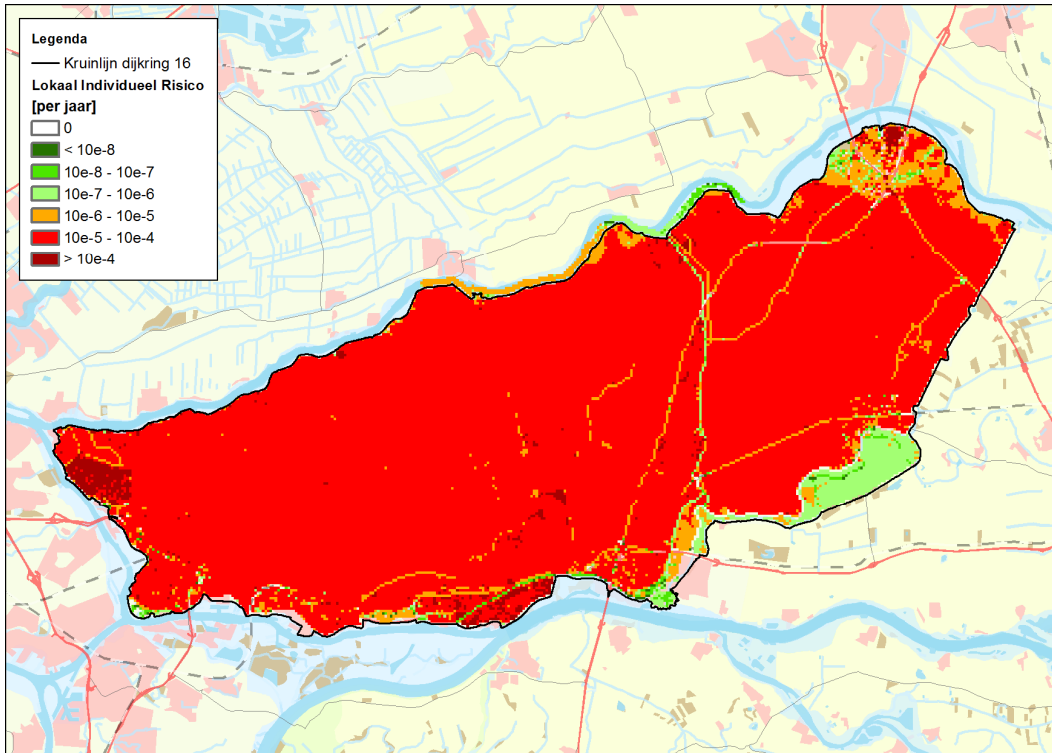
Wanneer de overstromingskans gelijk is aan de optimale kans uit de MKBA neemt het LIR in de Vijfheerenlanden en de Alblasserwaard verder af tot respectievelijk  $<10^{-6}$  en  $<10^{-5}$  per jaar (Figuur 61). In vergelijking met Figuur 60 valt op dat het LIR in de stedelijke gebieden van Alblasserdam is afgenomen tot  $<10^{-5}$  per jaar.

Bovenstaande betekent dat een situatie waarbij de huidige overschrijdingskansnorm van 1/2.000 per jaar als overstromingskans wordt aangehouden nog niet leidt tot een LIR  $<10^{-5}$  per jaar voor het gehele dijkkringgebied. Pas wanneer de overstromingskans wordt teruggebracht naar de voorgestelde optimale overstromingskans volgens de MKBA (1/4.000 per jaar) wordt het LIR  $<10^{-5}$  per jaar voor het gehele dijkkringgebied.





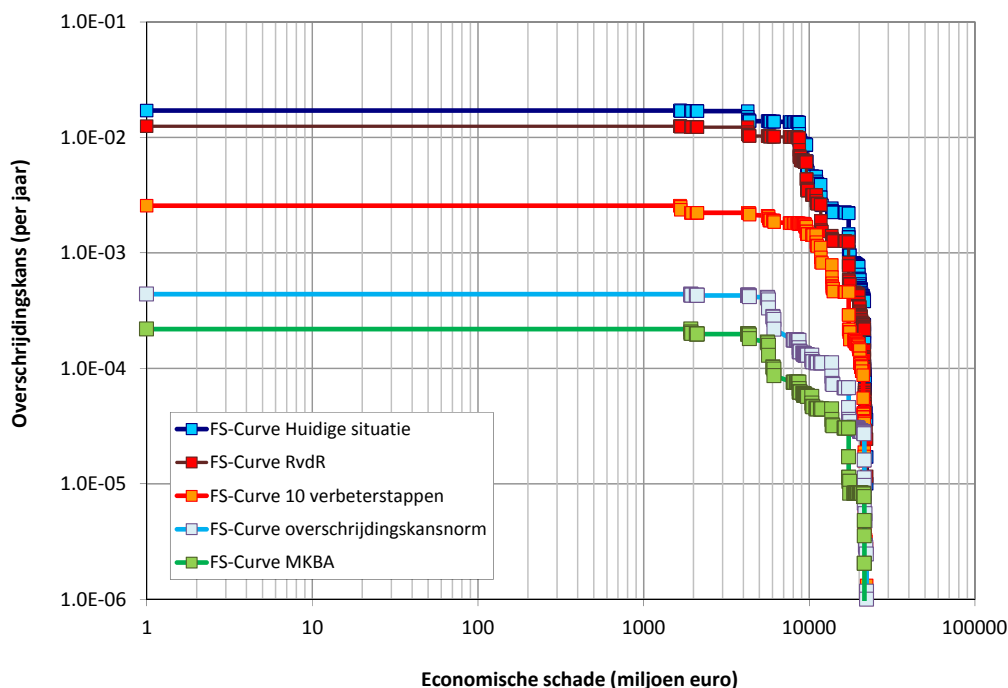
Figuur 60: LIR in dijkkringgebied 16 na uitvoering Ruimte voor de Rivier maatregelen (boven) en wanneer overstromingskans = overschrijdingskansnorm (1/2.000 per jaar) inclusief Ruimte voor de Rivier (onder).



Figuur 61: LIR in dijkkringgebied 16 na uitvoering Ruimte voor de Rivier maatregelen (boven) en wanneer overstromingskans = optimale kans uit MKBA (1/4.000 per jaar) inclusief Ruimte voor de Rivier (onder).

### Schadefuncties en groepsrisico's

In Figuur 62 en Figuur 63 zijn respectievelijk de FS- en FN-curves weergegeven voor de huidige situatie (paragraaf 6.2), de situatie na afronding van het project Ruimte voor de Rivier (paragraaf 7.2), de situatie na verbetering van de 10 zwakste dijkvakken (paragraaf 7.3.1), de situatie waarvoor geldt overstromingskans = overschrijdingskansnorm en de situatie waarvoor geldt overstromingskans = optimale kans conform MKBA. In alle gevallen dient een significant aantal dijkvakken verbeterd te worden om de overstromingskans en het economisch en slachtofferrisico terug te brengen naar het gewenste niveau.



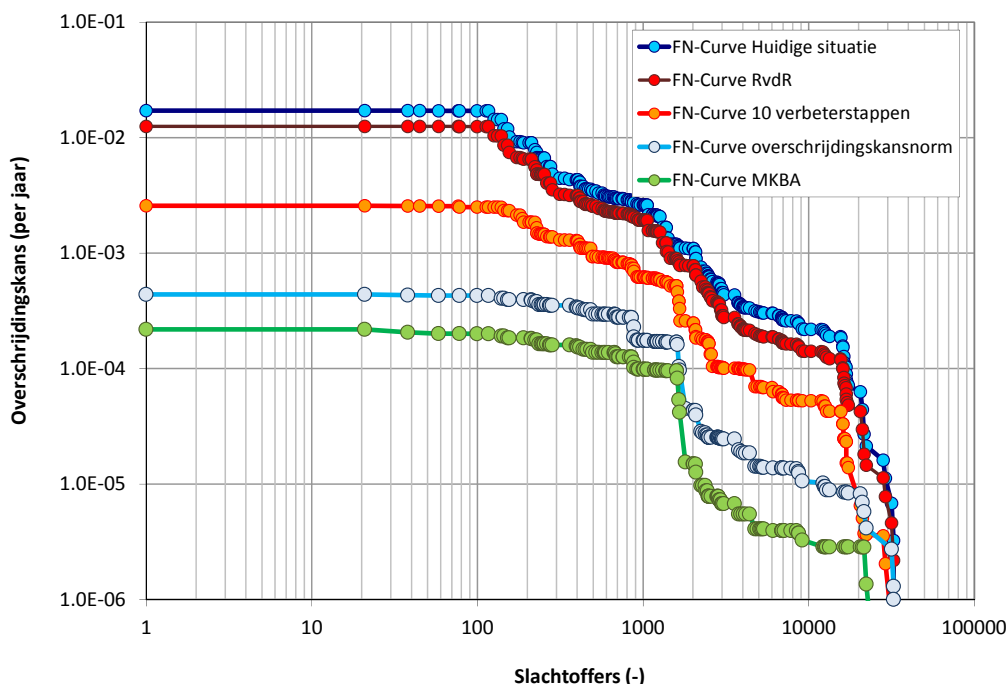
Figuur 62: FS-curve huidige situatie en waterstandverlagende en dijkversterkende maatregelen.

Het effect van de verbeteringen op de berekende overstromingskansen en verwachtingswaarden van het economisch risico zoals weergegeven in Tabel 28 komt sterk tot uitdrukking in de FS-curves voor de beoordeelde situaties. In Tabel 29 is ter illustratie een overzicht opgenomen van de kans op 10 miljard euro schade voor de beoordeelde situaties. Zo neemt de kans dat de economische schade groter is dan 10,0 miljard euro af van circa 1/220 per jaar in de huidige situatie naar 1/310 per jaar na uitvoering van de waterstandverlagende maatregelen in het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier. Als gevolg van dijkversterkende maatregelen neemt de kans dat de economische schade groter is dan 10 miljard euro verder af naar 1/18.000 per jaar voor de situatie waarin de overstromingskans gelijk is aan de optimale kans conform de MKBA.

Berekening	Kans op >10 miljard euro schade [per jaar]
Huidige situatie	1/220
Ruimte voor de Rivier (RvdR)	1/310
Verbetering 10 zwakste vakken (inclusief RvdR)	1/700
Overstromingskans = overschrijdingskansnorm (inclusief RvdR)	1/7.700
Overstromingskans = optimale norm conform MKBA (inclusief RvdR)	1/18.000

Tabel 29: Kans op economische schade in dijkkringgebied 16.

Ook voor de verwachtingswaarden van het slachtofferrisico komt het effect van de waterstandverlagende en dijkversterkende maatregelen sterk tot uitdrukking in de gepresenteerde FN-curves (Figuur 63).



Figuur 63: FN-curve huidige situatie en waterstandverlagende en dijkversterkende maatregelen.

In Tabel 30 is ter illustratie een overzicht opgenomen van de kans op minimaal 200 slachtoffers voor de beoordeelde situaties. Zo neemt de kans dat het aantal slachtoffers groter is dan 250 af van circa 1/150 per jaar in de huidige situatie naar 1/210 per jaar na uitvoering van de waterstandverlagende maatregelen in het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier. Als gevolg van dijkversterkende maatregelen neemt de kans dat het aantal slachtoffers in geval van een overstroming groter is dan 250 verder af naar 1/6.100 per jaar voor de situatie waarin de overstromingskans gelijk is aan de optimale kans conform de MKBA.

Berekening	Kans op >250 slachtoffers [per jaar]
Huidige situatie	1/150
Ruimte voor de Rivier (RvdR)	1/210
Verbetering 10 zwakste vakken (inclusief RvdR)	1/690
Overstromingskans = overschrijdingskansnorm (inclusief RvdR)	1/2.800
Overstromingskans = optimale norm conform MKBA (inclusief RvdR)	1/6.100

Tabel 30: Kans op slachtoffers in dijkkringgebied 16.

Uit beide figuren blijkt overigens dat met name de kans op een overstroming afneemt als gevolg van de ingrepen, de maximale schade en het maximaal aantal slachtoffers blijft nagenoeg gelijk. Alleen de kans dat een grote groep personen slachtoffer wordt van een overstroming is afgenomen, zo ook de kans op grote economische schade. Dat de maximale schade en het maximaal aantal slachtoffers relatief weinig afnemen is onder andere het gevolg van de kenmerken van het dijkkringgebied; dit is een gebied dat nagenoeg volledig overstroomt onafhankelijk van de locatie van de doorbraak.

---

### 7.3.3 Resumé

De tien dijkvakken en/of kunstwerken die de grootste bijdrage leveren aan de overstromingskans van dijkkring 16 hebben de faalmechanismen *opbarsten en piping* en *macrostabiliteit binnenwaarts* als maatgevend faalmechanisme. Al deze vakken liggen in het bovenstroomse deel van de dijkkring langs de Lek. Het versterken van deze vakken (over een lengte van 16,8 km op een totale lengte van de dijkkring van 86 km) reduceert de overstromingskans van dijkkring 16 van  $>1/100$  naar  $1/390$  per jaar. Hierbij wordt opgemerkt dat de vakken dusdanig worden versterkt dat de faalkans van deze vakken verwaarloosbaar klein wordt ten opzichte van de overige vakken. Tevens geldt dat in de versterkte situatie is uitgegaan van afronding van de Ruimte voor de Rivier maatregelen.

Om de overstromingskans verder te verkleinen naar de overschrijdingskansnorm van  $1/2.000$  per jaar dienen in totaal 20 dijkvakken (met een lengte van 34,4 km op een totale lengte van de dijkkring van 86 km) verbeterd te worden. Het grootste deel van deze dijkvakken bevindt zich langs de Lek. In dit geval dienen ook enkele vakken langs de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede verbeterd te worden. Om de overstromingskans gelijk te krijgen aan de optimale norm die volgt uit de MKBA ( $1/4.000$  per jaar) dienen nog eens 5 aanvullende vakken verbeterd te worden, waarbij in totaal circa 41 km waterkering moet worden aangepast.

De risico's als gevolg van deze dijkversterkende maatregelen, in combinatie met de waterstandverlagende maatregelen in het kader van Ruimte voor de Rivier, nemen sterk af ten opzichte van de huidige situatie. Door het versterken van de 10 zwakste dijkvakken daalt het economisch risico van 166,4 miljoen euro per jaar naar 26,8 miljoen euro per jaar. Het slachtofferrisico neemt af van 8,2 naar 2,7 slachtoffers per jaar. Een verdere investering in de dijken tot het niveau waarop de overstromingskans gelijk is aan de optimale kans conform de MKBA leidt tot een verdere daling van het economisch risico naar 1,8 miljoen euro per jaar en een slachtofferrisico van 0,3 slachtoffers per jaar.

---

## 7.4 Deltaprogramma Veiligheid: Basisveiligheid LIR <math>10^{-5}</math> per jaar

In het Deltaprogramma wordt een nieuwe normering voor de waterveiligheid ontwikkeld en uitgewerkt [38]. De huidige wettelijk verankerde overschrijdingskansnorm voor dijken wordt over enkele jaren vervangen door een overstromingskansnorm op basis van een risicobenadering, waarbij de kans op een overstroming en het gevolg van een overstroming beide in beeld komen. Het voorstel is om deze nieuwe aanpak gepaard te laten gaan met het uitgangspunt van een basisveiligheid voor iedereen die woont of werkt in een gebied dat door dijken, duinen en dammen wordt beschermd. Vooralsnog wordt hierbij uitgegaan van een basisveiligheid waarbij het Lokaal Individueel Risico (LIR) kleiner moet zijn dan  $10^{-5}$  per jaar. In deze paragraaf wordt geanalyseerd wat dit zou betekenen voor de benodigde dijkaanpassingen in dijkkring 16. De aanpassingen betreffen ook vakken die reeds worden versterkt en als zodanig al zijn meegenomen in de overstromingskansberekening (hoofdstuk 3).

### 7.4.1 LIR na Ruimte voor de Rivier maatregelen (uitgangssituatie)

Uitgangssituatie voor de bepaling van het aantal te verbeteren vakken is de situatie na afronding van de Ruimte voor de Rivier maatregelen en na afronding van het HWBP2. Deze situatie is reeds uitgewerkt in paragraaf 7.2. Uit Figuur 56 blijkt dat het LIR na afronding van deze maatregelen in vrijwel de hele dijkkring groter is dan  $10^{-5}$  per jaar. In sommige delen is het zelfs groter dan  $10^{-4}$  per jaar. Om het LIR terug te brengen naar het gewenste niveau zullen dus in de hele dijkkring maatregelen moeten worden genomen.

### 7.4.2 LIR na verbetering tien zwakste dijkvakken

Uit een analyse van de resultaten van de verschillende enkelvoudige scenario's blijkt dat de ringdelen Everdingen VY095, Vianen VY062, Vianen VY040, Ameide AW296 en CasaNovum AW217 het meest bijdragen aan het LIR. Dit komt geheel overeen met de 10 verbeterstappen die in paragraaf 7.3.1 zijn beschouwd. De dijkvakken in de betreffende verbeterstappen liggen namelijk in bovengenoemde ringdelen. Daarom zijn in eerste instantie de resultaten van de berekeningen met de 10 verbeterstappen beoordeeld. Het LIR na deze 10 verbeterstappen, waarin ook reeds het effect van de Ruimte voor de Rivier maatregelen is meegenomen, is reeds weergegeven in Figuur 59 in paragraaf 7.3.1. De 10 verbeterstappen betreffen een versterking van de waterkeringen over een lengte van 16,8 km.

### 7.4.3 LIR na aanvullende verbeteringen

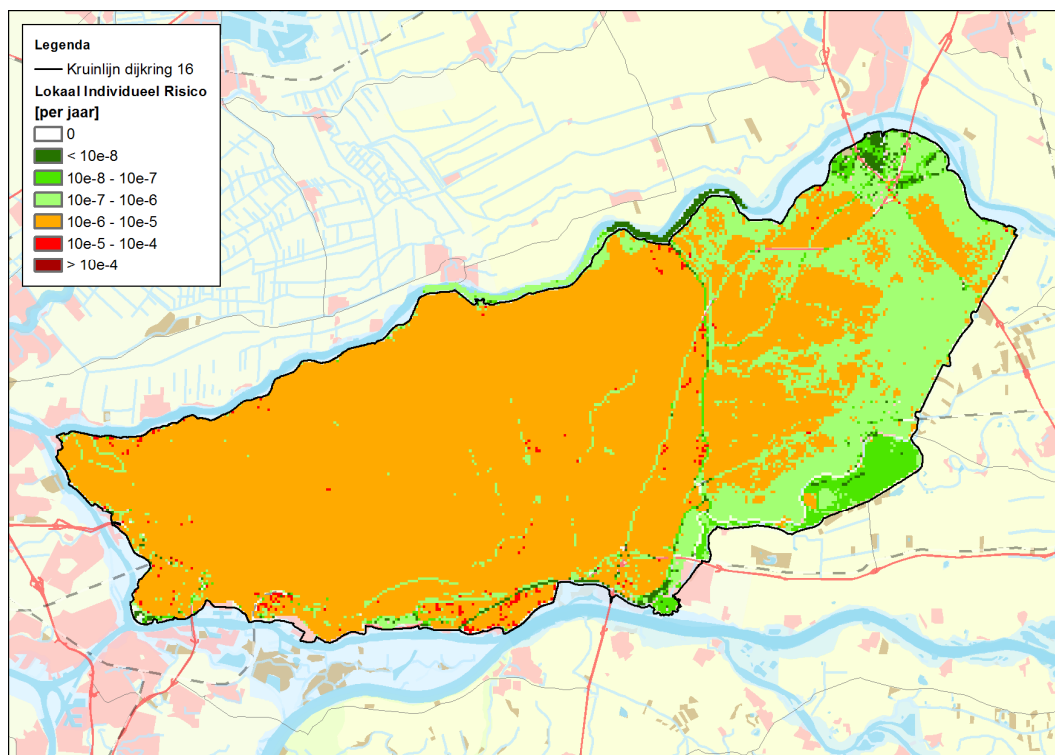
Het LIR na 10 verbeterstappen (Figuur 59) laat zien dat in verschillende delen van het dijkkringgebied nog aanvullende verbeteringen nodig zijn, het LIR is nog niet overal tot onder het gewenste niveau van  $10^{-5}$  per jaar teruggebracht. Om te bepalen welke delen van de waterkeringen van dijkkring 16 verder moeten worden aangepast om het gewenste veiligheidsniveau van  $10^{-5}$  per jaar te bereiken is steeds stapsgewijs bepaald in welke delen van het dijkkringgebied het LIR nog niet voldoet aan het gewenste niveau. Vervolgens is afgeleid welke overstromingsscenario's de grootste bijdrage leveren aan dit LIR. Binnen deze maatgevende scenario's is vervolgens voor het maatgevende dijkvak de faalkans tot een verwaarloosbare waarde teruggebracht. In eerste instantie zijn meerdere vakken tegelijkertijd verbeterd omdat nog een groot verschil bestaat tussen het berekende LIR en het gewenste LIR.

De doorlopen stappen zijn weergegeven in Tabel 31. Voor de diverse stappen zijn tevens de lengte van de benodigde versterkingen, de overstromingskans en de verwachtingswaarden van het economisch risico en slachtofferrisico gepresenteerd. Het berekende LIR per stap is weergegeven in Bijlage K (Figuur 89t/m Figuur 93). De te verbeteren vakken zijn op kaart weergegeven in Figuur 94 in Bijlage K.

Stap	Dijkvak	Totale lengte [km]	Overstromings kans [per jaar]	Economisch risico [M€ / jaar]	Slachtoffer risico [aantal/jr]
0	<i>Uitgangssituatie (Ruimte voor de Rivier)</i>		$>1/100$	118,2	8,2
1	zie paragraaf 7.3.1, Tabel 27	16,8	1/390	26,8	2,7
13	Stap 10 +16.AW008.020 (Boven-Hardinxveld) +16.AW151.155 (Kinderdijk) +16.AW203.211 (Streefkerk)	21,7	1/530	17,9	1,4
16	Stap 13 +16.AW104.108 (Papendrecht) +16.AW132.139 (Kinderdijk) +16.VY000.012 (Ameide)	27,0	1/650	14,5	0,9
19	Stap 16 +16.AW112.119 (Papendrecht) +16.AW145.151 (Alblasserdam) +16.VY036.044 (Lexmond)	31,1	1/775	11,4	0,7
20	Stap 19 +16.AW030.040 (Neder-Hardinxveld)	32,8	1/800	8,7	0,6

Tabel 31: Overzicht scenario's die het meest bijdragen aan het LIR na stap 1.

Na de verbetering van de 20 dijkvakken zoals aangegeven in Tabel 31 is het LIR in dijkkringgebied 16 teruggebracht tot het niveau zoals weergegeven in Figuur 64. In totaal dient na afronding van de Ruimte voor de Rivier maatregelen dan nog 32,8 km waterkering te worden versterkt op een totale lengte van de categorie a-keringen van de dijkkring van 86 km. Na het verbeteren is het LIR in dijkkringgebied 16 vrijwel overal kleiner dan de gewenste norm, het LIR is alleen zeer lokaal nog hoger dan  $10^{-5}$  per jaar. Deze mogen worden beschouwd als modelmatige uitschieters.



Figuur 64: LIR in dijkkringgebied 16 teruggebracht tot maximaal  $10^{-5}$  per jaar.

---

#### 7.4.4 Resumé

Om het LIR in dijkkringgebied 16 te verkleinen tot  $10^{-5}$  per jaar voor het hele dijkkringgebied is het nodig om naast afronding van de Ruimte voor de Rivier maatregelen, de verbetermaatregelen te treffen zoals weergegeven in Figuur 94 in Bijlage K. Dit betreft een verbetering van 20 dijkvakken met een lengte van 32,8 km op een totale lengte van de categorie a-keringen van de dijkkring van 86 km. Na het verbeteren is het LIR in dijkkringgebied 16 vrijwel overal kleiner dan de gewenste norm (zie Figuur 64), het LIR is alleen zeer lokaal nog hoger dan  $10^{-5}$  per jaar. Deze mogen worden beschouwd als modelmatige uitschieters.

Hierbij is sprake van een grote overlap in de verbeteringen om te komen tot een overstromingskans kleiner dan de optimale norm die volgt uit de MKBA WV21 (paragraaf 7.3.2). De overstromingskans voor de situatie waarin het LIR is teruggebracht tot maximaal  $10^{-5}$  per jaar is met 1/800 echter groter dan de optimale overstromingskans conform de MKBA van 1/4.000 per jaar. Om te komen tot een overstromingskans conform de MKBA dienen met name de dijkvakken langs de Lek te worden versterkt. Dit zijn de vakken die het meest bijdragen aan de overstromingskans van de dijkkring.

Voor het terugbrengen van het LIR zijn met name de overstromingsscenario's waarin delen van de waterkeringen langs de Noord bezwijken van belang. Langs de Noord is bij een dijkdoorbraak geen sprake van ontlasten (stormopzet gedomineerd) met daarnaast ook nog ongunstiger evacuatie mogelijkheden dan bij een doorbraak langs de Lek waar wel sprake is van ontlasten (rivierafvoer gedomineerd). Ook is het stedelijk gebied langs de Noord en Beneden-Merwede enigszins gecompartmenteerd waardoor hoge stijgsnelheden optreden na een dijkdoorbraak op deze locaties. Deze combinatie van factoren resulteert in een hoge mortaliteit voor dit deel van het dijkkringgebied.

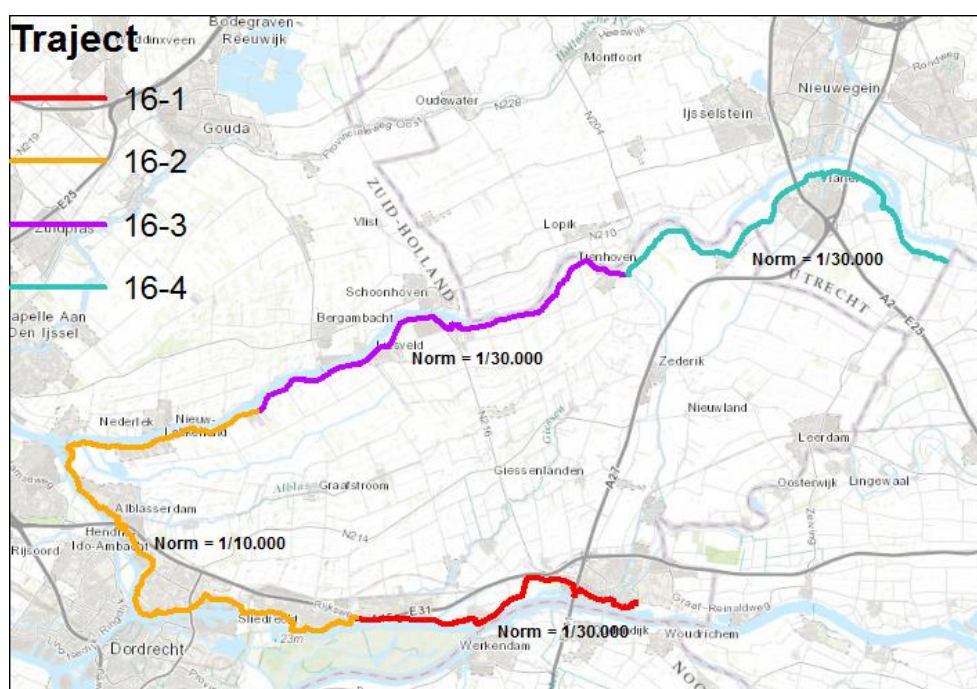


## 7.5 Deltaprogramma Veiligheid: Overstromingskansnorm MKBA

In de nieuwe normering zoals deze in het Deltaprogramma Veiligheid wordt ontwikkeld en uitgewerkt krijgen de dijken normen op basis van overstromingskansen [38]. De nieuwe norm zal niet meer zoals nu per dijkkringgebied gelden, maar per dijktraject (onderdeel van een dijkkring). Door het Deltaprogramma Veiligheid is dijkkring 16 verdeeld in vier trajecten, waarbij op basis van een MKBA en een basisveiligheidsanalyse voor elk traject een overstromingskansnorm is afgeleid [39]. Deze paragraaf geeft antwoord op de vraag welke inspanning nodig is om de dijktrajecten aan de nieuwe norm te laten voldoen vanuit de situatie na afronding van het HWBP2, na uitvoering van het project Ruimte voor de Rivier (paragraaf 7.2) en nadat is voldaan aan de basisveiligheid (LIR) van  $10^{-5}$  per jaar (paragraaf 7.4).

### 7.5.1 Verdeling in dijktrajecten en toewijzing normen

Door het Deltaprogramma is dijkkring 16 verdeeld in vier dijktrajecten. Deze trajecten zijn weergegeven in Figuur 65. Per traject is een overstromingskansnorm afgeleid volgens het stramien '1-3-10'. In dit stramien worden de volgende overstromingskansen gebruikt: 1/100, 1/300, 1/1.000, 1/3.000, 1/10.000, 1/30.000 en 1/100.000 per jaar.



Figuur 65: Dijktrajecten dijkkring 16 en voorgestelde normen (per jaar) door Deltaprogramma.

De trajecten met afgeleide norm zoals gedefinieerd voor dijkkring 16 zijn weergegeven in Tabel 32. In Tabel 44 in Bijlage D zijn daarnaast per traject de inliggende ringdelen, dijkvakken en kunstwerken aangegeven.

Dijktraject	Locatie	Lengte [km]	Norm [per jaar]
16-1	Gorinchem–Sliedrecht	15,3	1/30.000
16-2	Sliedrecht–Streefkerk	30,8	1/10.000
16-3	Streefkerk–Ameide	20,0	1/30.000
16-4	Ameide–Everdingen	20,2	1/30.000

Tabel 32: Overstromingskansnorm per dijktraject zoals afgeleid in het Deltaprogramma [39].

### 7.5.2 Opgave dijkverbetering voor nieuwe normen per dijktraject

Na afronding van de maatregelen in het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier en het HWBP2 en met de verbetermaatregelen om te komen tot een basisveiligheidsniveau (LIR) kleiner dan  $10^{-5}$  per jaar voor het gehele dijkkringgebied zoals aangegeven in paragraaf 7.4, is de berekende overstromingskans van de dijkkring gereduceerd tot 1/800 per jaar. Om de dijkkring na indeling in dijktrajecten echter te laten voldoen aan strengere veiligheidsnormen, zoals gedefinieerd door het Deltaprogramma Veiligheid (Tabel 32), zijn nog aanvullende maatregelen nodig. De inspanningen om te komen tot de normen zoals deze zijn afgeleid, zijn aangegeven in Tabel 33. Tevens is in deze tabel de overstromingskans van het gehele dijkkringgebied weergegeven voor de situatie waarin de vier trajecten voldoen aan de norm.

Traject	Norm [per jaar]	Lengte verbeteringen LIR < $10^{-5}$ [km] <sup>1</sup>	Extra lengte verbeteringen MKBA [km] <sup>2</sup>	Totale lengte verbeteringen eisen DPV [km] <sup>3</sup>	Overstromingskans [per jaar]
16-1 Gorinchem–Sliedrecht	1/30.000	4,1	4,6	8,7	1/38.000
16-2 Sliedrecht–Streefkerk	1/10.000	6,4	1,0	7,4	1/16.000
16-3 Streefkerk–Ameide	1/30.000	7,5	2,0	9,5	1/29.000
16-4 Ameide–Everdingen	1/30.000	14,8	4,4	19,2	1/44.000
<i>Dijkkring</i>	-	32,8	12,0	44,8	1/10.000

<sup>1</sup> betreft de verbeteringen om te komen tot een basisveiligheid LIR <  $10^{-5}$  per jaar (Tabel 31 in paragraaf 7.4.3)

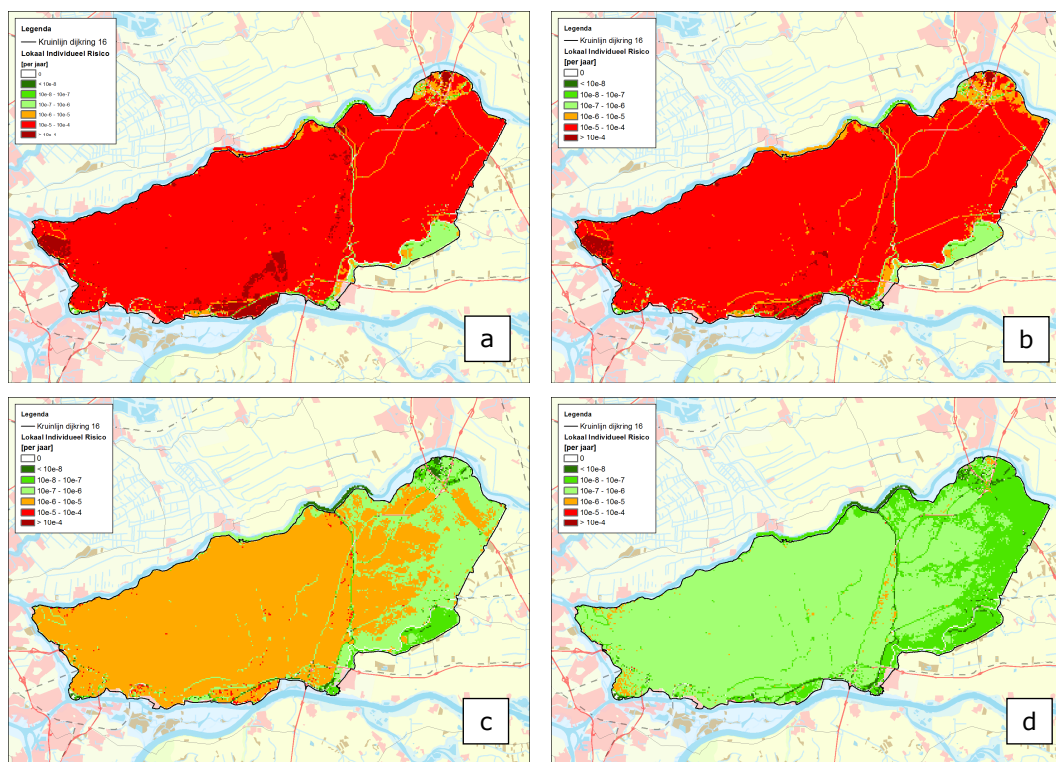
<sup>2</sup> betreft de extra verbetering voor de overstromingskansnorm t.o.v. de verbetering voor LIR <  $10^{-5}$  per jaar

<sup>3</sup> betreft de totale minimaal te verbeteren lengte van de primaire keringen voor de eisen van het DP Veiligheid

Tabel 33: Overstromingskansen en -risico voor normen conform Deltaprogramma [38].

Uit Tabel 33 blijkt dat wanneer de dijken worden verbeterd tot het niveau waarop de overstromingskans van de vier trajecten voldoet aan de norm afgeleid in het Deltaprogramma Veiligheid, een verbetering nodig is van de waterkeringen van dijkkring 16 over een lengte van minimaal 45 km, inclusief twee kunstwerken, op een totale lengte van de dijkkring van circa 86 km. Hiervan dient reeds circa 33 km te worden versterkt om te kunnen voldoen aan de basisveiligheidseis waarvoor geldt LIR <  $10^{-5}$  per jaar. De extra benodigde verbetering om vervolgens te voldoen aan de overstromingskansnorm per dijktraject bedraagt circa 12 km. Deze verbetermaatregelen zijn op kaart weergegeven in Figuur 95 in Bijlage K. In deze situatie wordt een overstromingskans voor de dijkkring berekend van 1/10.000 per jaar. Het economisch risico van dijkkringgebied 16 neemt als gevolg van deze ingrepen af tot 1,0 miljoen euro per jaar, het slachtoffer-risico daalt tot 0,08 slachtoffers per jaar.

In Figuur 66 is voor de volledigheid de ontwikkeling van de basisveiligheid (LIR) weergegeven vanuit de huidige situatie (a) via de situatie waarbij de maatregelen in het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier zijn afgerond (b) en de situatie na maatregelen om te komen tot een basisveiligheid <  $10^{-5}$  per jaar binnen het gehele dijkkringgebied (c) tot de situatie waarin voor de vier trajecten wordt voldaan aan de norm zoals afgeleid in het Deltaprogramma (d).



Figuur 66: Ontwikkeling basisveiligheid (LIR) in dijkkringgebied 16 na diverse maatregelen.

Aanvullend op de resultaten gepresenteerd in Tabel 33 zijn in Tabel 34 de benodigde verbeteringen aangegeven om te komen tot een norm van 1/10.000 per jaar en een norm van 1/30.000 per jaar voor de vier dijktrajecten.

Traject	Norm <b>1/10.000</b> per jaar		Norm <b>1/30.000</b> per jaar	
	Totale lengte verbeteringen eisen DPV [km]	Overstromingskans [per jaar]	Totale lengte verbeteringen eisen DPV [km]	Overstromingskans [per jaar]
16-1 Gorinchem–Sliedrecht	6,6	1/14.000	8,7	1/38.000
16-2 Sliedrecht–Streefkerk	7,4	1/16.000	11,2	1/29.000
16-3 Streefkerk–Ameide	9,5	1/29.000	9,5	1/29.000
16-4 Ameide–Everdingen	16,4	1/10.200	19,2	1/44.000
<i>Dijkkring</i>	<i>39,9</i>	<i>1/5.300</i>	<i>48,6</i>	<i>1/14.500</i>

Tabel 34: Overstromingskansen per dijktraject voor norm 1/10.000 en 1/30.000 per jaar.

Uit de tabel blijkt dat wanneer de dijken worden verbeterd tot het niveau waarop de overstromingskans van de vier trajecten kleiner is dan 1/10.000 per jaar, een verbetering nodig is van de waterkeringen van dijkkring 16 over een lengte van minimaal 40 km. Om de vier trajecten op een overstromingskans kleiner dan 1/30.000 per jaar te brengen is een verbetering nodig van de waterkeringen van dijkkring 16 over een lengte van minimaal 49 km.

---

### 7.5.3 Resumé

Om de overstromingskansen van dijkkring 16 te verkleinen naar de nieuwe normen zoals deze in het Deltaprogramma Veiligheid worden ontwikkeld en uitgewerkt dienen de categorie a-keringen van dijkkring 16 verbeterd te worden over een lengte van minimaal 45 km op een totale lengte van de categorie a-keringen van 86 km. Deze verbeteringen betreffen de verbeteringen over een lengte van circa 32 km om te voldoen aan de basisveiligheid van  $10^{-5}$  per jaar (paragraaf 7.4) plus nog aanvullende verbeteringen over een lengte van minimaal 12 km. Bij het vaststellen van de benodigde verbeteringen is uitgegaan van de situatie na afronding van het HWBP2 en na uitvoering van het project Ruimte voor de Rivier (paragraaf 7.2).

De nieuwe norm zal niet meer zoals nu per dijkkringgebied gelden, maar per dijktraject (onderdeel van een dijkkring). Door het Deltaprogramma Veiligheid is dijkkring 16 verdeeld in vier dijktrajecten, waarbij voor elk traject een overstromingskansnorm is afgeleid. Deze norm is gebaseerd op een MKBA en een basisveiligheidsanalyse (LIR-eis  $10^{-5}$  per jaar).

Het grootste deel van de benodigde verbeteringen dient te worden uitgevoerd op het traject Ameide–Everdingen (Lek). Voor deze trajecten is enerzijds een relatief strenge norm afgeleid voor de overstromingskans van 1/30.000 per jaar en worden anderzijds relatief grote actuele faalkansen berekend. Deze combinatie resulteert in een relatief grote verbeteringsopgave voor deze trajecten. Na de verbeteringen is de faalkans voor de vier trajecten kleiner dan de gewenste norm. De overstromingskans voor de dijkkring als geheel is afgenomen naar 1/10.000 per jaar. Het economisch risico van dijkkringgebied 16 neemt als gevolg van deze ingrepen af tot 1,0 miljoen euro per jaar, het slachtofferrisico daalt tot 0,08 slachtoffers per jaar.

## 7.6 Veiligheidsniveau bij het niet standzeker zijn van de Diefdijk

Binnen de risicoanalyse zoals gepresenteerd in de voorgaande hoofdstukken is aangenomen dat de Diefdijk (primaire kering categorie c), die de scheiding vormt tussen dijkkring 16 en dijkkring 43, standzeker is. In deze gevoeligheidsanalyse wordt een indicatie gegeven van het effect van het niet standzeker zijn van van de Diefdijk op de berekende overstromingsrisico's van dijkkringgebied 16 en dijkkringgebied 43 in de huidige situatie.

### 7.6.1 Functioneren van de Diefdijk

Dijkkringgebied 16 en dijkkringgebied 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) worden van elkaar gescheiden door de Diefdijk. De Diefdijk is een primaire waterkering behorend tot categorie c en beschermt dijkkringgebied 16 tegen overstromingen vanuit dijkkringgebied 43. Een meer uitgebreide beschrijving van de Diefdijk en de betekenis van deze kering is opgenomen in paragraaf 2.1.10.

In het project VNK2 wordt het overstromingsrisico van 53 dijkringen in Nederland in beeld gebracht. Hierbij worden alleen de categorie-a keringen, de dijken die direct buitenwater keren, beschouwd. Voor dijkkringgebied 16 wordt echter ook de Diefdijk van groot belang geacht voor het overstromingsrisico. De Diefdijk keert pas hoge waterstanden nadat er een dijkdoorbraak in dijkkring 43 is opgetreden en grote delen van dijkkringgebied 43 zijn overstroomd. De Diefdijk dient er dan voor te zorgen dat het water niet verder dijkkringgebied 16 instroomt maar wordt afgeleid richting Dalem, waar het water via een overlaatstelsel en een deïnundatiesluis weer terug de Merwede in stroomt. Het effect van de Diefdijk is tweeledig: enerzijds voorkomt het de overstroming van dijkkring 16, anderzijds worden de waterstanden in dijkkring 43 groter doordat het water daar niet weg kan stromen. Het laatste zorgt ervoor dat de gevolgen en dus het overstromingsrisico van dijkkring 43 worden vergroot.

In het verleden kwamen overstromingen in dijkkring 43 frequenter voor waardoor de Diefdijk vaak werd belast. Dit heeft in het verleden ook geleid tot doorbraken van de Diefdijk. Door één van deze doorbraken ontstond het Wiel van Bassa, het grootste wiel van Nederland. De Diefdijk voldoet op dit moment niet aan de gestelde normen en wordt daarom versterkt. In de Diefdijk bevinden zich ook enkele waterkerende kunstwerken die gesloten moeten worden bij een (dreigende) overstroming van dijkkringgebied 43 (Figuur 67). Een aantal van deze kunstwerken voldeed in de wettelijke derde toetsronde (2010) niet aan de norm. In de derde toetsronde voldeden onder andere de Zuidelijke en Noordelijke Lingesluis niet aan de eisen voor het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting*.



Figuur 67: Kunstwerken in de Diefdijk (links Zuidelijke Lingesluis, rechts coupure A2).

---

In deze gevoeligheidsanalyse wordt inzicht gegeven in het effect van de Diefdijk op het overstromingsrisico van dijkkringgebieden 16 en 43. Deze analyse moet gezien worden als een vingeroefening waarbij de resultaten van de VNK2-analyses van dijkkring 16 en 43 worden gebruikt. Voor een meer gedetailleerde analyse ontbreken de juiste gegevens.

### 7.6.2 Diefdijk en dijkkring 16

Voor dijkkringgebied 16 is een verwachtingswaarde van het economisch risico berekend van 166 miljoen euro per jaar (paragraaf 6.2.1), de verwachtingswaarde van het slachtofferrisico is 11,7 slachtoffers per jaar (paragraaf 6.2.2). In deze risicoanalyse is alleen de bijdrage van de categorie a-keringen aan het overstromingsrisico van dijkkringgebied 16 beoordeeld. Het niet meenemen van de Diefdijk in de analyse leidt daarmee tot een onderschatting van het overstromingsrisico. De bijdrage van de Diefdijk aan het overstromingsrisico van dijkkringgebied 16 wordt in deze gevoeligheidsanalyse berekend aan de hand van de volgende formule:

$$\text{RISICO}_{\text{Diefdijk}} = \text{OVERSTROMINGSKANS}_{\text{DR43}} \times \text{FAALKANS}_{\text{Diefdijk}} \times \text{GEVOLG}$$

#### *Overstromingskans dijkkring 43*

De Diefdijk beschermt dijkkringgebied 16 nadat dijkkringgebied 43 is overstroomt. De overstromingskans van dijkkring 43 is daarom een belangrijke parameter in de bepaling van de bijdrage van de Diefdijk van het overstromingsrisico van dijkkringgebied 16. In de VNK2-analyse van dijkkring 43 is een overstromingskans van >1/100 per jaar berekend. Deze overstromingskans wordt veroorzaakt door grote faalkansen voor de faalmechanismen *opbarsten en piping en stabiliteit binnenwaarts*.

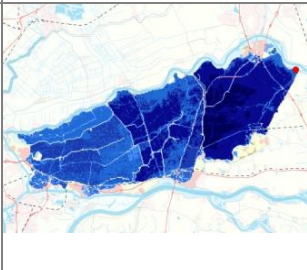
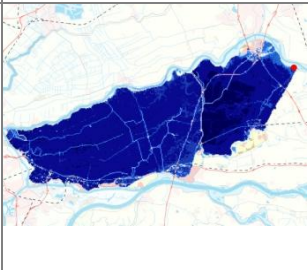
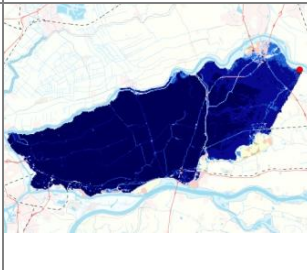
#### *Faalkans Diefdijk*

De faalkans van de Diefdijk is in deze gevoeligheidsanalyse niet berekend. In deze gevoeligheidsanalyse wordt gekeken naar de bijdrage aan het overstromingsrisico van dijkkring 16 voor verschillende aangenomen faalkansen van de Diefdijk. Er worden vijf faalkansen voor de Diefdijk beschouwd: 1,  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  en  $10^{-4}$ . De faalkansen van de Diefdijk zijn conditionele kansen. Een conditionele kans van 1 betekent dat de Diefdijk altijd faalt als dijkkring 43 overstroomt. Een conditionele kans van  $10^{-3}$  betekent dat de Diefdijk faalt in 1 op de 1.000 overstromingen van dijkkring 43.

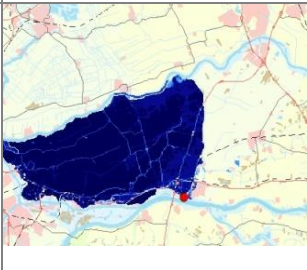
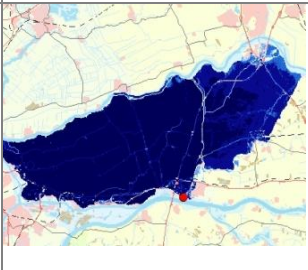
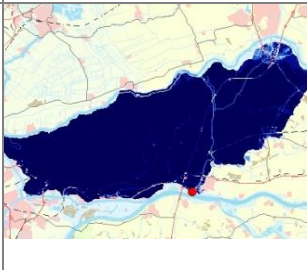
#### *Gevolgen van het falen van de Diefdijk*

Nagenoeg iedere overstromingsscenario van dijkkring 43 leidt tot hoge waterstanden tegen de Diefdijk. Hierbij kan de waterdiepte oplopen tot 5 à 6 meter. De locatie van de doorbraak in dijkkring 43 is van belang voor waar de waterdiepte bij de Diefdijk het grootst wordt. Bij doorbraken langs de Nederrijn wordt de noordelijke Diefdijk zwaarder belast. Bij doorbraken langs de Waal wordt de Diefdijk bij Gorinchem het zwaarst belast.

Voor de bijdrage van de Diefdijk aan het overstromingsrisico van dijkkring 16 moet idealiter ook gekeken worden naar de gevolgen van het falen van de Diefdijk door hoge waterstanden in dijkkringgebied 43. Omdat in het project VNK2 alleen overstromingssommen beschikbaar zijn van de afzonderlijke dijkringen en de Diefdijk de grens vormt tussen de provincies Zuid-Holland en Gelderland is er geen model beschikbaar waarmee de gevolgen van het falen van de Diefdijk kunnen worden berekend. In deze gevoeligheidsanalyse is daarom gekeken naar de gevolgen van het falen van de primaire keringen categorie a van dijkkring 16 het dichtst bij de Diefdijk. In het noorden is dit een doorbraak bij Everdingen (Figuur 68), in het zuiden een doorbraak bij Gorinchem (Figuur 69). De verschillen in schade en slachtoffers tussen een doorbraak bij Everdingen en Gorinchem zijn groot. De economische schade bij een doorbraak in Gorinchem kan wel een factor 2 hoger zijn dan de schade bij Everdingen. Het aantal slachtoffers is bij een doorbraak bij Gorinchem een factor 4 tot 6 hoger.

	tp-1d	tp	tp+1d
<b>Waterdiepte (m)</b>			
<b>Schade [M€]</b>	4.910	8.710	13.665
<b>Slachtoffers</b>	55-495	115-1.060	180-1.625

Figuur 68: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Everdingen voor drie buitenwaterstanden.

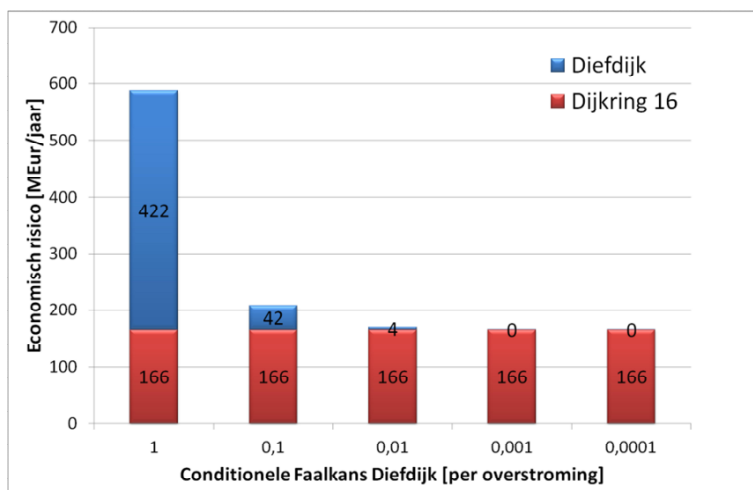
	tp-1d	tp	tp+1d
<b>Waterdiepte (m)</b>			
<b>Schade [M€]</b>	10 365	15.195	21.010
<b>Slachtoffers</b>	195-1.775	400-3.625	1.040-9.435

Figuur 69: Maximale waterdiepte en verwachte schade en slachtofferaantallen bij een doorbraak bij Gorinchem voor drie buitenwaterstanden.

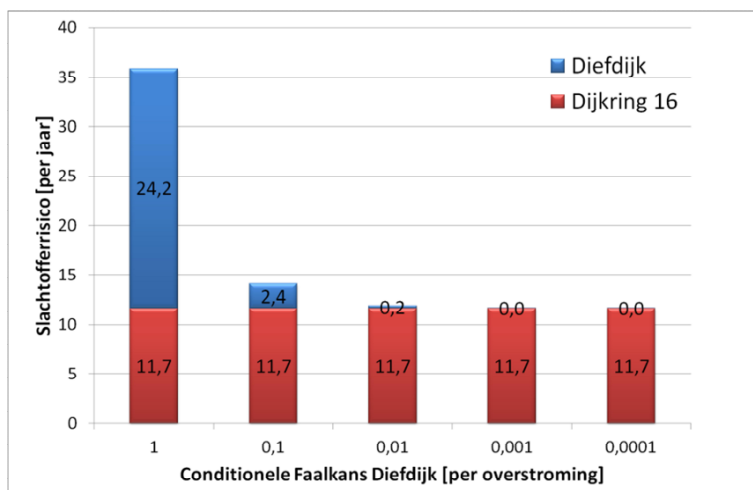
Voor het effect van de Diefdijk op het overstromingsrisico van dijkkringgebied 16 is uitgegaan van de schade en slachtoffers horend bij een overstroming bij Gorinchem waarbij de buitenwaterstand gelijk is aan toetspeil. Er is gekozen voor een doorbraak bij Gorinchem aangezien de Waaldijken van dijkkring 43 zwakker zijn dan de dijken langs de Nederrijn. Het totaal van de scenariokansen waarbij de Waaldijken van dijkkring 43 falen heeft een bijdrage van circa 90% aan de overstromingskansen van dijkkring 43. Het is dus zeer waarschijnlijk dat de Diefdijk nabij Gorinchem zwaar wordt belast. Wel wordt opgemerkt dat deze gevolgen vermoedelijk een overschatting zijn aangezien het hier een doorbraak vanuit de rivier betreft.

#### Effect Diefdijk op overstromingsrisico van dijkkring 16

In deze gevoeligheidsanalyse wordt alleen gekeken naar het effect van de Diefdijk op het economische risico en het slachtofferrisico. De beschikbare informatie is onvoldoende gedetailleerd om de andere risicomaten zoals het groepsrisico, het plaatsgebonden risico of het lokaal individuele risico te duiden. Het effect van de Diefdijk op het overstromingsrisico van dijkkringgebied 16 is weergegeven voor de verwachtingswaarde van het economische risico (Figuur 70) en de verwachtingswaarde van het slachtofferrisico (Figuur 71). Uit de figuren blijkt dat de Diefdijk bij een conditionele faalkans van 1 leidt tot een verhoging van het risico met een factor 3. Bij deze conditionele faalkans is de bijdrage van de Diefdijk aan het overstromingsrisico van dijkkringgebied 16 circa 70%. Bij een conditionele faalkans van 0,1 is deze bijdrage circa 20%. Bij kleinere conditionele faalkansen is de bijdrage van de Diefdijk aan het overstromingsrisico van dijkkringgebied 16 niet meer significant.



Figuur 70: Effect Diefdijk op het economisch risico van dijkkringgebied 16.



Figuur 71: Effect Diefdijk op het slachtofferrisico van dijkkringgebied 16.

### 7.6.3 Diefdijk en dijkkring 43

De Diefdijk zorgt ervoor dat het water na een overstrooming van dijkkringgebied 43 niet verder kan stromen richting dijkkringgebied 16. Hierdoor worden schade en slachtoffers voorkomen in dijkkring 16. Dit zorgt echter ook voor grotere waterdieptes voor de Diefdijk in dijkkringgebied 43. Dit heeft een negatief effect op de schade en slachtoffers in dijkkringgebied 43 en daarmee ook op het overstromingsrisico.

Om een goed beeld te krijgen van het effect van de Diefdijk op het overstromingsrisico van dijkkringgebied 43 moet een vergelijk worden gemaakt tussen de overstromingssommen met de Diefdijk en een hypothetische situatie waarbij de Diefdijk is doorgraven. Van deze hypothetische situatie zijn echter geen gegevens beschikbaar waardoor het effect van de Diefdijk op het overstromingsrisico van dijkkringgebied 43 niet is te kwantificeren. Wel blijkt uit de gevoeligheidsanalyse van de Dalemse overlaat, weergegeven in het rapport 'Veiligheid van Nederland in Kaart, Overstromingsrisico dijkkring 43 Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden' [18], dat de schade en het aantal slachtoffers verdubbelen wanneer de overlaat niet wordt ingezet. De overlaat zorgt ervoor dat de waterstanden tegen de Diefdijk lager blijven. Dit is vooral bedoeld om de Diefdijk te ontlasten maar zorgt ook voor een verlaging in schade en slachtofferaantallen in dijkkringgebied 43. Een situatie zonder Diefdijk heeft eenzelfde soort effect als de Dalemse overlaat. De waterdieptes in dijkkringgebied 43 worden minder groot wat een positief effect heeft op het overstromingsrisico.



---

#### 7.6.4 Resumé

De Diefdijk is een categorie c-kering vormt de scheiding tussen de dijkringen 16 en 43. Voor beide dijkringen is in het project VNK2 een relatief groot overstromingsrisico berekend (hoofdstuk6) [18]. In de analyse van beide dijkringen is uitgegaan van een standvaste Diefdijk. Dit betekent dat de bijdrage van de Diefdijk aan het overstromingsrisico van dijkkringgebied 16 niet is beschouwd en dat de waterdiepte in dijkkringgebied 43 groter wordt door opstuwing van de Diefdijk.

In de analyse van dijkkring 16 zijn voor de faalkans van de Diefdijk vijf conditionele kansen aangenomen tussen de 1 en  $10^{-4}$  per overstroming van dijkkring 43. Voor iedere conditionele kans is de bijdrage aan het overstromingsrisico van dijkkringgebied 16 berekend. Uit deze berekeningen blijkt dat de Diefdijk het risico met een factor 3 vergroot bij een conditionele kans van 1. Bij een conditionele kans van  $10^{-1}$  vergroot de Diefdijk het risico nog met een factor 1,2. Bij kleinere conditionele kansen is de bijdrage van de Diefdijk aan het overstromingsrisico van dijkkring 16 niet significant.

Het effect van de Diefdijk op het overstromingsrisico van dijkkringgebied 43 is niet te kwantificeren vanwege het ontbreken van gegevens. Het is wel duidelijk dat de Diefdijk zorgt voor hogere waterstanden in dijkkring 43. Om een gevoel te krijgen voor het effect van de hogere waterstanden op het risico kan gekeken worden naar de analyse van de Dalemse overlaten. Het inzetten van de Dalemse overlaten zorgt voor lagere waterstanden in dijkkringgebied 43 waardoor het overstromingsrisico met circa een factor 2 wordt verlaagd. In het geval de Diefdijk niet zou bestaan dan zal dit nog een veel grotere waterstandverlaging tot gevolg hebben.

Hoewel het onmogelijk is op basis van deze gevoeligheidsanalyse een uitspraak te doen over de optimale beschermingsnorm van de Diefdijk, worden toch enkele conclusies gegeven:

1. Doordat de overstromingskansen van dijkringen 16 en 43 van dezelfde orde grootte zijn ( $>1/100$  per jaar), heeft een zwakke Diefdijk met een conditionele kans van 1 à  $1/10$  een relatief grote bijdrage aan het overstromingsrisico van dijkkringgebied 16, vanaf een conditionele faalkans kleiner dan  $1/10$  wordt de bijdrage niet meer significant. Indien de overstromingskans van dijkkring 43 kleiner wordt dan die van dijkkring 16 dan wordt de bijdrage van de Diefdijk kleiner. Wanneer de overstromingskans van dijkkring 43 groter wordt dan die van dijkkring 16 wordt de bijdrage van de Diefdijk ook groter.
2. De Diefdijk heeft een negatief effect op het overstromingsrisico van dijkkring 43 vanwege de hogere waterstanden die het veroorzaakt. Indien de Diefdijk geen doorlopende kering zou zijn dan is een aanzienlijk lager overstromingsrisico voor dijkkringgebied 43 te verwachten.
3. De Diefdijk wordt pas belast na een overstroming van dijkkringgebied 43. De belasting van de Diefdijk is in dat geval dan ook meteen groot (5 tot 6 m water). Dit is een belangrijk gegeven bij het beschouwen van de conditionele kans van de Diefdijk. Op dit moment voldoet de Diefdijk niet aan de eisen waardoor een grote conditionele kans aannemelijk lijkt.
4. Een Diefdijk met een grote conditionele faalkans geeft de meest ongunstige situatie. In deze situatie zorgt de Diefdijk door opstuwing voor een verhoging van het risico in dijkkringgebied 43 terwijl ze nagenoeg geen bescherming biedt aan dijkkringgebied 16.
5. Voor het bepalen van het optimale beschermingsniveau van de Diefdijk moeten dijkkringgebied 16 en 43 als één gebied worden beschouwd. Hiervoor zijn nieuwe overstromingsmodellen en overstromingsscenario's nodig. Met deze gegevens kan een kosten-batenanalyse worden uitgevoerd die als basis kan dienen voor het afleiden van een veiligheidsnorm.

---

## 7.7 Effect van overige aannamen in de risicoanalyse op berekeningsresultaten

Binnen de risicoanalyse zoals gepresenteerd in de voorgaande hoofdstukken zijn uitgangspunten en aannamen gehanteerd. Deze analyse maakt voor drie van deze aannamen inzichtelijk wat het effect van een andere keuze bij deze aannamen zou zijn op de berekende overstromingskans en het overstromingsrisico in de huidige situatie. Dit betreft de volgende aannamen:

1. Erosie van de bodem van de Lek;
2. Faalkans *Macrostabieliteit binnenwaarts* 1/100 per jaar;
3. Waterstandverlaging project 'Ontpoldering Noordwaard'.

Het effect van bovengenoemde aspecten op de berekende overstromingskansen en overstromingsrisico's is nader uitgewerkt in onderstaande paragrafen.

### 7.7.1 Effect van bodemerosie van de Lek

Bij de bouw van de stuwen in de Lek zijn nieuwe riviergedeelten aangelegd waarvan de bodem circa 1,0 tot 1,5 m lager gelegen is dan de bestaande rivierbodem. Hierdoor is de bodem benedenstrooms van de stuwen lager komen te liggen, deze daling plant zich stroomafwaarts voort. Door de daling van de bodem dalen ook de waterstanden. Tegelijkertijd worden de dijken in het gebied versterkt. Met de bodemdaling zou het verder verhogen van de dijken op lange termijn niet meer nodig zijn [40]. Het is daarom interessant te beschouwen wat de erosie van de bodem van de Lek, op lange termijn, met het risico van dijkkringgebied 16 doet.

Om meer inzicht te krijgen in het effect van de bodemerosie van de Lek is daarom een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. In een door Deltares opgesteld rapport [40] is het MHW effect van 40 jaar erosie van de bodem bepaald. Het effect is bepaald ten opzichte van de HR2006 (gebruikt voor de huidige toetspeilen). Voor het uitvoeren van de benodigde faalkansberekeningen is elk dijkvak gekoppeld aan een rivierkilometer en is de lokale waterstanddaling bepaald (zie Tabel 53 in Bijlage I).

Omdat geen andere getallen beschikbaar zijn is in deze gevoeligheidsanalyse het MHW effect van 40 jaar erosie van de bodem van de Lek beschouwd. Dit is dus een toekomstige situatie, effecten van klimaatverandering zijn niet beschouwd. De resultaten zijn indicatief en moeten dus ook als dusdanig worden beschouwd. Er wordt opgemerkt dat de erosie van de bodem van de Lek mogelijk leidt tot erosie van slecht doorlatende lagen wat een negatieve invloed kan hebben op de stabiliteit van de waterkeringen. Dit effect is niet meegenomen in deze analyse.

#### *Overstromingskansen na bodemerosie van de Lek*

Op basis van Tabel 35 kan worden geconcludeerd dat een waterstandverlaging als gevolg van de erosie van de bodem van de Lek leidt tot een afname van de overstromingskans; de overstromingskans neemt af van >1/100 per jaar naar 1/120 per jaar (circa factor 2,0). Deze verandering in overstromingskans is vooral het gevolg van een verandering van de faalkansen voor het maatgevende faalmechanisme *opbarsten en piping*. Voor dit faalmechanisme daalt de faalkans met een factor 2,0. Deze factor is daarom ook direct terug te zien in de daling van de overstromingskans van de dijkkring. Alle maatgevende vakken liggen langs de Lek, doordat ook het waterstandverlagende effect van de bodemerosie alleen op de Lek waarneembaar is, is dit effect ook direct zichtbaar in de overstromingskans.

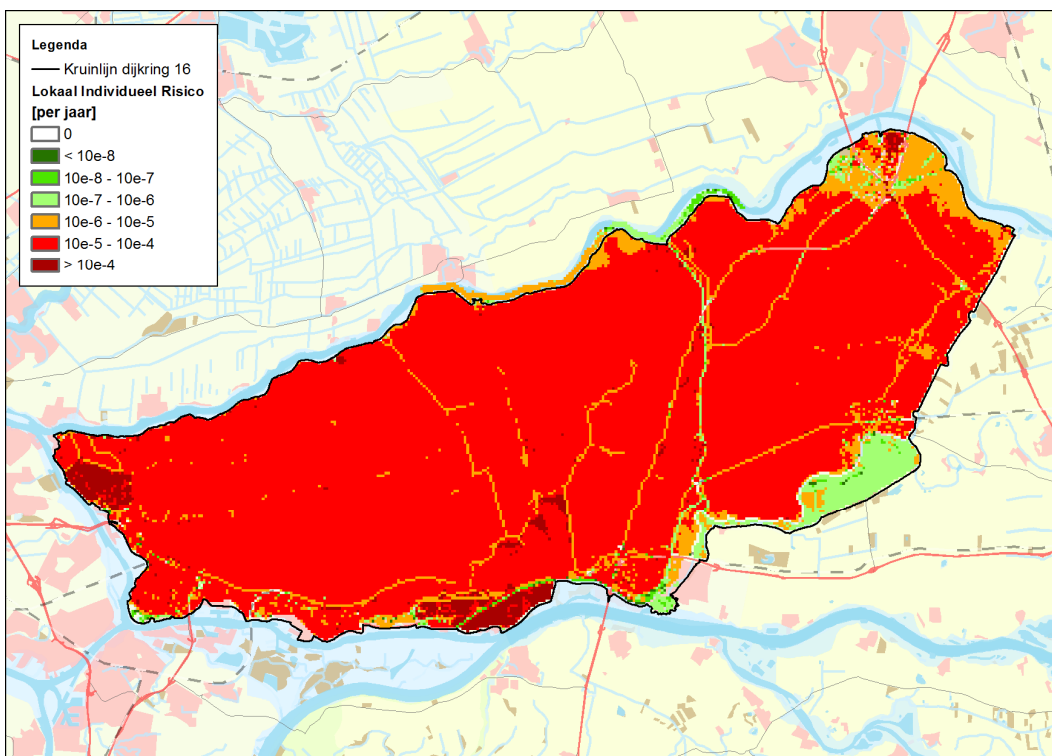
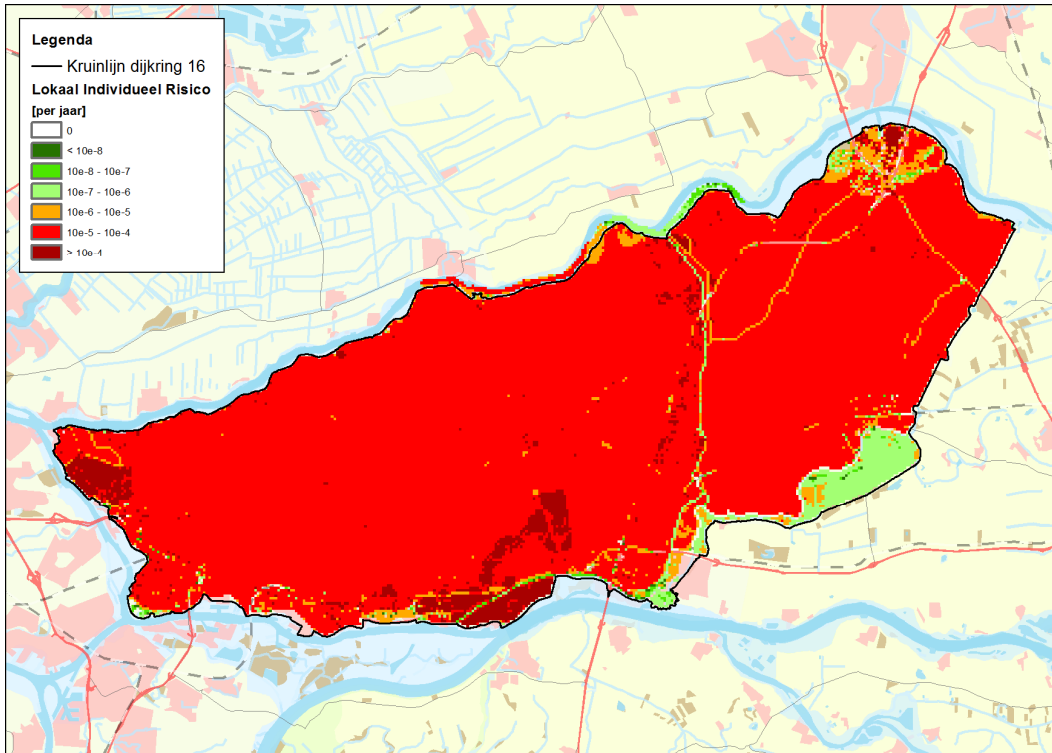
Type	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)		
		Oorspronkelijk	Bodem erosie van de Lek	Reductie factor
Dijk	Overloop en golfoverslag	1/1.460	1/1.600	1,1
	Macrostabieliteit binnenwaarts	1/360	1/680	1,9
	Opbarsten en piping	>1/100	1/150	2,0
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/80.000	1/180.000	2,3
Kunstwerk	Overloop en golfoverslag	1/46.000	1/93.000	2,0
	Niet sluiten	1/10.000	1/10.000	1,0
	Onderloopsheid en achterloopsheid (piping)	<1/1.000.000	<1/1.000.000	1,0
	Constructief falen	<1/1.000.000	<1/1.000.000	1,0
Overstromingskans		>1/100	1/120	2,0

Tabel 35: Berekende faalkansen per faalmechanisme en op ringniveau de overstromingskans.

#### Overstromingsrisico's na bodemerosie van de Lek

Een waterstanddaling als gevolg van de erosie van de bodem van de Lek leidt tot kleinere faalkansen voor de waterkeringen en tot een verlaging van het overstromingsrisico. De verwachtingswaarde van de economische schade neemt met circa 48% af van 166,4 naar 87,0 miljoen euro per jaar. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar neemt met circa 31% af van 11,7 naar 8,1 slachtoffers per jaar.

In vrijwel de hele dijkring is een afname van het lokaal Individueel Risico waarneembaar (Figuur 72). Met name nabij Beneden-Hardinxveld is een duidelijke afname van het LIR waarneembaar. Vanwege de gekozen schaal is het effect niet overal zichtbaar. Toch is er een duidelijk effect op het Lokaal Individueel Risico in het hele dijkringgebied. Dit is verklaarbaar, de maatregelen veroorzaken een waterstandverlagend effect langs de Lek, dit is ook waar de meest zwakke vakken liggen. De scenario-kansen van de dominante scenario's nemen af, waardoor het LIR in het hele gebied afneemt.



Figuur 72: LIR in de huidige situatie (boven) en na 40 jaar erosie van de bodem van de Lek (onder).

### 7.7.2 Effect faalkans macrostabiliteit binnenwaarts 1/100 per jaar

Voor twee vakken (16.AW091.098 en 16.VY059.065) zijn faalkansen voor het faalmechanisme *macrostabiliteit binnenwaarts* berekend die als onwaarschijnlijk worden beoordeeld (paragraaf 3.4.2). In de bepaling van de overstromingskans is er daarom voor gekozen dit faalmechanisme voor deze vakken niet mee te nemen. Om de consequenties van deze aanname op de overstromingskans te bepalen is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij een faalkans van 1/100 per jaar is aangenomen voor deze vakken. De gehanteerde werkwijze is opgenomen in Bijlage K.

#### Berekeningsresultaten overstromingskansen

In de huidige situatie is voor dijkvak 16.AW091.098 een gecombineerde faalkans van 1/320.000 per jaar berekend (Tabel 36). Dit dijkvak ligt in het ringdeel Papendrecht AW112. Voor dit ringdeel is het maatgevende dijkvak 16.AW104.108 met een gecombineerde faalkans van 1/6.500 per jaar. De overige vakken in dit ringdeel hebben een relatief kleine faalkans. Het toevoegen van een faalkans van 1/100 per jaar voor het faalmechanisme *macrostabiliteit binnenwaarts* zal dus een grote invloed hebben op de scenariokans voor dit ringdeel. Deze neemt als gevolg hiervan toe van 1/16.000 per jaar naar 1/640 per jaar (Bijlage K, Tabel 55).

Voor het dijkvak 16.VY059.065 is een gecombineerde faalkans van 1/340 per jaar berekend (Tabel 36). Dit dijkvak ligt in ringdeel Vianen VY062, en is tevens het maatgevende dijkvak in dit ringdeel. Omdat het andere vak in dit ringdeel ook een relatief grote faalkans heeft zal de invloed op de scenariokans voor dit ringdeel naar verhouding minder groot zijn. Deze neemt toe van 1/330 naar 1/260 per jaar (Bijlage K, Tabel 55).

Ringdeel	Dijkvak	Dijken				Faalkans op vakniveau**
		Overloop en golfoverslag	Macrostabiliteit binnenwaarts*	Opbarsten en piping	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	
Papendrecht AW112	16.AW125.132	<1/1.000.000	-	-	-	<1/1.000.000
	16.AW119.125	1/37.000	-	-	-	1/37.000
	16.AW112.119	1/27.000	-	-	-	1/27.000
	16.AW108.112	1/110.000	-	-	-	1/110.000
	16.AW104.108	1/31.000	-	1/8.700	1/150.000	1/6.500
	16.AW098.104	1/130.000	-	-	-	1/130.000
	16.AW091.098	1/320.000	<b>1/100</b>	-	-	1/320.000
Vianen VY062	16.VY059.065	1/36.000	<b>1/100</b>	1/340	-	1/340
	16.VY052.059	1/14.000	-	1/280	-	1/280

\* Voor deze vakken wordt een faalkans van 1/100 per jaar voor *macrostabiliteit binnenwaarts*, door de faalkans voor *overloop en golfoverslag* gelijk te stellen aan 1/100.

\*\* De faalkans op vakniveau in bovenstaande tabel is die van de originele resultaten.

Tabel 36: Berekende faalkansen voor de verschillende faalmechanismen van de vakken in de ringdelen waarin de vakken die worden beschouwd in de gevoeligheidsanalyse voor *macrostabiliteit binnenwaarts* aanwezig zijn.

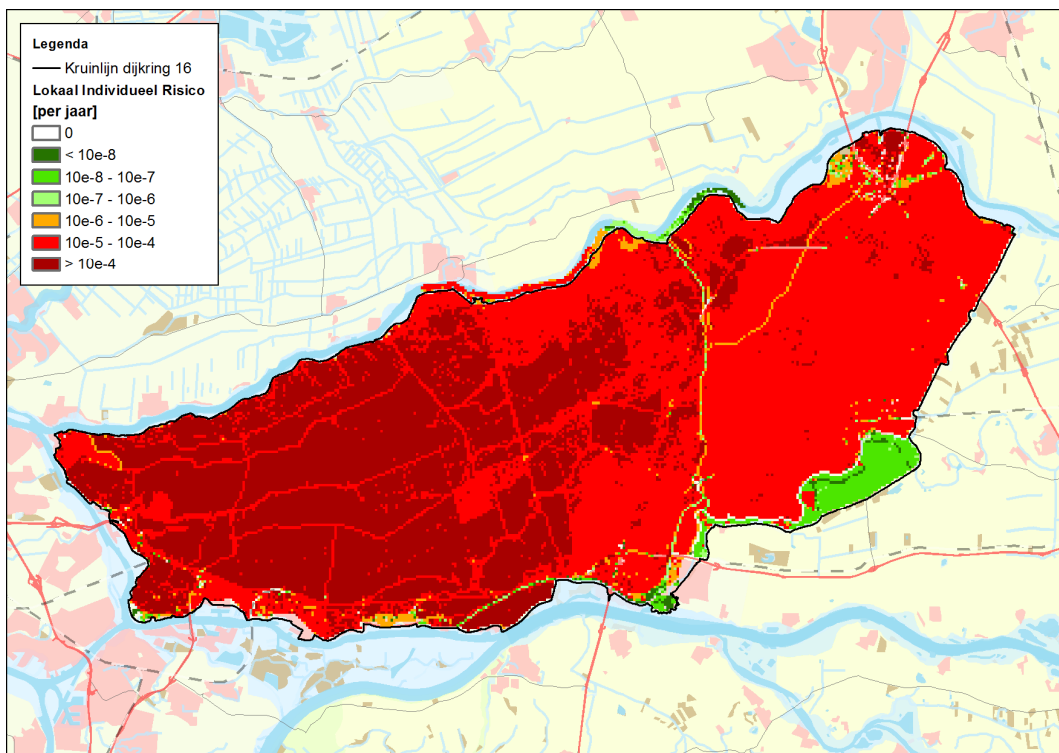
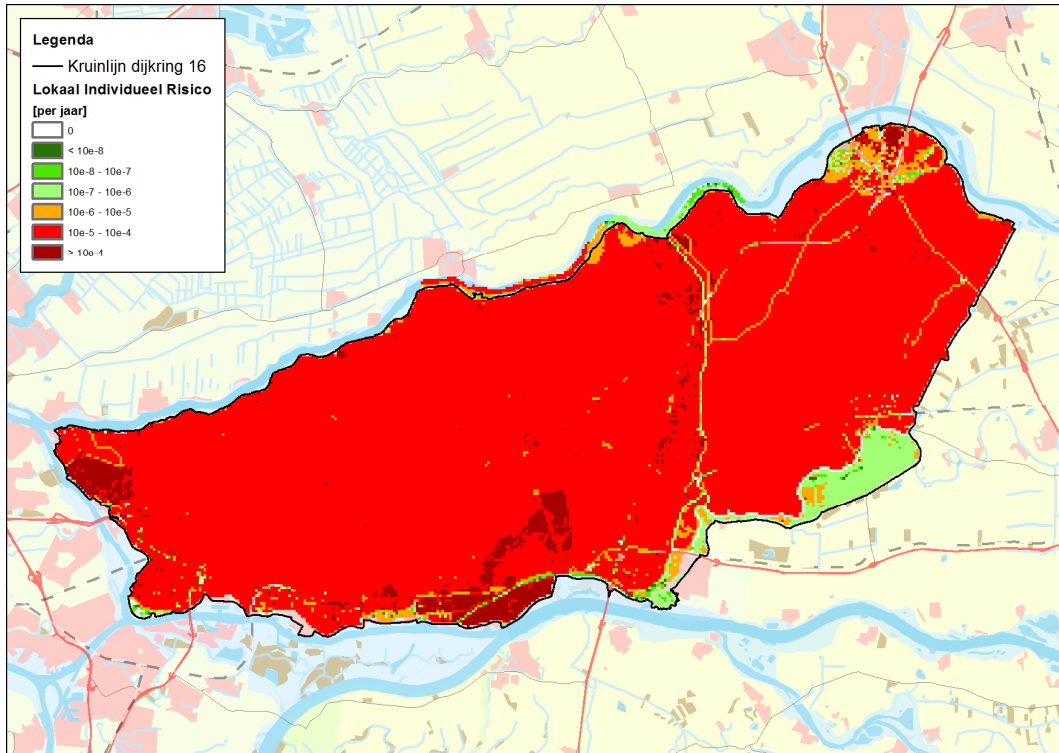
---

#### *Berekeningsresultaten overstromingsrisico's*

Uit de risicoberekeningen blijkt dat de verwachtingswaarde van de economische schade met circa 54% toeneemt van 166,4 miljoen euro per jaar naar 244,5 miljoen euro per jaar. Zoals blijkt uit Tabel 55 in Bijlage K komen de scenario's waarin het ringdeel Papendrecht AW122 aanwezig is in de nieuwe berekening veel sterker naar voren. De top 10 scenario's met de grootste bijdrage aan het economisch risico bevat vier scenario's waarin dit ringdeel aanwezig is. De scenariokansen van de nabijgelegen ringdelen nemen af, deze zijn afhankelijk van het al dan niet falen van het betreffende ringdeel. Opvallend is dat een doorbraak in ringdeel Ameide AW296 nu maatgevend wordt, de scenariokansen van dit ringdeel veranderd relatief weinig ten opzichte van de overige maatgevende ringdelen.

De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers neemt toe met meer dan een factor 3 van 11,7 slachtoffers per jaar naar 36,3 slachtoffers per jaar. De scenario's waarin het ringdeel Papendrecht AW112 aanwezig is komen in het slachtofferrisico ook veel sterker naar voren, dit ringdeel is in de nieuwe top 10 scenario's met de grootste bijdrage aan het slachtofferrisico in alle gevallen aanwezig (Bijlage K, Tabel 56). Omdat de evacuatiefracties van deze scenario's veel kleiner zijn en de conditionele kansen van de ongunstige scenario's veel groter zijn, komt het effect sterker terug in het slachtofferrisico dan in het economisch risico.

Bovenstaande is ook zichtbaar in het Lokaal Individueel Risico (Figuur 73). Vooral in het benedenstroomse deel van dijkkringgebied 16 is een forse toename van het LIR waar te nemen. Dit valt volledig te verklaren door de significant hogere scenario-kansen van de scenario's waarin ringdeel Papendrecht AW112 aanwezig is.



*Figuur 73: LIR in de huidige situatie (boven) en voor situatie met faalkans macrostabiliteit binnenwaarts is 1/100 per jaar (onder).*

### 7.7.3 Effect waterstandverlaging project 'Ontpoldering Noordwaard'

De waterstandverlaging die het Ruimte voor de Rivier project 'Ontpoldering Noordwaard' realiseert op de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede is bekend [36]. Het berekende MHW effect van dit project is een factor 2 groter dan de formele taakstelling (verschil in toetspeil tussen HR2006 en HR1996) conform de PKB Ruimte voor de Rivier. Deze analyse geeft inzicht in het effect van deze extra waterstanddaling op de berekende kansen en risico's ten opzichte van de berekeningen met de formele taakstelling zoals gepresenteerd in paragraaf 7.2.

#### Werkwijze

Voor dijkkring 16 zijn vier Ruimte voor de Rivier projecten van toepassing. De eerste drie betreffen de projecten 'Ontpoldering Noordwaard', 'Uiterwaardvergraving Avelingen' en 'Ruimte voor de Lek Vianen'. Waar rivierverruiming niet mogelijk is, worden aanvullende dijkverbeteringen uitgevoerd. In het kader van Ruimte voor de Rivier betreft dit het project 'Dijkverbetering Lek / Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden'. De dijkverbeteringen in het kader van Ruimte voor de Rivier hebben geen effect op de waterstanden en zijn in deze analyse dus niet beschouwd.

In deze analyse is voor de Lek de formele taakstelling conform de PKB Ruimte voor de Rivier aangehouden, zoals weergegeven in Tabel 48 in Bijlage I. Voor de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede is de waterstandverlaging die het Ruimte voor de Rivier project 'Ontpoldering Noordwaard' op deze riviertakken realiseert aangehouden. Deze waterstandverlaging is weergegeven in respectievelijk Tabel 51 en Tabel 52. Omdat het effect van het project 'Uiterwaardvergraving Avelingen' veel minder is dan het effect van de 'Ontpoldering Noordwaard' en omdat het effect over de as van de rivier niet bekend is, is dit project buiten beschouwing gelaten.

#### Berekeningsresultaten overstromingskansen

In Tabel 37 zijn de berekende faalkansen voor de beschouwde faalmechanismen en de overstromingskans voor dijkkring 16 weergegeven voor de huidige situatie, de situatie na uitvoering van Ruimte voor de Rivier maatregelen conform taakstelling en de situatie na uitvoering Ruimte voor de Rivier maatregelen met het effect van het project 'Ontpoldering Noordwaard'. Uit de tabel blijkt dat een waterstandverlaging zoals bedoeld in de PKB Ruimte voor de Rivier conform taakstelling leidt niet tot een wezenlijk kleinere overstromingskans van de dijkkring ten opzichte van de huidige situatie; de overstromingskans blijft >1/100 per jaar.

Type kering	Faalmechanisme	Faalkans (per jaar)		
		Huidige situatie	Ruimte voor de Rivier conform taakstelling	Ruimte voor de Rivier conform Noordwaard
Dijk	Overloop en golfoverslag	1/1.460	1/1.670	1/2.000
	Macrostabiliteit binnenwaarts	1/360	1/480	1/480
	Opbarsten en piping	>1/100	1/100	1/100
	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/80.000	1/82.000	1/170.000
Kunstwerk	Overloop en golfoverslag	1/46.000	1/60.000	1/60.000
	Niet sluiten	1/10.000	1/11.000	1/12.000
	Onderloopsheid en achterloopsheid (piping)	<1/1.000.000	<1/1.000.000	<1/1.000.000
	Constructief falen	<1/1.000.000	<1/1.000.000	<1/1.000.000
Overstromingskans		>1/100	>1/100	>1/100

Tabel 37: Berekende faalkansen per faalmechanisme en op ringniveau de overstromingskansen.



Ook de extra waterstanddaling als gevolg van het project 'Ontpoldering Noordwaard' ten opzichte van de taakstelling leidt niet tot een wezenlijk kleinere overstromingskans van de dijkkring, ook voor deze situatie blijft de overstromingskans >1/100 per jaar. De (kleine) verandering in overstromingskans is vooral het gevolg van een verandering van de faalkansen voor het maatgevende faalmechanisme *opbarsten en piping*. De faalkans voor dit faalmechanisme wijzigt echter niet tot nauwelijks als gevolg van de extra waterstanddaling door het project 'Ontpoldering Noordwaard'. Dit project heeft alleen effect op de waterstanden op de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede, terwijl de faalkansen voor het faalmechanisme *opbarsten en piping* worden gedomineerd door de berekende faalkansen voor de vakken langs de Lek.

Daarnaast valt de faalkans berekend voor het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* op. Samen met het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* is dit het faalmechanisme waarop een daling van de maatgevende waterstanden direct effect heeft, doordat beide faalmechanismen sterker direct waterstandsafhankelijk zijn dan de overige faalmechanismen.

#### *Berekeningsresultaten overstromingsrisico's*

Een waterstanddaling als gevolg van de Ruimte voor de Rivier maatregelen leidt tot kleinere faalkansen voor de waterkeringen en een verlaging van het overstromingsrisico (Tabel 38). De verwachtingswaarde van de economische schade neemt als gevolg van de Ruimte voor de Rivier maatregelen conform taakstelling met circa 29% af van 166,4 naar 118,9 miljoen euro per jaar. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar neemt met circa 30% af van 11,7 naar 8,2 slachtoffers per jaar. Doordat de schade en slachtoffers voornamelijk worden bepaald door overstromingen vanuit de Lek werkt de reductie in faalkans voor de dijkvakken langs de Lek door waterstandverlaging vrijwel één op één door in de reductie van het overstromingsrisico.

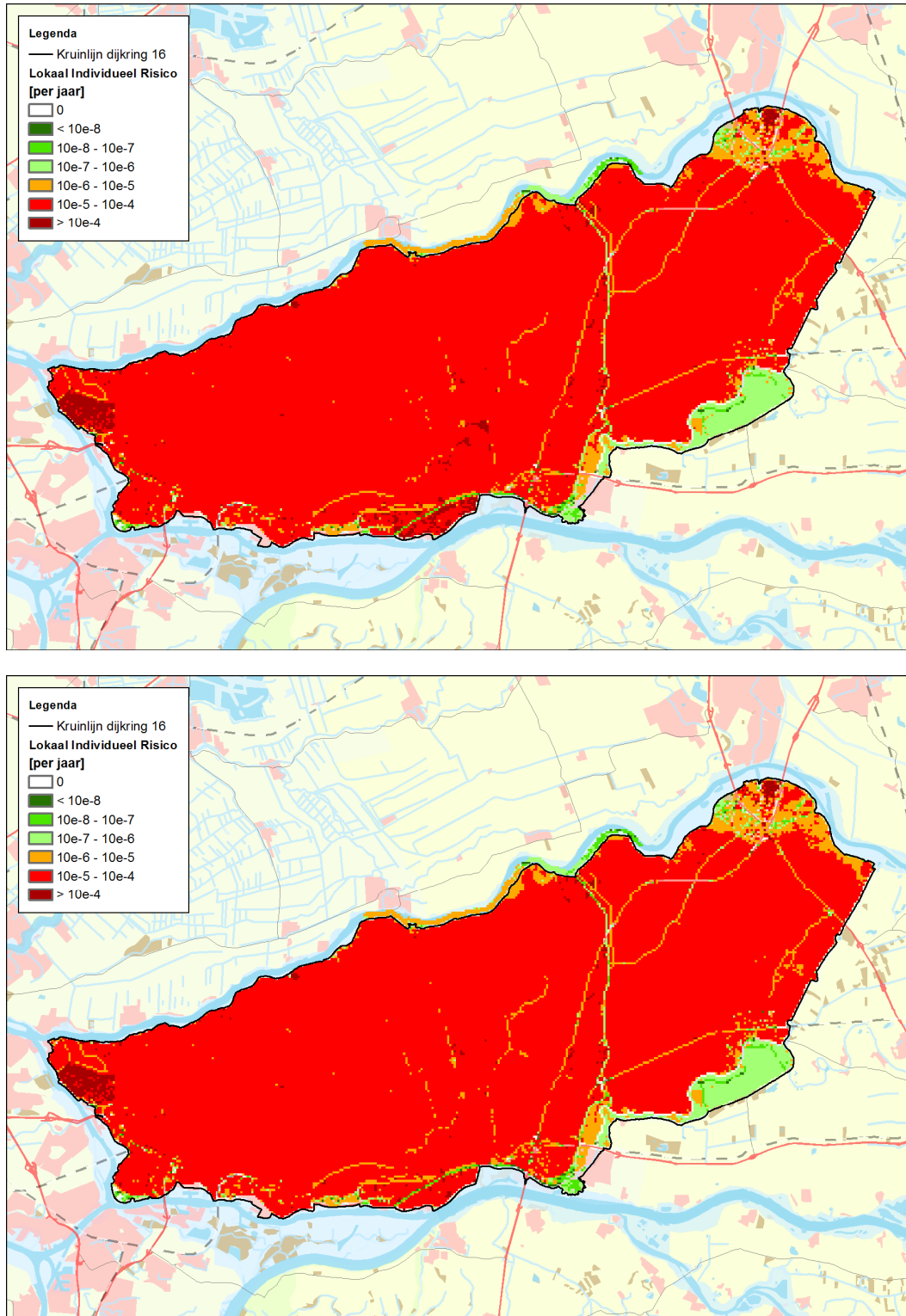
De verwachtingswaarde van de economische schade neemt als gevolg van het effect van het Ruimte voor de Rivier project 'Ontpoldering Noordwaard' verder af tot 114,1 miljoen euro per jaar. Ook de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar neemt verder af tot 7,3 slachtoffers per jaar. Doordat de schade en slachtoffers voornamelijk worden bepaald door overstromingen vanuit de Lek werkt de extra waterstanddaling door het project 'Ontpoldering Noordwaard' minder sterk door in de reductie van de faalkansen en daarmee ook minder sterk in de reductie van het overstromingsrisico.

Overstromingskansen en -risico's	Huidige situatie	Ruimte voor de Rivier conform taakstelling	Ruimte voor de Rivier conform Noordwaard
Overstromingskans (per jaar)	>1/100	>1/100	>1/100
Verwachtingswaarde economisch risico (M€/jaar)	166,4	118,9	114,1
Verwachtingswaarde slachtofferrisico (aantal/jaar)	11,7	8,2	7,3

Tabel 38: Berekende overstromingskansen en -risico's voor dijkkringgebied 16.

In Bijlage K zijn de FN- en FS-curve voor de situatie na uitvoering van de Ruimte voor de Rivier maatregelen opgenomen (respectievelijk Figuur 86 en Figuur 87). In deze figuren zijn naast de huidige situatie zowel de situatie na afronding van het project Ruimte voor de Rivier conform taakstelling opgenomen en de situatie na afronding van het project Ruimte voor de Rivier met het effect van het project 'Ontpoldering Noordwaard'. Deze curven vertonen een lichte neerwaartse verschuiving als gevolg van de relatief kleine afname van de overstromingskans van de dijkkring. Het verschil in oppervlakte tussen de curven is het verschil in economisch risico en slachtofferrisico.

In Figuur 74 zijn het LIR na afronding van de Ruimte voor de Rivier maatregelen conform taakstelling en het LIR na afronding van de Ruimte voor de Rivier maatregelen met het extra waterstandverlagende effect van het project 'Ontpoldering Noordwaard' weergegeven.



Figuur 74: LIR na Ruimte voor de Rivier conform taakstelling (boven) en na Ruimte voor de Rivier inclusief het effect van project 'Ontpoldering Noordwaard' (onder).

---

De verandering in het berekende LIR als gevolg van het extra waterstandverlagende effect van het project 'Ontpoldering Noordwaard' ten opzichte van de Ruimte voor de Rivier maatregelen conform taakstelling is vooral zichtbaar nabij Beneden-Hardinxveld. Het waterstandseffect van de Noordwaard is hier relatief groot, waardoor de veranderingen in het Lokaal Individueel Risico hier het grootst zijn. In het overige deel van het dijkkringgebied zijn de effecten nauwelijks zichtbaar. Dit is een logisch gevolg van het feit dat het project 'Ontpoldering Noordwaard' een waterstandverlagend effect veroorzaakt aan de zuidkant van het dijkkringgebied terwijl de vakken die maatgevend zijn voor de overstromingskans en het overstromingsrisico langs de Lek liggen aan de noordzijde van de dijkkring. De berekende kansen voor de maatgevende vakken worden dus niet beïnvloed, waardoor ook het resulterende risico niet tot nauwelijks wijzigt.

#### 7.7.4 *Resumé*

Hieronder zijn de resultaten van de analyses naar het effect van enkele aannamen op de overstromingskans en het overstromingsrisico kort samengevat.

##### *Effect bodemerosie van de Lek*

Een waterstandverlaging als gevolg van de erosie van de bodem van de Lek leidt tot een kleinere overstromingskans; de overstromingskans neemt af van >1/100 per jaar naar 1/120 per jaar (grosfweg factor 2,0). De verwachtingswaarde van de economische schade neemt af van 166,4 naar 87,0 miljoen euro per jaar. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers neemt af van 11,7 naar 8,1 slachtoffers per jaar. Dit effect is groter dan het effect van de Ruimte voor de Rivier maatregelen conform taakstelling (zie paragraaf 7.2). Dit is het gevolg van het feit dat de waterstandverlaging op de Lek als gevolg van de bodemerosie groter is dan de waterstanddaling als gevolg van de Ruimte voor de Rivier maatregelen en omdat deze waterstanddaling invloed heeft op vrijwel alle maatgevende vakken voor de overstromingskans van dijkkringgebied 16. Voor de volledigheid wordt hierbij opgemerkt dat het mogelijke negatieve effect van de bodemerosie in de vorm van het doorsnijden van slecht doorlatende lagen niet is beschouwd in deze analyse.

##### *Effect faalkans macrostabiliteit binnenwaarts is 1/100 per jaar*

Voor twee vakken (16.AW091.098 en 16.VY059.065) is een faalkans voor het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts berekend die als onwaarschijnlijk wordt beoordeeld. In de bepaling van de overstromingskans is er daarom voor gekozen dit faalmechanisme voor deze vakken niet mee te nemen. Om de consequenties van deze aanname op de overstromingskans te bepalen is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij een faalkans van 1/100 per jaar is aangenomen voor deze vakken. Uit de risicoberekeningen blijkt dat de verwachtingswaarde van de economische schade hierdoor toeneemt van 166,4 naar 244,5 miljoen euro per jaar. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers neemt toe van 11,7 naar 36,3 slachtoffers per jaar.

De gevoeligheid voor de aanname om de twee vakken niet mee te nemen in de risicoanalyse is vooral van belang voor het dijkvak 16.AW091.098 in het ringdeel Papendrecht AW112. Het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts wordt in dit ringdeel maatgevend. Het andere dijkvak, 16.VY059.065, ligt in een ringdeel waar andere faalmechanismen ongeveer even maatgevend zijn. Hier is de gevoeligheid voor de bedoelde aanname dus minder van belang. Hoewel de grootte van de faalkans niet betrouwbaar wordt geacht, is op beide locaties mogelijk wel een groot probleem met stabiliteit binnenwaarts. Voor beide locaties wordt dan ook aanbevolen om nader onderzoek uit te voeren om de bijdrage van deze dijkvakken aan de overstromingskans en het overstromingsrisico beter in te schatten, mede in het licht van de dijkverbeteringen die nog uitgevoerd gaan worden.

---

*Effect waterstandverlaging project 'Ontpoldering Noordwaard'*

Een waterstandverlaging als gevolg van Ruimte voor de Rivier maatregelen conform taakstelling leidt niet tot een wezenlijk kleinere overstromingskans. Ook een extra waterstandverlaging langs de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede als gevolg van het project 'Ontpoldering Noordwaard' leidt niet tot een wezenlijk kleinere overstromingskans. In beide gevallen blijft de overstromingskans >1/100 per jaar. De waterstandverlaging als gevolg van de Ruimte voor de Rivier maatregelen lijkt echter wel een substantieel effect te hebben op het berekende overstromingsrisico; de verwachtingswaarde van de economische schade en de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar nemen na maatregelen conform taakstelling af met respectievelijk 29% en 30% ten opzichte van de huidige situatie. De extra waterstandverlaging als gevolg van het project 'Ontpoldering Noordwaard' heeft echter een beperkt effect op de berekende risico's; de verwachtingswaarde van het economisch risico en het slachtofferrisico daalt met respectievelijk slechts 4% en 11% extra ten opzichte van de maatregelen conform taakstelling. Doordat de extra waterstandverlaging alleen effect heeft op de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede, terwijl de maatgevende vakken langs de Lek liggen is de hiermee geassocieerde afname van het risico beperkt.

---

## 8 Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk beschrijft de conclusies en aanbevelingen die volgen uit het onderzoek naar het overstromingsrisico van dijkkring 16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden. De conclusies en aanbevelingen betreffen zowel de berekende faalkansen, de gevolgen, als het overstromingsrisico.

### 8.1 Conclusies

#### 8.1.1 De huidige kans op een overstroming

- De berekende overstromingskans voor dijkkring 16 is  $>1/100$  per jaar. Benadrukt wordt dat deze kans alleen betrekking heeft op de categorie a-kering van dijkkring 16. (de keringen langs de Lek, Boven- en Beneden-Merwede en de Noord). De berekende overstromingskans is de kans dat de categorie a-kering faalt, waarbij een bres ontstaat en water het dijkkringgebied binnen kan stromen. Afhankelijk van de breslocatie(s) worden bepaalde delen van het dijkkringgebied getroffen.
- De kans op een overstroming door het falen van de categorie a-kering van dijkkring 16 wordt gedomineerd door de faalkansen berekend voor de dijken, waarin het faalmechanisme opbarsten en piping (faalkans  $>1/100$  per jaar) en macrostabiliteit binnenwaarts (faalkans  $1/360$  per jaar) maatgevend zijn. De bijdrage van het faalmechanisme opbarsten en piping aan de overstromingskans is circa 79%, de bijdrage van het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts is circa 16%. De overige faalmechanismen (overloop en golfoverslag en beschadiging bekleding en erosie dijklichaam) dragen met respectievelijk 4% en 0% nauwelijks bij aan de totale overstromingskans van de dijkkring.
- Voor twee locaties (Papendrecht en Vianen) zijn als gevolg van een gebrek aan lokale informatie onbetrouwbaar grote faalkansen berekend voor het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts (dijken).
- De kunstwerken leveren een beperkte bijdrage aan de overstromingskans van de dijkkring als geheel (circa 1%), waarbij het faalmechanisme niet-sluiten (betrouwbaarheid sluiting) het dominante faalmechanisme is.
- Hoewel de berekende faalkansen vrij uniform verdeeld zijn over de dijkkring zijn de faalkansen groter bij de dijkvakken bovenstrooms langs de Lek. Deze dijkvakken leveren de grootste bijdrage aan de overstromingskans van dijkkring 16. De dijkvakken tussen Langerak en Vianen zijn de dominante vakken en hebben relatief grote faalkansen voor de faalmechanismen opbarsten en piping (variërend van  $1/280$  tot  $1/960$  per jaar) en macrostabiliteit binnenwaarts ( $1/370$  per jaar).
- In deze risicoanalyse is het voorkeursalternatief van het Ruimte voor de Rivier-project Hagestein-Fort Everdingen (dijkversterking in het kader van Ruimte voor de Rivier) meegenomen. Aangezien de maatregelen bij Vianen nog niet voldoende zijn uitgewerkt en er nog nader onderzoek wordt uitgevoerd op het traject Schoonhovenseveer – Langerak zijn deze niet meegenomen in de risicoanalyse. De berekende faalkansen van de dijkvakken na uitvoering van het voorkeursalternatief zijn nog steeds relatief groot ( $1/550$  en  $1/890$  per jaar).
- Het beeld van de veiligheid van de waterkeringen dat volgt uit de faalkansen en overstromingskansen komt grotendeels overeen met de verwachtingen van de beheerder. Daar waar de beheerder een relatief grote faalkans verwacht, worden in de meeste gevallen ook daadwerkelijk relatief grote kansen berekend.

---

### 8.1.2 De huidige gevolgen van overstromingen

- Binnen het dijkkringgebied liggen enkele hoge lijnvormige elementen die het overstromingsverloop beïnvloeden, zoals boezemkades (o.a. Zouwendijk en Bazeldijk), de spoorlijn Dordrecht-Geldermalsen en de rijkswegen A15, A27 en A2. Deze elementen zorgen voor een tijdelijke vertraging in de verspreiding van het binnestromende water. Door de beperkte hoogte ten opzichte van de resulterende waterdiepte na een overstroming hebben deze kades en rijkswegen echter niet of nauwelijks invloed op het eindbeeld van de overstroming.
- Bij een doorbraak op elke willekeurige locatie van dijkkring 16 overstroomt nagenoeg het gehele dijkkringgebied. Met andere woorden, nagenoeg elke doorbraak heeft hetzelfde overstromingspatroon. Dit is het gevolg van de inrichting en de ligging van het gebied. In feite gedraagt de dijkkring zich als een bakje; deze vult zich nagenoeg in zijn geheel na een doorbraak van de waterkering.
- Weliswaar is het overstromingspatroon minder afhankelijk van de doorbraaklocatie, de resulterende gevolgen van een doorbraak langs de Noord en de Beneden-Merwede verschillen echter van de gevolgen van een doorbraak langs de Boven-Merwede en de Lek. De gevolgen bij een doorbraak langs de Noord en Beneden-Merwede zijn significant kleiner dan bij een doorbraak langs de Boven-Merwede en de Lek. Doordat een doorbraak langs de Noord en de Beneden-Merwede stormopzet gedomineerd is, is sprake van een kortere belastingduur dan bij een rivierafvoer gedomineerde doorbraak, in combinatie met werking van het getij zijn de resulterende waterstanden in het overstroomde gebied beperkter. De gevolgen in termen van schade zijn als gevolg van een doorbraak in het stormopzet gedomineerde deel van de dijkkring circa een factor 2 tot 3 kleiner dan de gevolgen bij een doorbraak in het rivierafvoer gedomineerde deel. Voor het aantal slachtoffers is dit circa een factor 10 tot 20.
- Het aantal dodelijke slachtoffers kan door preventieve evacuatie significant worden gereduceerd. Dijkkring 16 is een deels rivierafvoer gedomineerde dijkkring, hoogwatersituaties zijn meerdere dagen van tevoren te voorzien. Dit betekent dat de kans op een georganiseerde evacuatie relatief groot is (60%). De relatief grote kans op een geslaagde evacuatie zorgt voor een sterke vermindering van het slachtofferrisico. Voor het stormopzet gedomineerde deel van de dijkkring geldt dat hoogwatersituaties minder ver van te voren zijn te voorzien. Dit betekent dat de kans op een georganiseerde evacuatie in die gevallen relatief klein is (4%). Deze relatief kleine kans op een geslaagde evacuatie zorgt niet voor een sterke vermindering van het slachtofferrisico. De economische schade wordt niet significant beïnvloed door evacuatie. De invloed van het meenemen van de mogelijkheden voor evacuatie op het berekende economische risico is dan ook gering.

### 8.1.3 Het huidige overstromingsrisico

- Door de kansen op en de gevolgen van een overstroming te combineren is het overstromingsrisico bepaald, uitgedrukt in diverse risicomaten ( ):

Schade	Verwachtingswaarde economische schade (€ per jaar)	166 miljoen
	Gemiddelde economische schade per overstroming (€)	9,7 miljard
	Economische schade bij het zwaarst beschouwde scenario (€) (maximaal scenario)	21,0 miljard
Slachtoffers	Verwachtingswaarde (slachtoffers per jaar)	11,7
	Gemiddeld aantal slachtoffers per overstroming	679
	Maximaal aantal slachtoffers bij het zwaarst beschouwde scenario (maximaal scenario)	20.200
	Overlijdenskans van een individu per locatie exclusief het effect van preventieve evacuatie (plaatsgebonden risico) (per jaar)	Alblasserwaard en centraal deel Vijfheerenlanden overwegend >1/10.000 per jaar, overig deel van Vijfheerenlanden tussen 1/10.000 en 1/100.000 per jaar (gemiddeld 1/8.300).
	Overlijdenskans van een individu per locatie inclusief het effect van preventieve evacuatie (lokaal individueel risico) (per jaar)	Vrijwel overal 1/10.000 tot 1/100.000 per jaar, stedelijk gebied langs Merwede >1/10.000 per jaar, gebied rondom Heukelum en Asperen <1/10.000.000 per jaar (gemiddeld 1/28.000 per jaar)

Tabel 39: Resultaten risicoberekeningen voor dijkkring 16.

- De kans op minimaal 1,6 miljard euro schade is nagenoeg gelijk aan de overstromingskans van de dijkkring (>1/100 per jaar). De kans op 10,0 miljard euro schade is ongeveer gelijk aan 1/200 per jaar. De maximale schade die kan optreden is 22,0 miljard euro. De kans op 20 miljard euro schade is met 1/1.600 per jaar relatief groot. In vrijwel alle gevallen is dan de gehele dijkkring overstroomd.
- De kans dat een groep van ten minste 100 personen slachtoffer wordt van een overstroming is vrijwel gelijk aan de overstromingskans van de dijkkring (>1/100 per jaar). De kans dat een groep van ten minste 1.000 personen het slachtoffer wordt van een overstroming is circa 1/380 per jaar. De kans dat een groep van ten minste 10.000 personen slachtoffer wordt van een overstroming is circa 1/4.500 per jaar. ). In het ernstigste geval vallen meer dan 30.000 slachtoffers, de kans hierop is echter klein (1/90.000 per jaar).
- Het plaatsgebonden risico (de kans dat een persoon die continu binnen dit gebied verblijft, overlijdt als gevolg van een overstroming) in het dijkkringgebied is relatief hoog (>1/10.000 per jaar). Alleen in de Vijfheerenlanden is dit risico lager (maar voor het grootste deel nog wel veelal groter dan 1/100.000 per jaar). In de omgeving van de kernen Asperen en Heukelum (in het zuidoosten van de dijkkring) is het plaatsgebonden risico relatief laag (<1/10.000.000 per jaar). Hierbij wordt opgemerkt dat het niet meenemen van de Diefdijk (categorie c-kering) voor dit gebied een mogelijk vertekend beeld van het risico geeft.
- Het lokaal individueel risico (de kans per jaar dat een persoon die zich permanent op een bepaalde plaats in het dijkkringgebied bevindt, overlijdt als gevolg van een overstroming van dit dijkkringgebied, waarbij de mogelijkheden voor preventieve evacuatie zijn meegenomen) laat eveneens een duidelijk verschil zien binnen het

---

dijkkringgebied. Over het algemeen geldt dat het risico in het oosten van de dijkkring lager is dan in het westen, doordat in het westen de waterdieptes bij een overstroming groter zijn. Net als voor het plaatsgebonden risico geldt dat alleen in de omgeving van de kernen Asperen en Heukelum (in het zuidoosten van de dijkkring) het lokaal individueel risico laag is ( $< 1/100.000.000$  per jaar). Het niet meenemen van de Diefdijk (categorie c-kering) geeft voor dit gebied een mogelijk vertekend beeld van het werkelijke risico. Ook het hoge lokale individuele risico bij Boven-Hardinxveld valt op. Door de compartimenterende werking van de kanaaldijken resulteert een doorbraak in de nabijgelegen ringdelen lokaal in grote stijghoogte snelheden wat vervolgens weer resulteert in een hoog lokaal individueel risico.

- Voor twee locaties (Papendrecht en Vianen) zijn als gevolg van een gebrek aan lokale informatie onbetrouwbaar grote faalkansen berekend voor het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts (dijken). Indien wordt uitgegaan van een faalkans van  $1/100$  per jaar voor deze faalmechanismen in beide vakken, neemt de verwachtingswaarde van het economisch risico toe met een factor 1,5 en neemt de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers toe met een factor 3.

#### 8.1.4 Veiligheidsniveaus na waterstandverlagende maatregelen

- De overstromingskans na uitvoering van de Ruimte voor de Rivier maatregelen conform taakstelling blijft  $> 1/100$  per jaar. Deze beperkte afname van de overstromingskans is met name het gevolg van het feit dat de overstromingskans gedomineerd wordt door het faalmechanisme opbarsten en piping. Voor het falen van een waterkering op het faalmechanisme opbarsten en piping hoeft niet noodzakelijkerwijs een hoge waterstand te worden bereikt, maar kan de waterkering ook falen bij waterstanden lager dan maatgevend hoogwater.
- De waterstandverlaging zoals vastgesteld in de PKB Ruimte voor de Rivier is op basis van deze berekeningen onvoldoende om de dijken en het dijkkringgebied op een substantieel hoger veiligheidsniveau te brengen. Door uitvoering van de Ruimte voor de Rivier maatregelen neemt de verwachtingswaarde van de economische schade af met circa 29% van 166,4 miljoen euro per jaar naar 118,9 miljoen euro per jaar. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar neemt met circa 230% af van 11,7 naar 8,2 slachtoffers per jaar.
- Een extra waterstandverlaging langs de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede als gevolg van het project 'Ontpoldering Noordwaard' leidt niet tot een wezenlijk hoger veiligheidsniveau. De extra waterstandverlaging als gevolg van het project 'Ontpoldering Noordwaard' heeft een beperkt effect op de berekende risico's; de verwachtingswaarde van het economisch risico en het slachtofferrisico daalt met respectievelijk slechts 4% en 11% extra ten opzichte van de maatregelen conform taakstelling. Doordat de extra waterstandverlaging alleen effect heeft op de Noord en de Boven- en Beneden-Merwede, terwijl de maatgevende vakken langs de Lek liggen is de hiermee geassocieerde afname van het risico beperkt.
- De erosie van de bodem van de Lek resulteert in een daling van de waterstanden tot 45 cm. Een dergelijke daling in de waterstanden langs de Lek resulteert in een afname van de overstromingskans van  $> 1/100$  per jaar naar  $1/120$  per jaar. Als gevolg van deze waterstanddaling nemen de verwachtingswaarde voor het economisch risico en het slachtofferrisico af met respectievelijk 48% en 31% ten opzichte van de huidige situatie. Deze relatief sterke verandering komt doordat de dijkvakken langs de Lek grotendeels het overstromingsrisico van dijkkring 16 bepalen. Opgemerkt wordt dat de bodemerosie van de Lek mogelijk lijdt tot erosie van slecht doorlatende lagen wat een negatieve invloed kan hebben op de stabiliteit van de waterkeringen. Dit effect is niet meegenomen in deze analyse.



---

#### 8.1.5 Veiligheidsniveaus na dijkversterkende maatregelen

- Voor het realiseren van een overstromingskans gelijk aan de huidige overschrijdingskansnorm van 1/2.000 per jaar is een versterking van circa 36 km waterkering noodzakelijk. Deze versterking betreft dan vakken verspreid over de gehele dijkkring langs zowel de Lek, de Noord als ook de Boven- en Beneden-Merwede. Een dergelijke dijkverbetering resulteert in een daling van de verwachtingswaarde voor het economisch risico met circa 97% van 166,4 miljoen euro per jaar naar 4,0 miljoen euro per jaar. Tevens neemt dan ook de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffer af met circa 91% van 11,7 slachtoffers per jaar naar 0,7 slachtoffers per jaar.
- Voor het realiseren van een overstromingskans gelijk aan de optimale overstromingskansnorm van 1/4.000 per jaar conform de MKBA uit het project WV21 is een versterking van circa 41 km waterkering noodzakelijk. Deze versterking betreft dan vakken verspreid over de gehele dijkkring langs zowel de Lek, de Noord als ook de Boven- en Beneden-Merwede en komt overeen met een versterking van bijna de helft van de categorie a-keringen van dijkkring 16. Een dergelijke dijkverbetering resulteert in een afname van de verwachtingswaarde voor het economisch risico met circa 98% van 166,4 miljoen euro per jaar naar 1,8 miljoen euro per jaar. Tevens neemt dan ook de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffer af met circa 96% van 11,7 slachtoffers per jaar naar 0,3 slachtoffers per jaar.

#### 8.1.6 Veiligheidsniveau bij voorgestelde eisen Deltaprogramma Veiligheid

- Binnen het Deltaprogramma Veiligheid worden nieuwe normen ontwikkeld en uitgewerkt. Hierbij wordt uitgegaan van een basisveiligheid waarbij het Lokaal Individueel Risico (LIR) kleiner moet zijn dan  $10^{-5}$  per jaar. Om aan deze eis voor de basisveiligheid te voldoen is een verbetering noodzakelijk van minimaal 33 km waterkering op een totale lengte van de categorie a-keringen van de dijkkring van 86 km. Bij het vaststellen van de benodigde verbeteringen is uitgegaan van de situatie na afronding van het HWBP2 en na uitvoering van het project Ruimte voor de Rivier.
- Binnen het Deltaprogramma Veiligheid worden overstromingskansnormen ontwikkeld en uitgewerkt op dijktrajectniveau. Om aan de overstromingskansnorm per dijktraject te voldoen nadat reeds is voldaan aan de basisveiligheidseis van het LIR kleiner dan  $10^{-5}$  per jaar is nog een extra verbetering nodig van minimaal 12 km waterkering. In totaal dient ten behoeve van de nieuwe normen conform het Deltaprogramma Veiligheid dan minimaal 45 km waterkering te worden verbeterd op een totale lengte van de categorie a-keringen van 86 km. Bij het vaststellen van de benodigde verbeteringen is uitgegaan van de situatie na afronding van het HWBP2 en na uitvoering van het project Ruimte voor de Rivier.

#### 8.1.7 Veiligheidsniveau bij niet standzekere Diefdijk

- In de risicoanalyse is alleen het mogelijk falen van de categorie a-kering beoordeeld. De categorie c-kering (Diefdijk) die de grens vormt met dijkkringgebied 43 Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden is als standzeker aangenomen. Om de invloed van deze aanname te toetsen is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij de invloed van de standzekerheid van de Diefdijk op het risico van dijkkring 16 is bepaald. Bij een conditionele faalkans van de Diefdijk (dus gegeven dat dijkkring 43 faalt) kleiner dan 1/10 heeft de Diefdijk geen significante invloed meer op het risico van dijkkring 16. Gegeven de huidige versterking van de Diefdijk is de verwachting dat de faalkans in ieder geval kleiner is dan 1/10.

---

## 8.2 Aanbevelingen

- Voor het beoordelen van de effectiviteit van de Diefdijk als risicobeperkende maatregel en het bepalen van het optimale beschermingsniveau van de Diefdijk dienen dijkkringgebied 16 en 43, en de categorie a- en c-keringen van beide dijkringen in samenhang te worden beschouwd. Hiervoor zijn nieuwe overstromingsmodellen en overstromingsscenario's nodig. Met deze gegevens kan een kosten-batenanalyse worden uitgevoerd die als basis kan dienen voor het afleiden van een passende veiligheidsnorm voor de Diefdijk.
- Voor twee locaties (Papendrecht en Vianen) zijn onbetrouwbaar grote faalkansen berekend voor het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts (dijken). Hoewel de grootte van de faalkans niet betrouwbaar wordt geacht, is hier mogelijk wel een groot probleem met stabiliteit binnenwaarts. Voor beide locaties wordt dan ook aanbevolen om nader onderzoek uit te voeren, mede in het licht van de dijkverbeteringen die nog uitgevoerd gaan worden.
- In de faalkansberekeningen voor het faalmechanisme opbarsten en piping (dijken) is het voorland in overleg met de beheerder en het projectbureau VNK meegenomen conform de huidige intredelijnen van het Waterschap Rivierenland. Voor veel dijkvakken bestaat de totale kwelweglengte voor ongeveer de helft uit het voorland. Aangezien de intredelijnen niet altijd geverifieerd kunnen worden op basis van harde gegevens (boringen, sonderingen, bestekken etc.) is het besluit genomen in overleg met beheerder en projectbureau VNK2 van groot belang voor de resultaten. Gelet op de invloed van het voorland op de kans op opbarsten en piping wordt aanbevolen te verkennen of meer voorlandlengte in rekening kan worden gebracht.
- Indien men de faalkans van de categorie a-kering van dijkkring 16 en daarmee ook het overstromingsrisico significant wenst te verkleinen door middel van dijkversterkingen, dan sorteren maatregelen langs de Lek ten aanzien van het faalmechanisme opbarsten en piping het meeste effect. Voor het reduceren van de overstromingskans met een factor 5 is een dijkversterking over een traject van circa 17 km nodig. Met een dergelijke aanpassing neemt het overstromingsrisico significant af met circa 75%.

---

## Bijlage A Literatuur

- [1] Rijkswaterstaat Waterdienst, *Van ruwe data tot overstromingsrisico, Handleiding ter bepaling van het overstromingsrisico van dijkringen binnen het project VNK2*, versie 2.3, maart 2013
- [2] Rijkswaterstaat Waterdienst, *Veiligheid van Nederland in Kaart, Dijkkringgebied 16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden, Achtergrondrapport*, maart 2014.
- [3] Waterschap Rivierenland, *Veiligheidsstoetsing dijkkringgebied 16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden*, Definitief, september 2010
- [4] <http://www.metatopos.org>
- [5] Waterschap Rivierenland, *GGOR en peilbesluit Alblasserwaard, Toelichting peilbesluit Alblasserwaard, definitief rapport (vastgesteld)*, Royal Haskoning, 9T0389A0, 12 februari 2010
- [6] Bestuurscommissie Alblasserwaard-Vijfheerenlanden, *Visie landelijk gebied, Alblasserwaard-Vijfheerenlanden*, Bureau Rijp voor Groen, februari 2007
- [7] Waterschap Rivierenland, *Toelichting op het GGOR/peilbesluit Vijfheerenlanden*, Witteveen en Bos, TL217-3/kolm/028, 28 juni 2013
- [8] Waterschap Rivierenland, *Beheerplan waterkeringen 2008-2012*, Hoofdrapport
- [9] RAAP Archeologisch Adviesbureau, *Schone slaper - Hollands hoop in bange dagen: cultuurhistorisch advies voor de verbetering van de 'Diefdijklinie'*, eindversie, juni 2007
- [10] Rijksdienst voor archeologie, cultuurlandschap en monumenten, *Brochure 'De Nieuwe Hollandse Waterlinie'* (brochure 16 uit de reeks 'Cultuurhistorie'), Amersfoort, 2009
- [11] <http://kennisloket.waterliniekennis.nl/media/contentItems/1587.jpg>
- [12] [http://d-compu.dyndns.org/blokland/papendrecht\\_deel4b.htm](http://d-compu.dyndns.org/blokland/papendrecht_deel4b.htm)
- [13] <http://www.dijkverbetering.waterschaprivierenland.nl/projecten>
- [14] Ministerie van Infrastructuur en Milieu en het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, *Deltaprogramma 2013, Werken aan de delta, De weg naar deltabeslissingen*, september 2012
- [15] Deltares, *Maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21<sup>e</sup> eeuw*, 1204144-006-ZWS-0012, 31 maart 2011, definitief.
- [16] Deltares, *Analyse van slachtofferrisico's Waterveiligheid 21<sup>e</sup> eeuw*, 1204144-005-ZWS-0001, 1 april, 2011, definitief.
- [17] Rijkswaterstaat Waterdienst, *Veiligheid van Nederland in kaart, Dijkkring 16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden, Kunstwerken*, juli 2013
- [18] Rijkswaterstaat Waterdienst, *Veiligheid van Nederland in Kaart, Overstromingsrisico dijkkring 43 Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden*, HB2311021, maart 2014.
- [19] Steenbergen, H.M.G.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M., Koster, T. (2008). Theoriehandleiding PC-Ring versie 5.0. Deel A: Mechanismebeschrijvingen. TNO: 29 februari 2008.
- [20] Steenbergen, H.M.G.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M. (2003). Theoriehandleiding PC-Ring Versie 4.0, Deel B: Statistische modellen. TNO: april 2003.
- [21] Steenbergen, H.M.G.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M. (2003). Theoriehandleiding PC-Ring Versie 4.0, Deel C: Rekentechnieken. TNO: april 2003.
- [22] Wouden, F. van der, Grashoff, P.S., *PC-Ring 5.3.0, Gebruikershandleiding*, Demis BV/QQQ Delft/TNO Bouw, Rapport W152-2009-04, maart 2009

- 
- [23] Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (thans ENW), Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Den Haag, juni 2001.
- [24] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV2006)*, ISBN 978-90-369-5762-5, september 2007
- [25] Waterschap Rivierenland, *Veiligheidstoetsing Stabiliteit voorland*, Tiel, 2010.
- [26] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Hydraulische Randvoorwaarden Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR2006)*, ISBN 978-90-369-5761-8, augustus 2007
- [27] Kok, M., et al., 2004, Standaardmethode2004 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen, DWW-2005-005, HKV LIJN IN WATER, november 2004.
- [28] Maaskant, B., et al., *Evacuatieschattingen Nederland*, HKV LIJN IN WATER, rapport PR1718.10, 2009
- [29] Projectbureau VNK2, *Memo Conditionele kansen en evacuatiefracties*, Utrecht, 2009
- [30] <http://www.nationaalkompas.nl/gezondheid-en-ziekte/ziekten-en-aandoeningen/letsels-en-vergiftigingen/verkeersongevallen/omvang/>
- [31] <http://www.jellinek.nl/vraag-antwoord/alcohol-drugs/tabak/cijfers/hoeveel-mensen-gaan-er-per-jaar-dood-door-roken/>
- [32] Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (thans ENW), *Grondslagen voor waterkeren*, ISBN 90 369 373 5 3, januari 1998.
- [33] Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, *Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier, Deel 3, Nota van Toelichting*, februari 2006.
- [34] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Hydraulische Randvoorwaarden voor Primaire Waterkeringen (HR1996)*, 's Gravenhage, 23 oktober 1996
- [35] [http://rijkswaterstaat.nl/water/plannen\\_en\\_projecten/vaarwegen/lek/ruimte\\_voor\\_de\\_lek/doelen\\_en\\_resultaten/](http://rijkswaterstaat.nl/water/plannen_en_projecten/vaarwegen/lek/ruimte_voor_de_lek/doelen_en_resultaten/)
- [36] DHV, *MHW-berekeningen SNIP3 Noordwaard*, WA-RK20090406, Amersfoort, oktober 2009.
- [37] Witteveen en Bos, *Besluit- en planmer Uiterwaardvergraving Avelingen, milieueffectrapport*, GR63-1/nija4/212, Deventer, 15 mei 2009.
- [38] Ministerie van Infrastructuur en Milieu, *Werken aan de delta, Deltaprogramma 2014, Kansrijke oplossingen voor opgaven en ambities*, september 2013.
- [39] Deltaprogramma Veiligheid 2014, *Technisch-inhoudelijke uitwerking DPV 2.0, Werkdocument Deelprogramma Veiligheid*, concept van 6 januari 2014.
- [40] DHV, Deltares, *Verkenning beheer bodemligging Lek, definitief*, 1204814-000-ZWS-0043, 2012.

---

## 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 uit treden 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 uitreepunt.

**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.

**Macrostabieleit**

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

**Marsroute**

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

---

**MKL**

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

**Modelfactor**

Een factor die onzekerheden in de modellering tot uitdrukking brengt.

**NAP**

Normaal Amsterdams Peil.

**Ontwerppunt**

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

**Opbarsten**

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

**Opdrijven**

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

**Overloop**

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

**Overschrijdingsfrequentie**

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

**Overschrijdingskans**

De kans dat het toetspeil wordt bereikt of overschreden.

**Overstromingskans**

De kans dat een gebied overstroomt doordat de waterkering rondom dat gebied (de 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 dijkringgebied.

**PC-Ring**

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



---

### **PC-ViNK**

Een applicatie die het mogelijk maakt om een segment binnen een dijkkring in vakken op te knippen en waarmee de data voor het VNK-instrumentarium beheerd kan worden. PC-ViNK draait op een centrale server zodat het gehele werkproces in VNK2 traceerbaar is.

### **Plaatsgebonden risico (PR)**

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

### **Piping**

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

### **Primaire waterkering**

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

- a: Een waterkering die direct buitenwater keert
- b: Een voorliggende of verbindende kering
- c: Een waterkering die indirect buitenwater keert
- d: Een waterkering die in het buitenland is gelegen

### **Reststerkte**

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

### **Ringdeel**

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

### **RisicoTool**

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

### **Scenariokans**

De kans op een overstromingsscenario.

### **Strijklengte**

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

### **Stabiliteitsfactor**

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

### **Standaardafwijking**

Een maat voor de spreiding rond het gemiddelde.

---

**Stochastische variabele**

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

**Systeemwerking**

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

**Teen**

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

**Variatiecoëfficiënt (V)**

De verhouding tussen de standaardafwijking ( $\sigma$ ) 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.

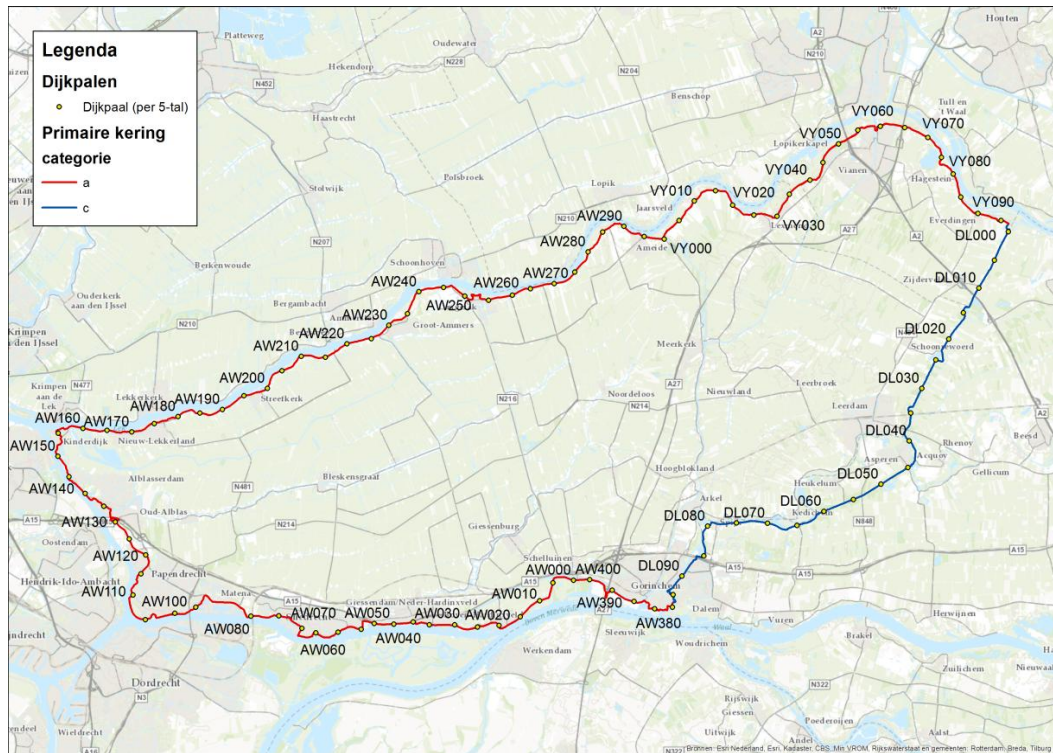
**Werklijn**

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.

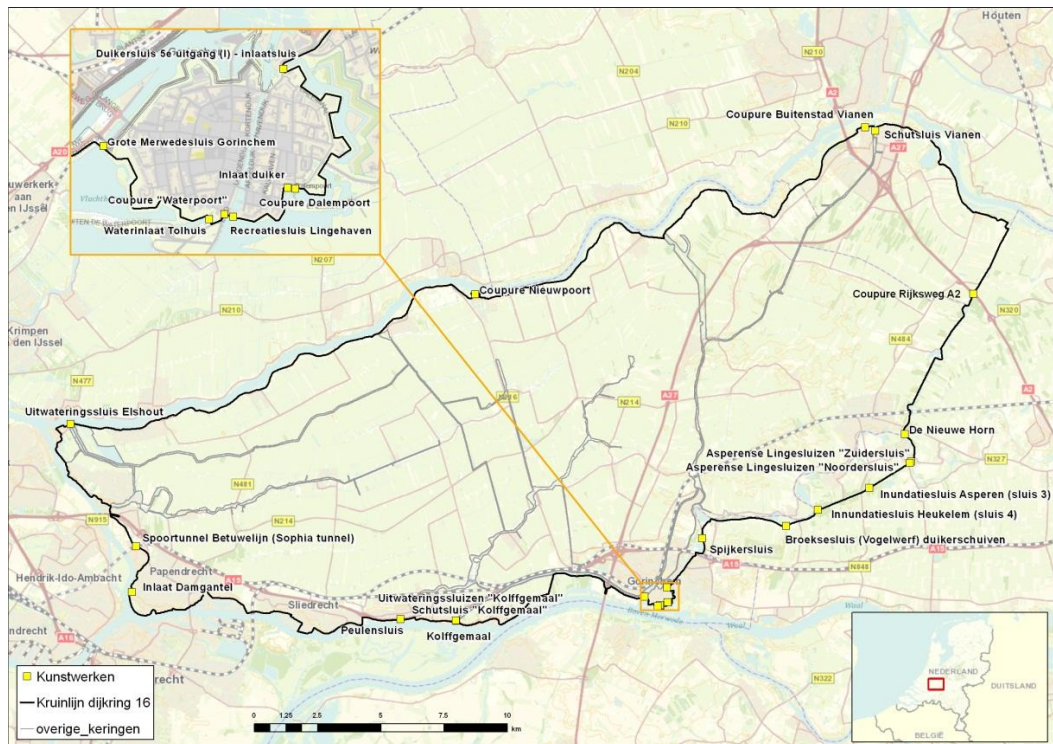
**Zandmeevoerende wel**

Een wel die zand meevoert uit de ondergrond.

## Bijlage C Primaire waterkeringen dijkring 16



Figuur 75: Primaire waterkeringen (categorie a en c) met dijkpaalnummering voor dijkring 16.



Figuur 76: Kunstwerken in de primaire waterkeringen van dijkring 16.



## Bijlage D Vakindeling en ringdelen dijkkring 16

In Tabel 40 is voor de dijken aangegeven welke vakgrenzen zijn gedefinieerd. Per vak is aangegeven tot welk ringdeel het behoort. Voor de aanduiding van de vakgrenzen voor de dijken is de nummering van de dijkpalen aangehouden. Het nummer in de eerste kolom correspondeert met de nummers zoals aangegeven in Figuur 22.

Rivier	#	Ringdeel / doorbraaklocatie	Dijkvak	Dijkpaal van - tot	Lengte (m)	Dijkvakcode (WSRL)	Dijktraject
Boven- Merwede	1	Lingesluis	16.AW379.388	AW379 - AW388	1.906	160541	Gorinchem
	2	Gorinchem	16.AW388.395	AW388 - AW395	1.826		
	3	Hardinxveld-Giessendam AW003	16.AW395.004	AW395 - AW004	2.577	160642	Hardinxveld- Giessendam
	4	Hardinxveld-Giessendam AW015	16.AW004.008	AW004 - AW008	794		
16.AW008.020			AW008 - AW020	2.330			
16.AW020.030			AW020 - AW030	2.055			
Beneden-Merwede	5	niet gedefinieerd	16.AW030.040	AW030 - AW040	1.732		
			16.AW040.053	AW040 - AW053	2.089		
			16.AW053.062	AW053 - AW062	1.812	160643	Sliedrecht
	16.AW062.069	AW062 - AW069	1.366				
	16.AW069.076	AW069 - AW076	1.705				
	7	Sliedrecht AW079	16.AW076.080	AW076 - AW080	874	160644	Papendrecht
	8	Papendrecht AW080	16.AW080.091	AW080 - AW091	2.062		
9	Papendrecht AW112	16.AW091.098	AW091 - AW098	1.335			
		16.AW098.104	AW098 - AW104	1.612			
		16.AW104.108	AW104 - AW108	1.203			
Noord	10	Kinderdijk	16.AW108.112	AW108 - AW112	897	160744	Papendrecht-West / Ged.Alblasserdam
			16.AW112.119	AW112 - AW119	1.333		
			16.AW119.125	AW119 - AW125	1.189		
			16.AW125.132	AW125 - AW132	1.365	160745	Alblasserdam
	16.AW132.139	AW132 - AW139	1.716				
	16.AW139.145	AW139 - AW145	1.345				
	Lek	11	Nieuw-Lekkerland	16.AW145.151	AW145 - AW151	1.200	160346
16.AW151.155				AW151 - AW155	1.026		
16.AW155.160				AW155 - AW160	1.140		
16.AW160.170				AW160 - AW170	1.973		
16.AW170.176				AW170 - AW176	1.098		
16.AW176.180				AW176 - AW180	929		
16.AW180.184				AW180 - AW184	726		
16.AW184.190		AW184 - AW190	1.192	160347	Streefkerk		
16.AW190.198		AW190 - AW198	1.683				
16.AW198.203		AW198 - AW203	934				
12	Casa Novum	16.AW203.211	AW203 - AW211	1.527			
		16.AW211.218	AW211 - AW218	1.498			
		16.AW218.227	AW218 - AW227	1.592			

Rivier	#	Ringdeel / doorbraaklocatie	Dijkvak	Dijkpaal van - tot	Lengte (m)	Dijkvakcode (WSRL)	Dijktraject
Lek	12	Casa Novum (vervolg)	16.AW227.240	AW227 - AW240	2.434	160348	Groot-Ammers / Nieuwpoort
			16.AW240.247	AW240 - AW247	1.392		
			16.AW247.251	AW247 - AW251	973		
	13	Ameide	16.AW251.254	AW251 - AW254	1.001	160350	Langerak
			16.AW254.262	AW254 - AW262	1.569		
			16.AW262.275	AW262 - AW275	2.318		
			16.AW275.279	AW275 - AW279	693	160358	Zederik
			16.AW279.289	AW279 - AW289	2.052		
	16.AW289.299	AW289 - AW299	1.961				
	14	Vianen VY040	16.VY000.012	VY000 - VY012	2.421	160354	Vianen
			16.VY012.017	VY012 - VY017	975		
			16.VY017.023	VY017 - VY023	1.200		
			16.VY023.031	VY023 - VY031	1.590	160354	Vianen
			16.VY031.036	VY031 - VY036	1.010		
			16.VY036.044	VY036 - VY044	1.539		
			16.VY044.052	VY044 - VY052	2.042		
	15	Vianen VY040	16.VY052.059	VY052 - VY059	1.786	160355	Hagestein- Everdingen
			16.VY059.065	VY059 - VY065	1.273		
	16	Everdingen	16.VY065.072	VY065 - VY072	1.481	160355	Hagestein- Everdingen
			16.VY072.076	VY072 - VY076	868		
16.VY076.084			VY076 - VY084	1.429			
16.VY084.092			VY084 - VY092	1.623			
16.VY092.097			VY092 - VY097	963			

Tabel 40: Vakindeling dijken en ringdelen; aanduiding vakgrenzen op basis van dijkpaalnummers.

In Tabel 41 is voor de dijken aangegeven op basis waarvan de vakgrenzen zijn gedefinieerd en is per vak is aangegeven welke faalmechanismen zijn geselecteerd voor de berekening van de overstromingskans van dijkkring 16.

Vak	Reden vakgrens	Lengte [m]	Overloop golfoverslag	Macrostabieliteit binnenwaarts	Opbarsten en piping	Falen bekleding en erosie dijklchaam
16.AW379.388	Begin, kademuren Gorinchem	1.906	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW388.395	RD grens	1.826	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW395.004	RD grens, snelweg, kanaal binnendijks	2.577	JA	JA	JA	NEE
16.AW004.008	RD grens, oriëntatie	794	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW008.020	Oriëntatie, Piping	2.330	JA	NEE	JA	NEE
16.AW020.030	Segmentgrens, oriëntatie	2.055	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW030.040	Kanaal	1.732	JA	NEE	JA	NEE
16.AW040.053	Oriëntatie, Piping, RD grens, A15 vormt waterkering	2.089	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW053.062	Dijkvak waterschap, RD grens	1.812	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW062.069	Oriëntatie, STPH, STBK	1.366	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW069.076	Oriëntatie, lengte dijkvak	1.705	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW076.080	RD grens	874	JA	NEE	JA	NEE
16.AW080.091	RD grens	2.062	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW091.098	RD grens, oriëntatie	1.335	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW098.104	Oriëntatie, Piping, weglichaam	1.612	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW104.108	Oriëntatie, windgolven	1.203	JA	NEE	JA	JA
16.AW108.112	Oriëntatie, windgolven	897	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW112.119	Dijkvak waterschap	1.333	JA	JA	NEE	NEE
16.AW119.125	Oriëntatie	1.189	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW125.132	Dijkvak waterschap	1.365	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW132.139	RD grens, oriëntatie	1.716	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW139.145	Oriëntatie, begin schaaldijk	1.345	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW145.151	Oriëntatie, einde schaaldijk	1.200	JA	NEE	JA	NEE
16.AW151.155	Dijkvak waterschap, STBI, oriëntatie	1.026	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW155.160	Segmentgrens, RD grens	1.140	JA	NEE	JA	JA
16.AW160.170	In verbetering, begin schaaldijk	1.973	JA	JA	NEE	NEE
16.AW170.176	Einde schaaldijk	1.098	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW176.180	Bodemdeelgebied grens, niet in verbetering, HT	929	JA	JA	JA	NEE
16.AW180.184	In verbetering	726	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW184.190	Oriëntatie, Piping	1.192	JA	JA	NEE	JA
16.AW190.198	Dijkvak waterschap, begin schaaldijk	1.683	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW198.203	Ringdeel grens,	934	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW203.211	In verbetering, oriëntatie	1.527	JA	NEE	JA	NEE
16.AW211.218	Bodemdeelgebied grens	1.498	JA	NEE	NEE	JA

Vak	Reden vakgrens	Lengte [m]	Overloop golfoverslag	Macrostabiliteit binnenwaarts	Opbarsten en piping	Falen bekleding en erosie dijklichaam
16.AW218.227	Begin dijkversterking	1.592	JA	NEE	JA	NEE
16.AW227.240	Einde dijkversterking	2.434	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW240.247	Oriëntatie	1.392	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW247.251	RD grens, oriëntatie	973	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW251.254	Begin vesting	1.001	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW254.262	Dijkvak waterschap, einde vesting	1.569	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW262.275	Bodemdeelgebied grens	2.318	JA	JA	JA	JA
16.AW275.279	Einde verbetering	693	JA	NEE	NEE	NEE
16.AW279.289	Dijkvak waterschap, einde schaaldijk	2.052	JA	NEE	JA	NEE
16.AW289.299	Oriëntatie, piping, begin schaaldijk	1.961	JA	NEE	JA	NEE
16.VY000.012	RD grens, oriëntatie, piping	2.421	JA	NEE	JA	NEE
16.VY012.017	Oriëntatie, Piping	975	JA	NEE	NEE	NEE
16.VY017.023	Oriëntatie, Piping, Bekleding	1.200	JA	NEE	JA	NEE
16.VY023.031	Oriëntatie, Piping, Bekleding	1.590	JA	NEE	JA	JA
16.VY031.036	Dijkvak waterschap	1.010	JA	NEE	NEE	NEE
16.VY036.044	Oriëntatie, Piping	1.539	JA	NEE	JA	NEE
16.VY044.052	Bodemdeelgebied grens	2.042	JA	NEE	JA	NEE
16.VY052.059	RD grens, in verbetering	1.786	JA	NEE	JA	NEE
16.VY059.065	Schutsluis Vianen	1.273	JA	JA	JA	NEE
16.VY065.072	RD grens, dijkvak waterschap, STPH, snelweg	1.481	JA	NEE	JA	NEE
16.VY072.076	Wiel achterland, stuw Hagestein	868	JA	NEE	NEE	NEE
16.VY076.084	Einde wiel, oriëntatie, STPH, STBK	1.429	JA	NEE	JA	JA
16.VY084.092	Einde verbetering	1.623	JA	NEE	JA	NEE
16.VY092.097	Start verbetering	963	JA	NEE	NEE	NEE
<b>Aantal vakken</b>		<b>86.234</b>	<b>58</b>	<b>7</b>	<b>23</b>	<b>7</b>

Tabel 41: Overzicht vakindeling en faalmechanismen. Bij de vakken is aangegeven om welke redenen de vakgrenzen zijn vastgesteld.







In Tabel 42 is aangegeven welke kunstwerken niet zijn opgenomen in de risicoanalyse.

#	Kunstwerk	Reden voor niet verrichten faalkansanalyse
1	Kolffgemaal (VNK.16.02.001)	De faalkansen voor alle faalmechanisme zijn kleiner dan 0,01*normfrequentie en hebben daarmee naar verwachting een zeer kleine bijdrage aan de overstromingskans van de dijkkring.
2	Schutsluis Kolffgemaal (VNK.16.06.002)	De hoogte is voldoende en de deur kan een relatief groot overslagdebiet weerstaan. De betrouwbaarheid sluiting voldoet tevens aan de norm (vloeddeur benedenhoofd, vloeddeuren bovenhoofd, normaliter gesloten). De karakteristieke sterkte t.a.v. onder- en achterloopsheid en constructieve sterkte van het keermiddel voldoet aan de norm.
3	Peulensluis (VNK.16.06.003)	De recentelijk vernieuwde buitendeuren zijn ontworpen voor een planperiode van 50 jaar.
4	Inlaatdam De Gantel (VNK.16.03.001)	Kleine diameter 355mm < Ø500mm
5	Inlaatgemaal Schanspolder (VNK.16.02.001)	Kleine diameter, beheerder geeft aan < Ø 300mm
7	Coupure Nieuwpoort (VNK.16.01.002)	Kunstwerk ligt al relatief hoog, waardoor verval klein is. Het toetspeil ligt lager dan het ontwerppeil.
10	Inlaat duiker (gewichtsmuur bij Dalempoort) (VNK.16.03.002)	Kleine diameter 315mm < Ø500mm
11	Recreatiesluis Lingehaven (VNK.16.06.001)	De faalkansen voor alle faalmechanisme zijn kleiner dan 0,01*normfrequentie en hebben daarmee naar verwachting een zeer kleine bijdrage aan de overstromingskans van de dijkkring.
13	Waterinlaat Tolhuis (VNK.16.03.003)	Kleine diameter 315mm < Ø500mm
14	Noordtunnel (VNK.16.07.001)	Tunnel
15	Spoortunnel Betuwelijn (Sophia-tunnel) (VNK.16.07.002)	Tunnel
16	Merwedensluis Gorinchem (VNK.16.06.005)	De overhoogte is voldoende en er kan een relatief groot overslagdebiet worden toegestaan. De schutdeuren kunnen tot een hoge waterstand water keren voordat de stormdeur noodzakelijk wordt. De sluiting is betrouwbaar en wordt regelmatig geoefend. Door de getrapte kering die in werking treedt bij hoogwater voldoet de deur en sluishoofd ook aan de norm voor onder- en achterloopsheid en constructieve sterkte.
18	Gemaal De Nieuwe Horn (VNK.16.02.102)	Ligt in categorie c-kering
19	Asperense Lingesluizen 'Noordersluis' (VNK.16.04.101)	Ligt in categorie c-kering
20	Asperense Lingesluizen 'Zuidersluis' (VNK.16.04.101)	Ligt in categorie c-kering
21	Inundatiesluis Asperen (sluis 3) (VNK.16.03.103)	Ligt in categorie c-kering
22	Inundatiesluis Heukelem (sluis 4) (VNK.16.03.104)	Ligt in categorie c-kering
23	Gemaal Broeksesluis (Vogelwerf) (VNK.16.02.103)	Ligt in categorie c-kering
24	Spijkersluis (VNK.16.03.105)	Ligt in categorie c-kering
25	Duikersluis 5e uitgang – inlaatsluis (VNK.16.03.106)	Ligt in categorie c-kering
26	Coupure Rijksweg A2 (VNK.16.01.107)	Ligt in categorie c-kering

Tabel 42: Overzicht van kunstwerken waarvoor geen faalkans is berekend [17].

In Tabel 43 geeft de kunstwerken met ringdelen zoals meegenomen in de risicoanalyse.

Kunstwerk		Ringdeel	
VNK-nummer	Naam	Nr	Naam
VNK.16.08.002	Uitwateringssluis Elshout	11	Nieuw-Lekkerland
VNK.16.01.003	Coupure buitenstad Vianen	15	Vianen (VY062)
VNK.16.01.001	Coupure Dalempoort	1	Lingesluis
VNK.16.01.006	Coupure Waterpoort Gorinchem	1	Lingesluis
VNK.16.06.004	Grote sluis Vianen	15	Vianen (VY062)

Tabel 43: Kunstwerken en ringdelen dijkkring 16.

In Tabel 44 zijn de door het Deltaprogramma gedefinieerde trajecten weergegeven, met per traject de ringdelen, dijkvakken en kunstwerken binnen deze trajecten.

Dijktraject	Ringdeel	Vak
16-1	Gorinchem AW389	16.AW388.395
	Hardinxveld Giessendam AW003	16.AW395.004
		16.AW004.008
		16.AW008.020
		16.AW020.030
	Linge sluis	16.AW030.040
		16.AW379.388
		VNK.16.01.001
VNK.16.01.006		
16-2	Kinderdijk AW144	16.AW132.139
		16.AW139.145
		16.AW145.151
		16.AW151.155
		Nieuw-Lekkerland AW171
	16.AW160.170	
	16.AW170.176	
	16.AW176.180	
	16.AW180.184	
	16.AW184.190	
	16.AW190.198	
	VNK.16.08.002	
	Papendrecht AW080	16.AW080.091
	Papendrecht AW112	16.AW091.098
		16.AW098.104
		16.AW104.108
		16.AW108.112
		16.AW112.119
		16.AW119.125
		16.AW125.132
	Sliedrecht AW063	16.AW053.062
		16.AW062.069
		16.AW069.076
	Sliedrecht AW079	16.AW076.080

Dijktraject	Ringdeel	Vak
16-3	Ameide AW296	16.AW247.251
		16.AW251.254
		16.AW254.262
		16.AW262.275
		16.AW275.279
		16.AW279.289
		16.AW289.299
	Casa Novum AW217	16.AW198.203
		16.AW203.211
		16.AW211.218
		16.AW218.227
		16.AW227.240
		16.AW240.247
		16-4
16.VY072.076		
16.VY076.084		
16.VY084.092		
16.VY092.097		
Vianen VY040	16.VY000.012	
	16.VY012.017	
	16.VY017.023	
	16.VY023.031	
	16.VY031.036	
	16.VY036.044	
	16.VY044.052	
Vianen VY062	16.VY052.059	
	16.VY059.065	
	VNK.16.01.003	
	VNK.16.06.004	

Tabel 44: Dijktrajecten, ringdelen en dijkvakken/kunstwerken in dijkkring 16.



## Bijlage E Overzicht berekende faalkansen

Tabel 45 geeft een totaaloverzicht van de berekende faalkansen per faalmechanisme per vak. Ook zijn de faalkansen per faalmechanisme op ringniveau getoond.

Dijkvak/ kunstwerk	Dijken				Kunswerken				Faalkans op vkniveau
	Overloop en golfoverslag	Macrostabieliteit binnenwaarts	Opbarsten en piping	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Overloop en golfoverslag	Niet-sluiten	Onder- en achterloopsheid	Constructief falen	
16.AW008.020	<1/1.000.000		1/2.100						1/2.100
16.AW004.008	1/660.000								1/660.000
16.AW395.004	1/19.000	1/56.000	1/2.600						1/2.400
16.AW388.395	1/380.000								1/380.000
16.AW379.388	1/37.000								1/37.000
16.AW151.155	1/2.900								1/2.900
16.AW145.151	1/230.000		1/19.000						1/17.000
16.AW139.145	1/110.000								1/110.000
16.AW132.139	1/10.000								1/10.000
16.AW125.132	<1/1.000.000								<1/1.000.000
16.AW119.125	1/37.000								1/37.000
16.AW112.119	1/27.000								1/27.000
16.AW108.112	1/110.000								1/110.000

Dijkvak/ kunstwerk	Dijken				Kunstwerken				Faalkans op vakniveau
	Overloop en golfoverslag	Macrostablieit binnenwaarts	Opbarsten en piping	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Overloop en golfoverslag	Niet-sluiten	Onder- en achterloopsheid	Constructief falen	
16.AW104.108	1/31.000		1/8.700	1/150.000					1/6.500
16.AW098.104	1/130.000								1/130.000
16.AW091.098	1/320.000								1/320.000
16.AW080.091	1/550.000								1/550.000
16.AW076.080	1/6.600		1/3.700						1/2.400
16.AW069.076	1/86.000								1/86.000
16.AW062.069	1/820.000								1/820.000
16.AW053.062	1/750.000								1/750.000
16.AW040.053*									-
16.AW030.040	1/6.400		1/26.000						1/5.300
16.AW020.030	1/12.000								1/12.000
16.VY092.097	1/15.000								1/15.000
16.VY084.092	1/9.400		1/550						1/530
16.VY076.084	1/76.000		1/890	<1/1.000.000					1/890
16.VY072.076	1/8.000								1/8.000
16.VY065.072	1/36.000		1/340						1/340
16.VY059.065	1/14.000		1/280						1/280
16.VY052.059	1/33.000		1/490						1/490



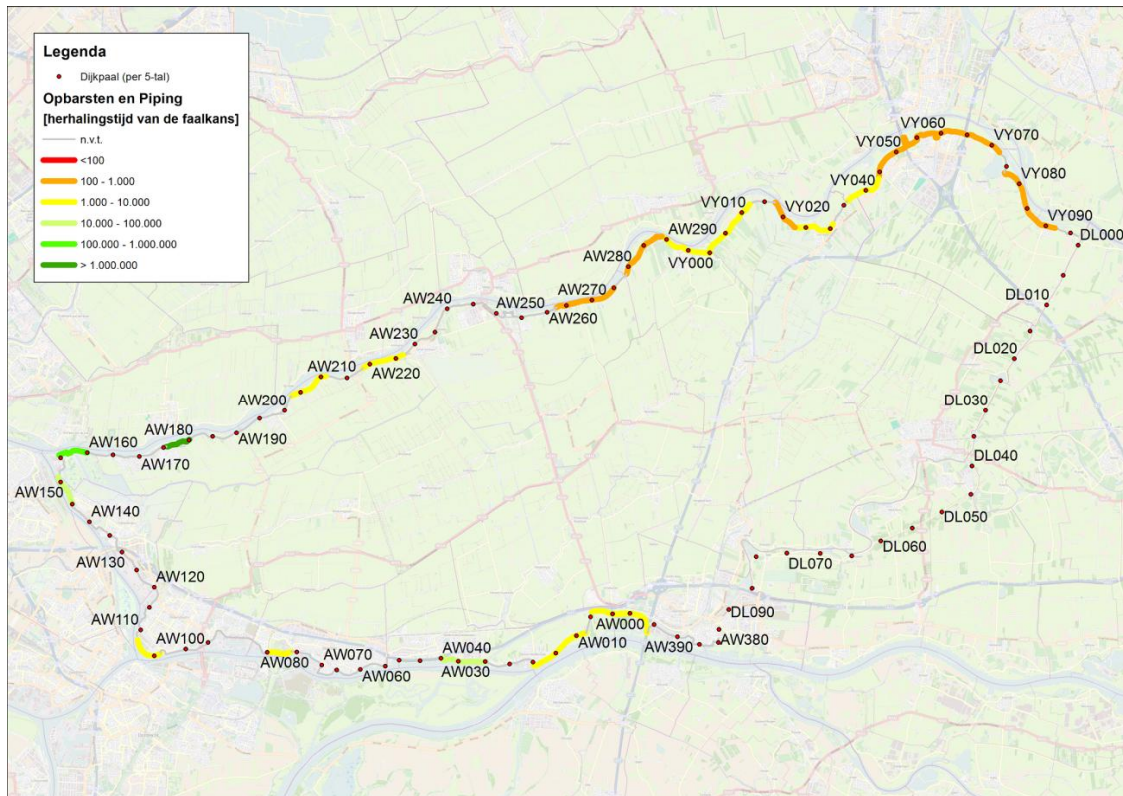
Dijkvak/ kunstwerk	Dijken				Kunswerken				Faalkans op vakniveau
	Overloop en golfoverslag	Macrostablieit binnenwaarts	Opbarsten en piping	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Overloop en golfoverslag	Niet-sluiten	Onder- en achterloopsheid	Constructief falen	
16.VY044.052	1/4.100		1/.460						1/.440
16.VY036.044	1/22.000		1/2.700						1/2.600
16.VY031.036	1/9.500								1/9.500
16.VY023.031	1/38.000		1/3.700	1/470.000					1/3.500
16.VY017.023	1/57.000		1/.460						1/.460
16.VY012.017	1/28.000								1/28.000
16.VY000.012	1/9.000		1/1.500						1/1.400
16.AW289.299	1/31.000		1/1.800						1/1.700
16.AW279.289	1/23.000		1/.930						1/.910
16.AW275.279	1/28.000								1/28.000
16.AW262.275	1/27.000	1/.370	1/.960	<1/1.000.000					1/.260
16.AW254.262	1/22.000								1/22.000
16.AW251.254	1/98.000								1/98.000
16.AW247.251	1/17.000								1/17.000
16.AW240.247	1/830.000								1/830.000
16.AW227.240	1/210.000								1/210.000
16.AW218.227	<1/1.000.000		1/1.300						1/1.300
16.AW211.218	<1/1.000.000			1/510.000					1/340.000

Dijkvak/ kunstwerk	Dijken				Kunstwerken				Faalkans op vakniveau
	Overloop en golfoverslag	Macrostabieliteit binnenwaarts	Opbarsten en piping	Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	Overloop en golfoverslag	Niet-sluiten	Onder- en achterloopsheid	Constructief falen	
16.AW203.211	1/280.000		1/2.800						1/2.800
16.AW198.203	<1/1.000.000								<1/1.000.000
16.AW190.198	<1/1.000.000								<1/1.000.000
16.AW184.190	<1/1.000.000	1/930.000		1/430.000					1/270.000
16.AW180.184	<1/1.000.000								<1/1.000.000
16.AW176.180	<1/1.000.000	1/96.000	<1/1.000.000						1/94.000
16.AW170.176	1/530.000								1/530.000
16.AW160.170	1/160.000	<1/1.000.000							1/160.000
16.AW155.160	1/500.000		1/170.000	<1/1.000.000					1/110.000
VNK.16.01.001					1/93.000	<1/1.000.000			1/93.000
VNK.16.01.003					1/46.000			<1/1.000.000	1/46.000
VNK.16.01.006					1/120.000	1/34.000		<1/1.000.000	1/27.000
VNK.16.06.004					1/130.000				1/130.000
VNK.16.08.002						1/13.000	<1/1.000.000		1/13.000
Faalkans op ringniveau	1/1.500	1/360	1/73	1/80.000	1/46.000	1/10.000	<1/1.000.000	<1/1.000.000	<b>&gt;1/100</b>

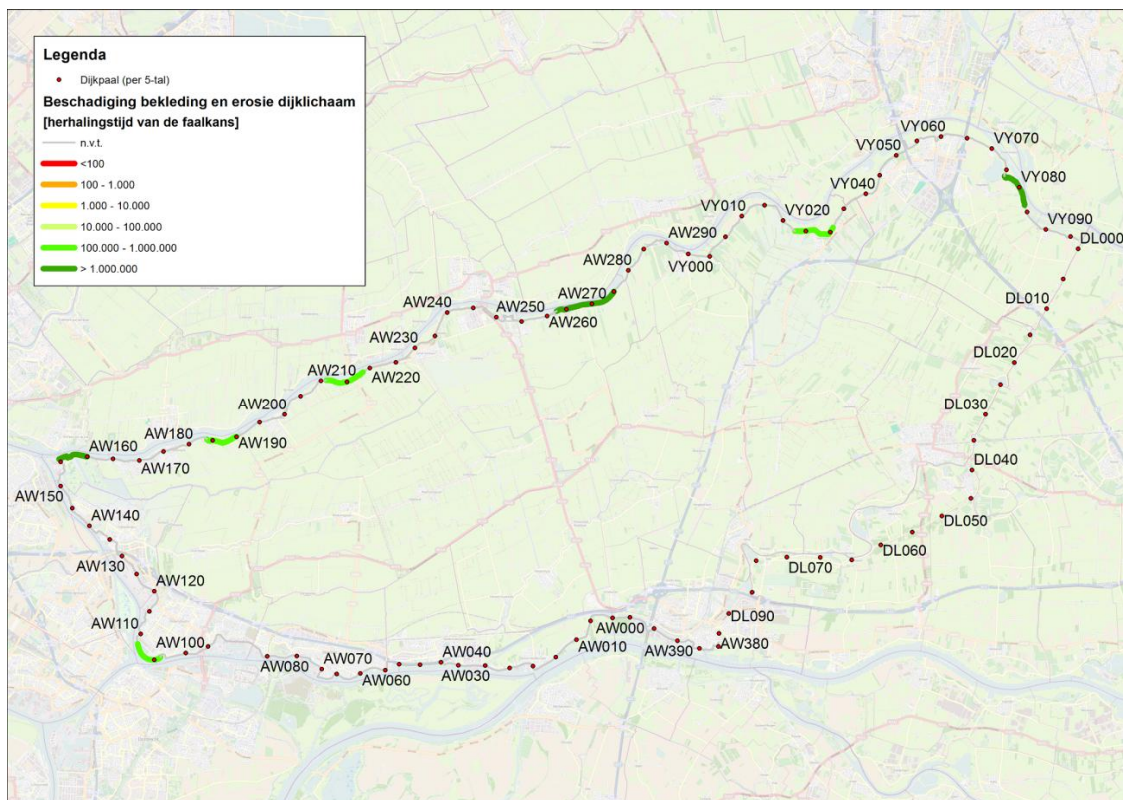
\* In het vak 16.AW040.053 wordt de waterkering gevormd door de Rijksweg A12. De bijdrage van dit dijkvak aan de overstromingskans van dijkringgebied 16 is naar verwachting verwaarloosbaar klein als gevolg van de grootte van het dijklichaam op dit traject. Voor dit vak zijn dan ook geen faalkansberekeningen gemaakt.

Tabel 45: Overzicht berekende faalkansen (per jaar).





Figuur 80: Faalkansen op vakniveau voor faalmechanisme opbarsten en piping.



Figuur 81: Faalkansen op vakniveau voor faalmechanisme beschadiging bekleding en erosie dijklchaam.

---

## Bijlage F Overzicht resultaten derde toetsronde

De onderstaande tekst en figuren zijn overgenomen uit de rapportage Veiligheids-toetsing dijkkringgebied 16 Ablasserwaard en de Vijfheerenlanden[3].

### Veiligheidsoordeel

Het veiligheidsoordeel voor dijkkringgebied 16 is 'voldoet niet aan de norm'. Van de 110,2 km waterkering is 47,6 km in planvoorbereiding of uitvoering en is derhalve niet getoetst. Van de 62,6 km die wel is getoetst is de verdeling als volgt:

- 59,2 km heeft het veiligheidsoordeel 'voldoet aan de norm';
- 3,1 km heeft het veiligheidsoordeel 'voldoet niet aan de norm';
- 0,3 km heeft het veiligheidsoordeel 'nader onderzoek nodig'.

Van de 23 kunstwerken is de verdeling als volgt:

- 15 kunstwerken hebben het veiligheidsoordeel 'voldoet aan de norm';
- 8 kunstwerken hebben het veiligheidsoordeel 'nader onderzoek nodig'.

De niet-waterkerende objecten hebben het veiligheidsoordeel 'voldoet aan de norm' met uitzondering van:

- bebouwing: 85 panden met veiligheidsoordeel 'nader onderzoek nodig' totaal aantal geïnventariseerd: 2.808
- begroeiing: 878 bomen met veiligheidsoordeel 'nader onderzoek nodig' totaal aantal geïnventariseerd: 17.630
- grote leidingen: 21 leiding met veiligheidsoordeel 'nader onderzoek nodig' totaal aantal geïnventariseerd: 48
- kleine leidingen: 18 leiding met veiligheidsoordeel 'nader onderzoek nodig' totaal aantal geïnventariseerd: 92

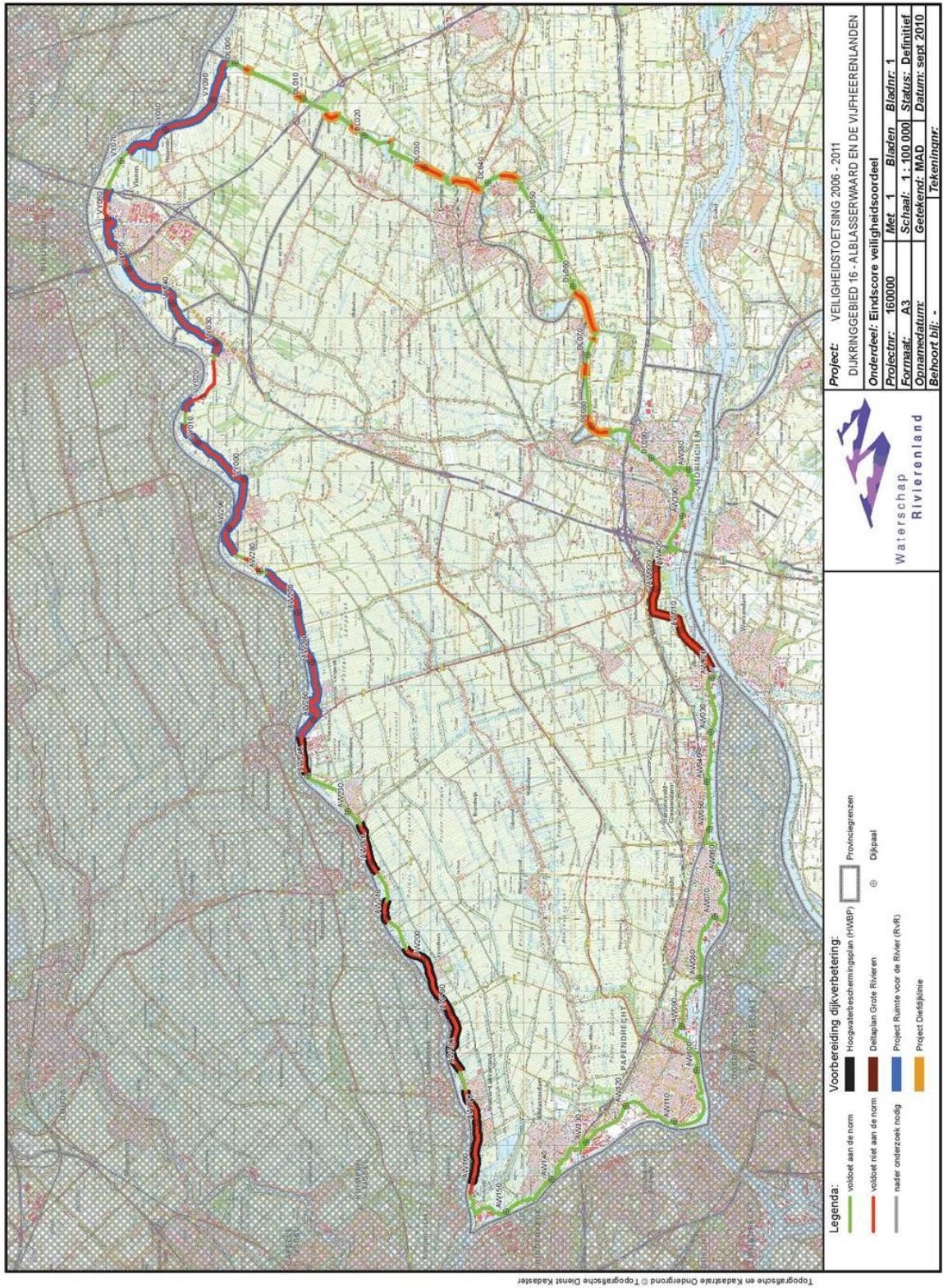
Het veiligheidsoordeel 'voldoet niet aan de norm' (3,1 km) in dijkkring 16 wordt veroorzaakt door de deelsporen 'Piping en heave' (0,9 km) en 'Macrostabiliiteit binnenwaarts'/'Macrostabiliiteit buitenwaarts' (2,1 km). Voor de macrostabiliiteit geldt dat deze 2,1 km zowel afgekeurd is op 'Macrostabiliiteit binnenwaarts' als 'Macrostabiliiteit buitenwaarts'.

Het veiligheidsoordeel 'nader onderzoek nodig' wordt voor een klein deel veroorzaakt door het deelspoor 'Stabiliiteit voorland' (0,3 km) en voor het overige deel door het deelspoor 'Niet-waterkerende objecten' waarbij geldt dat er van de objecten te weinig gegevens zijn.

Het veiligheidsoordeel voor dijkkring 16 is per dijkvak samengevat in Tabel 46 op de volgende pagina.

Dijkvak code	Dijkvaknaam	Dijkvak lengte [km]	Toets lengte [km]	Voldoet aan de norm	Voldoet niet aan de norm	Nader onderzoek nodig
160541	Gorinchem	4,5	4,5	4,5	-	-
160642	Hardinxveld-Giessendam	10,7	6,2	5,9	-	0,3
160643	Sliedrecht	6,6	6,6	6,6	-	-
160644	Papendrecht	6,2	6,2	6,2	-	-
160744	Papendrecht-West / Ged. Alblasserdam	2,5	2,5	2,5	-	-
160745	Alblasserdam	5,7	5,7	5,7	-	-
160346	Nw. Lekkerland (incl. Elshout)	8,3	2,9	2,6	0,3	-
160347	Streefkerk	7,2	2,2	2,2	-	-
160348	Groot-Ammers / Nieuwpoort	5,7	2,4	2,4	-	-
160350	Langerak	4,4	0,0	0	-	-
160358	Zederik	10,1	3,5	1,4	2,1	-
160354	Vianen	7,1	0,6	0	0,6	-
160355	Hagestein-Everdingen	6,5	1,4	1,4	-	-
160080	Diefdijklinie Noord	10,0	6,8	6,8	-	-
160081	Diefdijklinie Zuid	14,8	11,1	11,1	-	-
Totaal		110,3	62,6	59,3	3,1	0,3

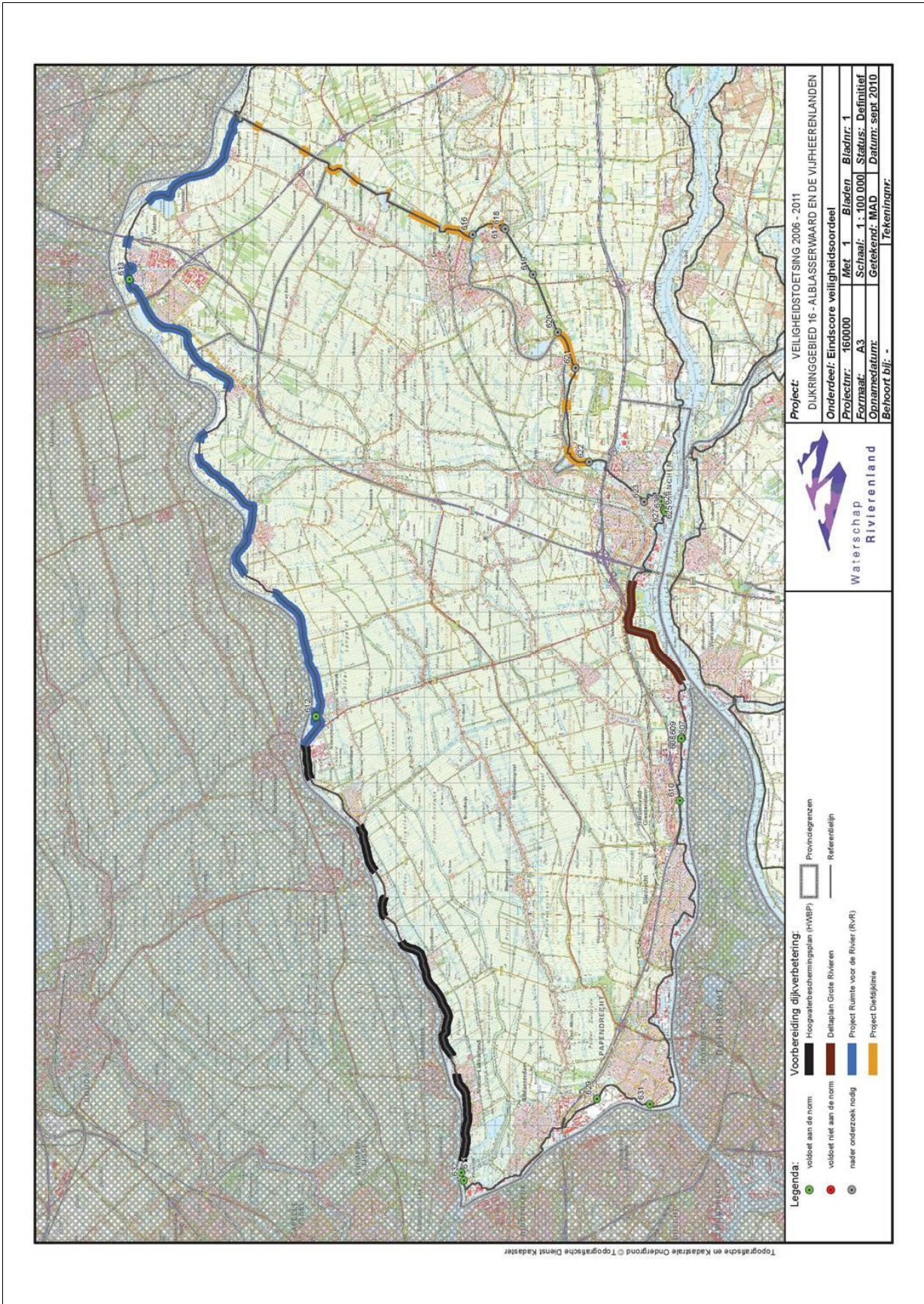
Tabel 46: Veiligheidsoordeel per dijkvak voor dijkkring 16.



Figuur 82: Veiligheidsoordeel dijken dijkkring 16.



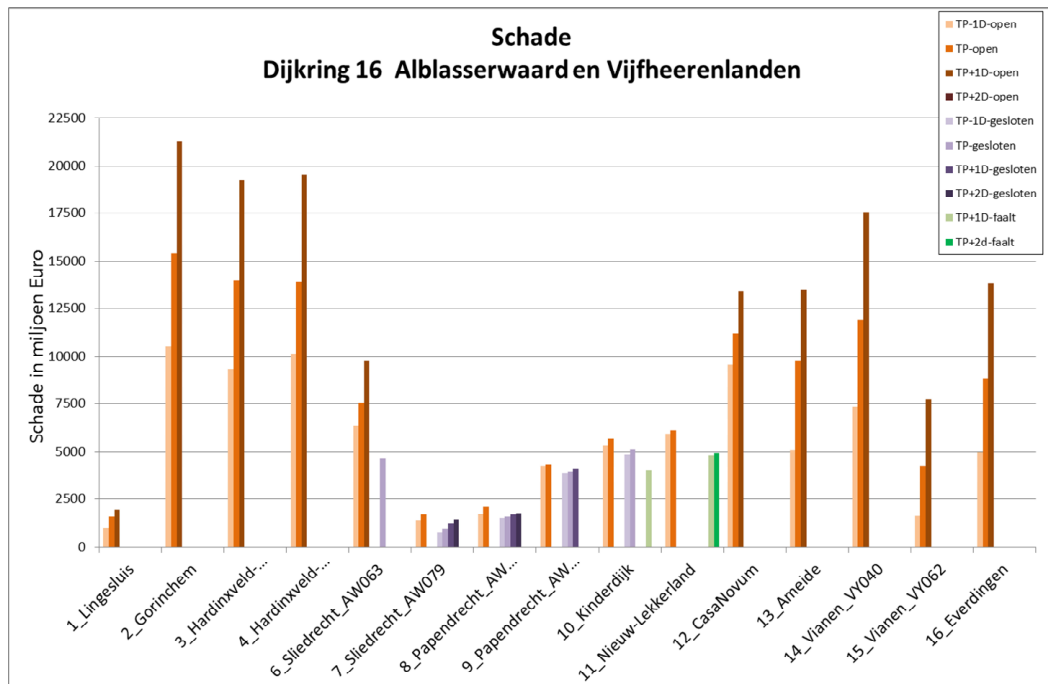




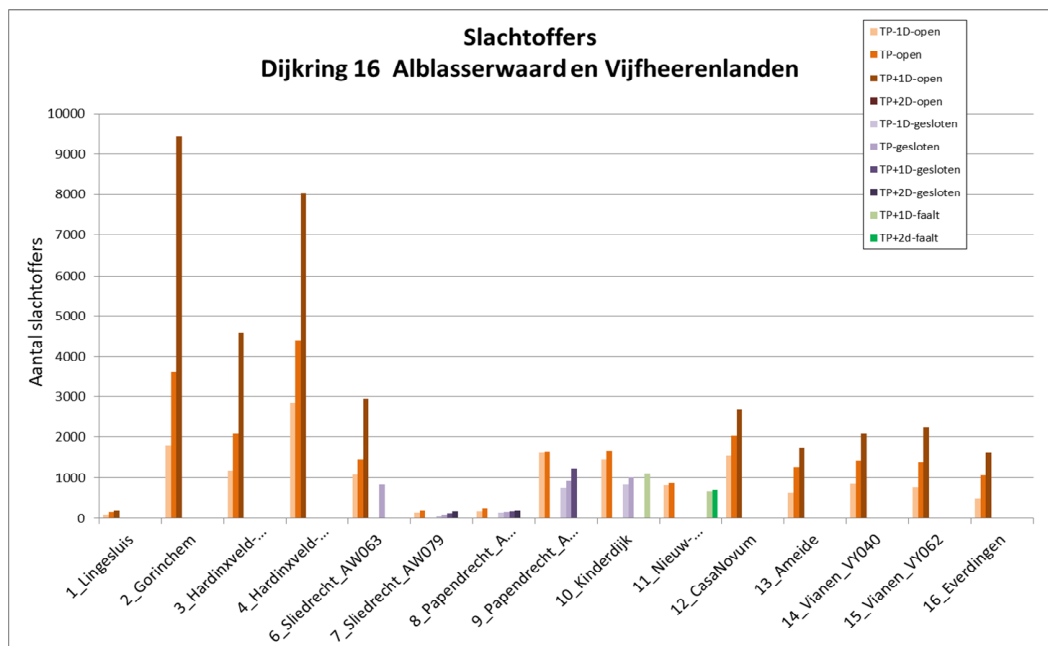
Figuur 83: Veiligheidsoordeel kunstwerken dijkring 16.



## Bijlage G Gevolgen van overstromingen



Figuur 84: Gevolgen uitgedrukt in schade bij verschillende doorbraaklocaties.



Figuur 85: Gevolgen uitgedrukt in slachtoffers voor evacuatiestrategie 1 bij verschillende doorbraaklocaties.



## Bijlage H Overstromingsscenario's huidige situatie (top 50)

#	Benedenstrooms (stormopzet gedomineerd)						Lek					Boven- en Beneden-Merwede				Aantal doorbraken	Faalkans scenario	Kansbijdrage (%)
	Nieuw Lekkerland AW171	Kinderdijk AW144	Papendrecht AW112	Papendrecht AW080	Sliedrecht AW079	Sliedrecht AW063	Everdingen VY095	Vianen VY062	Vianen VY040	Ameide AW296	Casa Novum AW217	Linge sluis	Gorinchem AW389	Hardinxveld Giessendam AW003	Hardinxveld Giessendam AW015			
1							faalt									1	4,45E-03	26,00%
4									faalt							1	3,99E-03	23,35%
2								faalt								1	3,00E-03	17,55%
3									faalt							1	1,46E-03	8,51%
5										faalt						1	6,87E-04	4,02%
13							faalt								faalt	2	2,35E-04	1,37%
34					faalt											1	2,19E-04	1,28%
12							faalt							faalt		2	1,85E-04	1,08%
9															faalt	1	1,83E-04	1,07%
122		faalt					faalt									2	1,44E-04	0,84%
17								faalt								2	1,29E-04	0,75%
123		faalt						faalt								2	9,47E-05	0,55%
30	faalt															1	9,36E-05	0,55%
209					faalt		faalt									2	8,05E-05	0,47%
21									faalt						faalt	2	7,82E-05	0,46%
133		faalt					faalt							faalt		3	6,41E-05	0,37%
32			faalt													1	6,31E-05	0,37%
151			faalt				faalt									2	6,03E-05	0,35%
124		faalt							faalt							2	5,64E-05	0,33%
210					faalt			faalt								2	4,73E-05	0,28%
16								faalt						faalt		2	4,40E-05	0,26%

#	Benedenstrooms (stormopzet gedomineerd)						Lek					Boven- en Beneden-Merwede				Aantal doorbraken	Faalkans scenario	Kansbijdrage (%)
	Nieuw Lekkerland AW171	Kinderdijk AW144	Papendrecht AW112	Papendrecht AW080	Sliedrecht AW079	Sliedrecht AW063	Everdingen VY095	Vianen VY062	Vianen VY040	Ameide AW296	Casa Novum AW217	Linge sluis	Gorinchem AW389	Hardinxveld Giessendam AW003	Hardinxveld Giessendam AW015			
134		faalt					faalt								faalt	3	4,28E-05	0,25%
31		faalt														1	3,64E-05	0,21%
138		faalt						faalt							faalt	3	3,30E-05	0,19%
152			faalt					faalt								2	2,74E-05	0,16%
211					faalt					faalt						2	2,54E-05	0,15%
212					faalt					faalt						2	2,22E-05	0,13%
142		faalt								faalt					faalt	3	2,16E-05	0,13%
153			faalt							faalt						2	2,10E-05	0,12%
25										faalt					faalt	2	2,08E-05	0,12%
412		faalt	faalt				faalt									3	1,93E-05	0,11%
10							faalt					faalt				2	1,91E-05	0,11%
131		faalt					faalt					faalt				3	1,84E-05	0,11%
8														faalt		1	1,53E-05	0,09%
470		faalt			faalt		faalt									3	1,52E-05	0,09%
221					faalt		faalt								faalt	3	1,39E-05	0,08%
20									faalt					faalt		2	1,34E-05	0,08%
163			faalt				faalt								faalt	3	1,31E-05	0,08%
135		faalt						faalt				faalt				3	1,30E-05	0,08%
137		faalt						faalt						faalt		3	1,28E-05	0,07%
14								faalt				faalt				2	1,25E-05	0,07%
471		faalt			faalt			faalt								3	1,18E-05	0,07%
423		faalt	faalt				faalt							faalt		4	1,10E-05	0,06%
220					faalt		faalt							faalt		3	1,07E-05	0,06%
413		faalt	faalt					faalt								3	1,04E-05	0,06%

#	Benedenstreams (stormopzet gedomineerd)						Lek					Boven- en Beneden-Merwede				Aantal doorbraken	Faalkans scenario	Kansbijdrage (%)
	Nieuw Lekkerland AW171	Kinderdijk AW144	Papendrecht AW112	Papendrecht AW080	Sliedrecht AW079	Sliedrecht AW063	Everdingen VY095	Vianen VY062	Vianen VY040	Ameide AW296	Casa Novum AW217	Linge sluis	Gorinchem AW389	Hardinxveld Giessendam AW003	Hardinxveld Giessendam AW015			
18								faalt				faalt			2	9,30E-06	0,05%	
162			faalt				faalt						faalt		3	9,17E-06	0,05%	
481		faalt			faalt		faalt						faalt		4	9,08E-06	0,05%	
225					faalt			faalt						faalt	3	8,64E-06	0,05%	
424		faalt	faalt				faalt							faalt	4	8,11E-06	0,05%	
110	6											faalt			1	1,23E-06	0,01%	
224	35						faalt								1	1,75E-07	0,00%	
980	7												faalt		1	7,86E-11	0,00%	
1366	33				faalt										1	4,88E-15	0,00%	

Tabel 47: Top 50 doorbraakscenario's (aangevuld met de niet gebruikte enkelvoudige scenario's) met de grootste kansbijdrage van dijkkring 16.





## Bijlage I Waterstandeffecten Ruimte voor de Rivier

Kilometer raai	Omschrijving	Dijkvak	TP HR1996 [m NAP]	TP HR2006 [m NAP]	Vershil [m]
943	Diefdijk	16.VY092.097	6,95	7,10	-0,15
944	Everdingen	16.VY084.092	6,85	7,00	-0,15
945		16.VY076.084	6,75	6,90	-0,15
946		16.VY076.084	6,65	6,80	-0,15
947	Hagesteijn	16.VY065.072	6,55	6,60	-0,05
948		16.VY065.072	6,50	6,60	-0,10
949		16.VY059.065	6,40	6,50	-0,10
950	Vianen	16.VY059.065	6,25	6,50	-0,25
951		16.VY052.059	6,20	6,30	-0,10
952		16.VY044.052	6,15	6,20	-0,05
953		16.VY044.052	6,10	6,20	-0,10
954		16.VY036.044	6,05	6,10	-0,05
955		16.VY036.044	6,00	6,10	-0,10
956	Lexmond	16.VY023.031	5,95	6,10	-0,15
957		16.VY017.023	5,85	6,00	-0,15
958		16.VY012.017	5,75	5,90	-0,15
959		16.VY012.017	5,60	5,80	-0,20
960	Achthoven	16.VY000.012	5,50	5,80	-0,30
961		16.VY000.012	5,40	5,70	-0,30
962	Ameide	16.AW289.299	5,30	5,60	-0,30
963		16.AW289.299	5,20	5,50	-0,30
964	Tienhoven	16.AW279.289	5,10	5,40	-0,30
965		16.AW279.289	5,00	5,20	-0,20
966		16.AW275.279	4,85	5,10	-0,25
967		16.AW275.279	4,75	5,00	-0,25
968		16.AW275.279	4,65	4,80	-0,15
969		16.AW254.262	4,55	4,70	-0,15
970	Langerak	16.AW251.254	4,40	4,60	-0,20
971	Nieuwpoort	16.AW247.251	4,30	4,50	-0,20
972		16.AW240.247	4,20	4,40	-0,20
973	Gelkenes	16.AW227.240	4,10	4,20	-0,10
974	Liesveld	16.AW227.240	4,00	4,10	-0,10
975		16.AW227.240	3,85	4,00	-0,15
976	Groot Ammers	16.AW218.227	3,80	3,90	-0,10
977		16.AW211.218	3,70	3,80	-0,10
978		16.AW203.211	3,65	3,70	-0,05
979		16.AW203.211	3,55	3,60	-0,05
980	Streefkerk	16.AW198.203	3,50	3,50	0,00
981		16.AW190.198	3,45	3,50	-0,05
982		16.AW184.190	3,40	3,40	0,00
983		16.AW180.184	3,40	3,40	0,00
984		16.AW176.180	3,35	3,30	0,05
985	Nieuw-Lekkerland	16.AW170.176	3,35	3,30	0,05
986		16.AW160.170	3,35	3,30	0,05
987		16.AW160.170	3,30	3,20	0,10
988		16.AW155.160	3,30	3,20	0,10
989	Krimpen aan de Lek	16.AW155.160	3,30	3,20	0,10

Tabel 48: Taakstelling PKB Ruimte voor de Rivier voor de Lek (waterstandsverschil tussen toetspeilen HR2006 en HR1996).

Kilometer raai	Omschrijving	Dijkvak	TP HR1996 [m NAP]	TP HR2006 [m NAP]	Vershil [m]
976	Papendrecht	16.AW104.108	3,00	3,00	0,00
977		16.AW108.112	3,00	3,00	0,00
978		16.AW112.119	3,00	3,00	0,00
979		16.AW119.125	3,00	3,00	0,00
980		16.AW125.132	3,05	3,00	0,05
981		16.AW132.139	3,05	3,00	0,05
982	Ablasserdam	16.AW139.145	3,10	3,00	0,10
983	Kinderdijk	16.AW145.151	3,15	3,10	0,05
984		16.AW151.155	3,20	3,10	0,10
985		16.AW151.155	3,30	3,20	0,10

Tabel 49: Taakstelling PKB Ruimte voor de Rivier voor de Noord (waterstandsverschil tussen toetspeilen HR2006 en HR1996).

Kilometer raai	Omschrijving	Dijkvak	TP HR1996 [m NAP]	TP HR2006 [m NAP]	Vershil [m]
955		16.AW379.388	5,75	5,90	-0,15
956		16.AW388.395	5,55	5,70	-0,15
957		16.AW395.004	5,30	5,50	-0,20
958		16.AW395.004	5,10	5,30	-0,20
959		16.AW008.020	4,85	5,00	-0,15
960		16.AW008.020	4,65	4,80	-0,15
961	Splitsingspunt	16.AW020.030	4,40	4,60	-0,20
962	Boven Hardinxveld	16.AW020.030	4,25	4,40	-0,15
963		16.AW020.030	4,10	4,30	-0,20
964	Neder Hardinxveld	16.AW030.040	3,90	4,10	-0,20
965	Giessendam	16.AW040.053	3,75	3,90	-0,15
966		16.AW040.053	3,65	3,70	-0,05
967		16.AW053.062	3,50	3,60	-0,10
968	Sliedrecht	16.AW053.062	3,35	3,50	-0,15
969		16.AW062.069	3,30	3,40	-0,10
970		16.AW069.076	3,25	3,30	-0,05
971		16.AW076.080	3,20	3,20	0,00
972		16.AW080.091	3,10	3,10	0,00
973		16.AW080.091	3,10	3,10	0,00
974		16.AW098.104	3,05	3,10	-0,05
975		16.AW098.104	3,00	3,00	0,00
976	Splitsingspunt	16.AW104.108	3,00	3,00	0,00

Tabel 50: Taakstelling PKB Ruimte voor de Rivier voor de Boven- en Beneden-Merwede (waterstandsverschil tussen toetspeilen HR2006 en HR1996).

Kilometer raai	Omschrijving	Dijkvak	TP Referentie [m NAP]	TP Variant [m NAP]	Vershil [m]
976	Papendrecht	16.AW104.108	2,96	2,91	-0,05
977		16.AW108.112	3,03	2,98	-0,05
978		16.AW112.119	3,04	2,99	-0,04
979		16.AW119.125	3,05	3,01	-0,04
980		16.AW125.132	3,05	3,01	-0,04
981		16.AW132.139	3,06	3,03	-0,03
982	Ablasserdam	16.AW139.145	3,08	3,06	-0,02
983	Kinderdijk	16.AW145.151	3,11	3,09	-0,02
984		16.AW151.155	3,17	3,16	-0,01
985		16.AW151.155	3,17	3,16	-0,01

Tabel 51: Waterstandsverschil op de Noord als gevolg van Ontpoldering Noordwaard.

Kilometer raai	Omschrijving	Dijkvak	TP Referentie [m NAP]	TP Variant [m NAP]	Vershil [m]
955		16.AW379.388	5,84	5,54	-0,30
956		16.AW388.395	5,63	5,30	-0,33
957		16.AW395.004	5,40	5,05	-0,35
958		16.AW395.004	5,32	4,94	-0,38
959		16.AW008.020	5,05	4,64	-0,41
960		16.AW008.020	4,84	4,40	-0,44
961	Splitsingspunt	16.AW020.030	4,60	4,12	-0,48
962	Boven Hardinxveld	16.AW020.030	4,45	3,99	-0,47
963		16.AW020.030	4,27	3,84	-0,43
964	Neder Hardinxveld	16.AW030.040	4,07	3,70	-0,36
965	Giessendam	16.AW040.053	3,88	3,56	-0,32
966		16.AW040.053	3,71	3,44	-0,27
967		16.AW053.062	3,58	3,34	-0,24
968	Sliedrecht	16.AW053.062	3,45	3,25	-0,20
969		16.AW062.069	3,33	3,17	-0,16
970		16.AW069.076	3,23	3,10	-0,12
971		16.AW076.080	3,14	3,05	-0,09
972		16.AW080.091	3,09	3,01	-0,08
973		16.AW080.091	3,05	2,98	-0,07
974		16.AW098.104	3,02	2,96	-0,06
975		16.AW098.104	2,99	2,93	-0,05
976	Splitsingspunt	16.AW104.108	2,96	2,91	-0,05

Tabel 52: Waterstandsverschil Boven- en Beneden-Merwede als gevolg van Ontpoldering Noordwaard.

Kilometer raai	Omschrijving	Dijkvak	Vershil [m]
943	Diefdijk	16.VY092.097	-0,23
944	Everdingen	16.VY084.092	-0,24
945		16.VY076.084	-0,25
946		16.VY076.084	-0,26
947	Hagesteijn	16.VY065.072	-0,27
948		16.VY065.072	-0,28
949		16.VY059.065	-0,29
950	Vianen	16.VY059.065	-0,30
951		16.VY052.059	-0,32
952		16.VY044.052	-0,33
953		16.VY044.052	-0,33
954		16.VY036.044	-0,34
955		16.VY036.044	-0,35
956	Lexmond	16.VY023.031	-0,36
957		16.VY017.023	-0,37
958		16.VY012.017	-0,38
959		16.VY012.017	-0,39
960	Achthoven	16.VY000.012	-0,40
961		16.VY000.012	-0,42
962	Ameide	16.AW289.299	-0,43
963		16.AW289.299	-0,42
964	Tienhoven	16.AW279.289	-0,43
965		16.AW279.289	-0,42
966		16.AW275.279	-0,44
967		16.AW275.279	-0,44
968		16.AW275.279	-0,45

---

Kilometer raai	Omschrijving	Dijkvak	Vershil [m]
969		16.AW254.262	-0,44
970	Langerak	16.AW251.254	-0,42
971	Nieuwpoort	16.AW247.251	-0,40
972		16.AW240.247	-0,39
973	Gelkenes	16.AW227.240	-0,38
974	Liesveld	16.AW227.240	-0,38
975		16.AW227.240	-0,35
976	Groot Ammers	16.AW218.227	-0,29
977		16.AW211.218	-0,25
978		16.AW203.211	-0,16
979		16.AW203.211	-0,10
980	Streefkerk	16.AW198.203	0,00
981		16.AW190.198	0,00

*Tabel 53: Waterstandsverschil voor de dijkvakken langs de Lek als gevolg van 40 jaar erosie van de bodem van de Lek.*

## Bijlage J Overstromingsrisico's

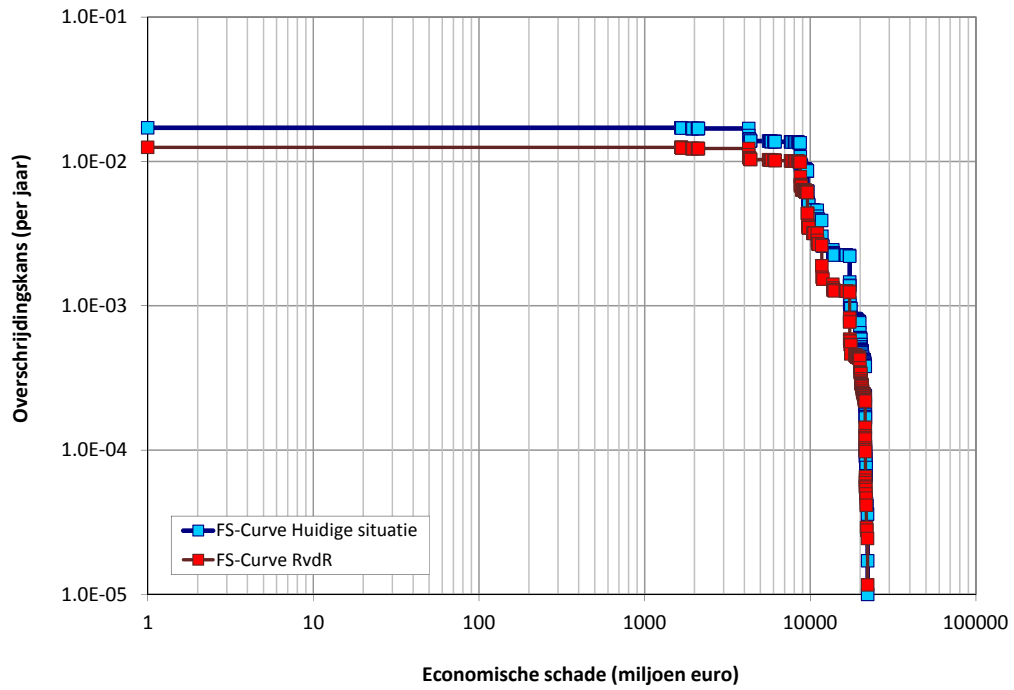
Dijkkring	overstromings- kans (per jaar)	economisch risico (M€/jaar)	slachtoffer risico (aantal/jaar)
16 Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden	>1/100	168	14,3
14 Zuid-Holland	1/16.000	0,3	0,1
15 Lopiker- en Krimpenerwaard	>1/100	75	5,3
17 IJsselmonde	1/1.000	1	0,24
25 Goeree-Overflakkee	>1/100	0,3	0,01
38 Bommelerwaard	1/1.200	4,7	0,1
40 Heerewaarden	1/840	0,05	0,003
41 Land van Maas en Waal	1/290	21,4	0,5
42 Ooij en Millingen	1/280	4,3	0,15
43 Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden	>1/100	246,1	5,2
44 Kromme Rijn	1/200	31	0,57
45 Gelderse Vallei	1/100	83	1,9
31 Zuid-Beveland (oost)	>1/100	38	10
8 Flevoland	1/550	16,6	0,72
36 Land van Heusden / Maaskant	>1/100	31	0,6
52 Oost-Veluwe	>1/100	9	0,13

Tabel 54: Overstromingskansen en -risico's voor diverse dijkringen in Nederland.

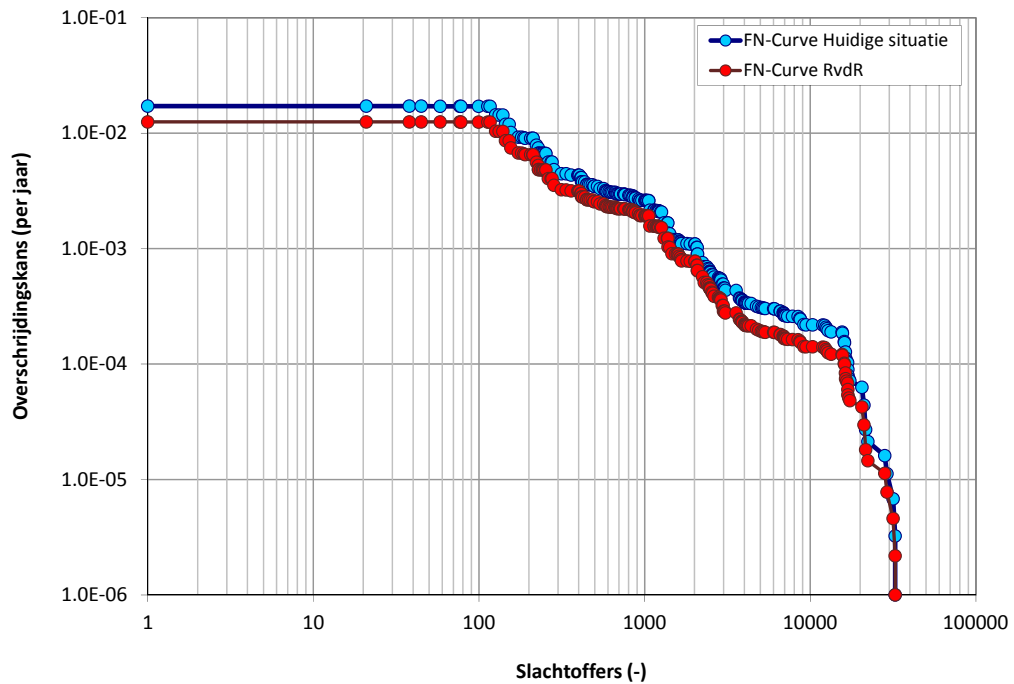


## Bijlage K Resultaten gevoeligheidsanalyses

### Veiligheidsniveau na waterstandverlagende maatregelen (paragraaf 7.2)



Figuur 86: FS-curve dijkkring 16 na uitvoering Ruimte voor de Rivier maatregelen.



Figuur 87: FN-curve dijkkring 16 na uitvoering Ruimte voor de Rivier maatregelen.

### Veiligheidsniveau na dijkversterkende maatregelen (paragraaf 7.3)

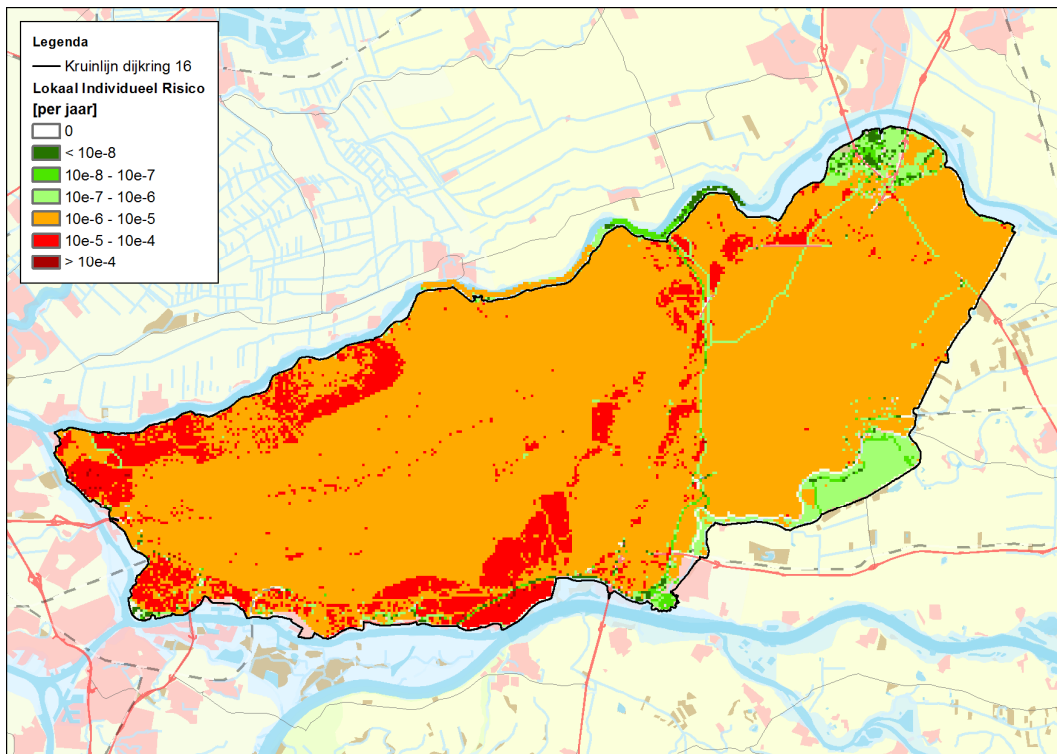
In Figuur 88 is de locatie van de vakken weergegeven die onderdeel uitmaken van de verschillende dijkverbeterende maatregelen zoals gepresenteerd in paragraaf 7.3.



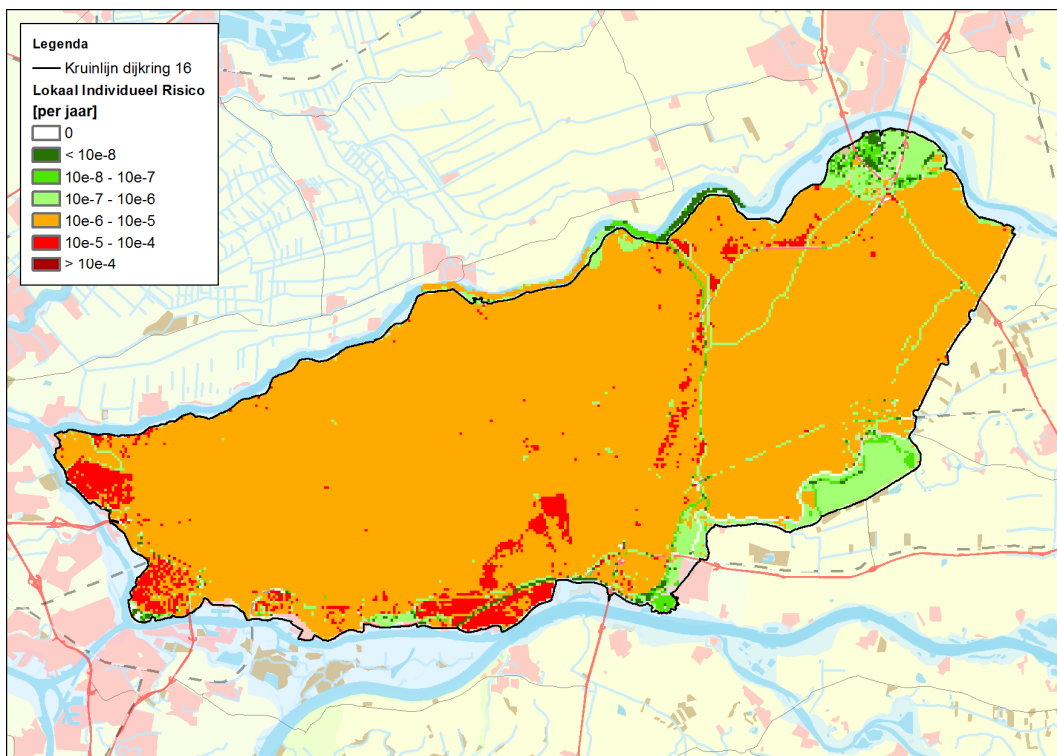
Figuur 88: Te verbeteren dijkvakken en kunstwerken om de overstroomingskans gelijk te krijgen aan de overschrijdingskansnorm of de optimale kans uit de MKBA.



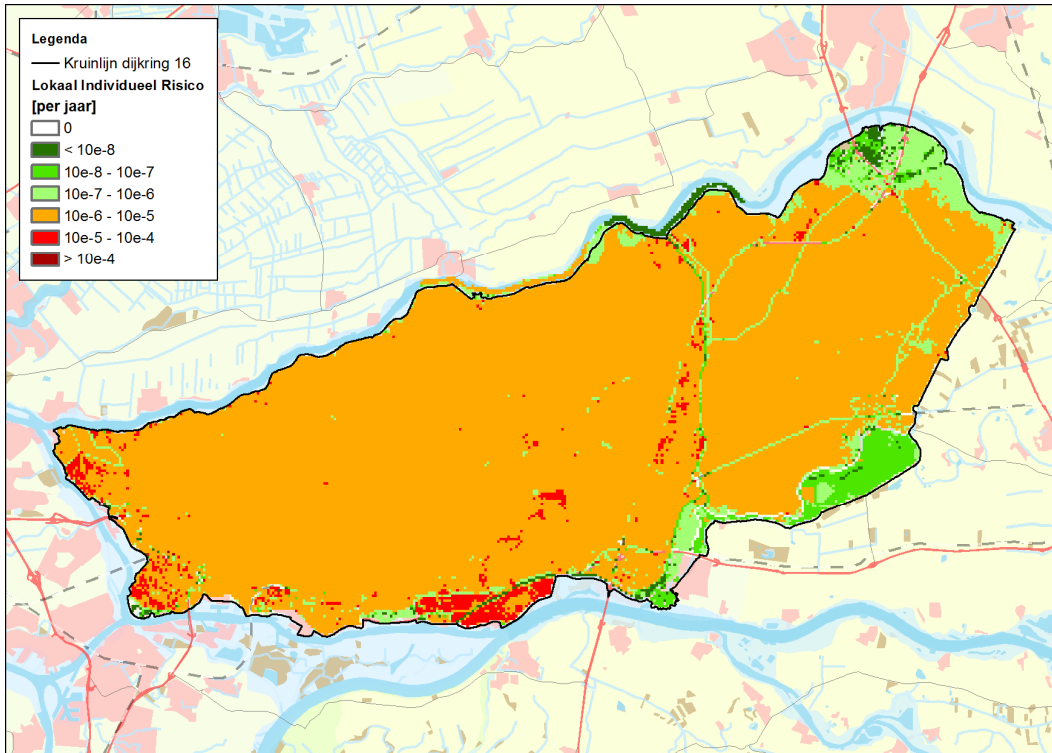
**Basisveiligheid Lokaal Individueel Risico LIR <math>10^{-5}</math> per jaar (paragraaf 7.4)**



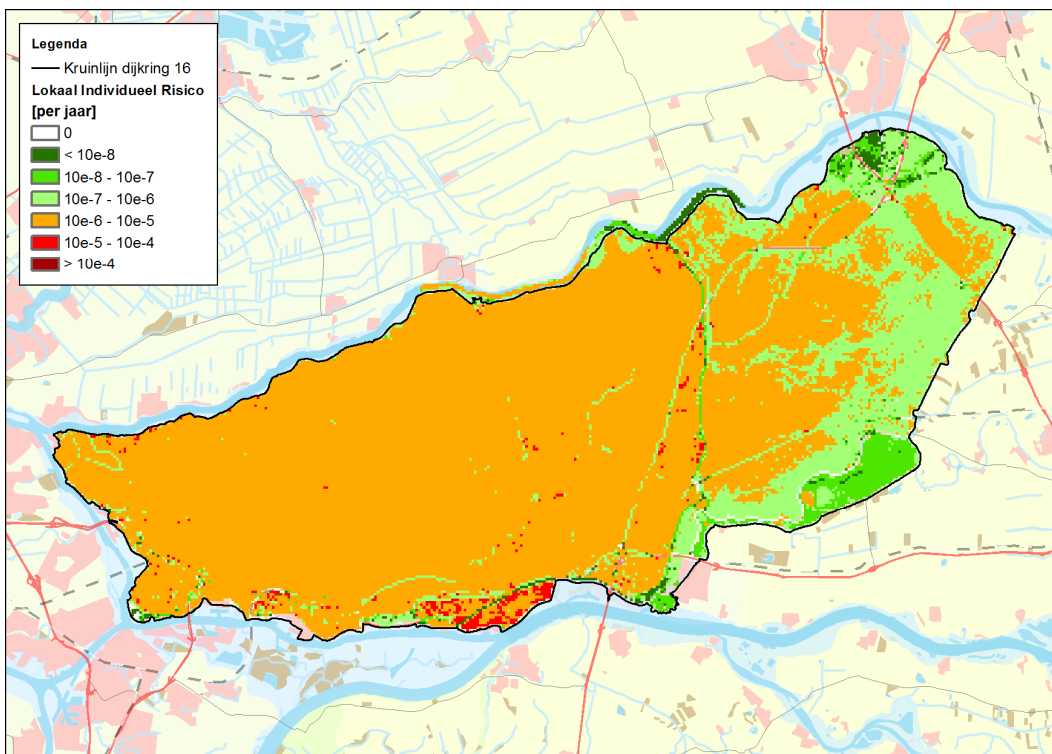
*Figuur 89: LIR in dijkkringgebied 16 na 10 verbeterstappen.*



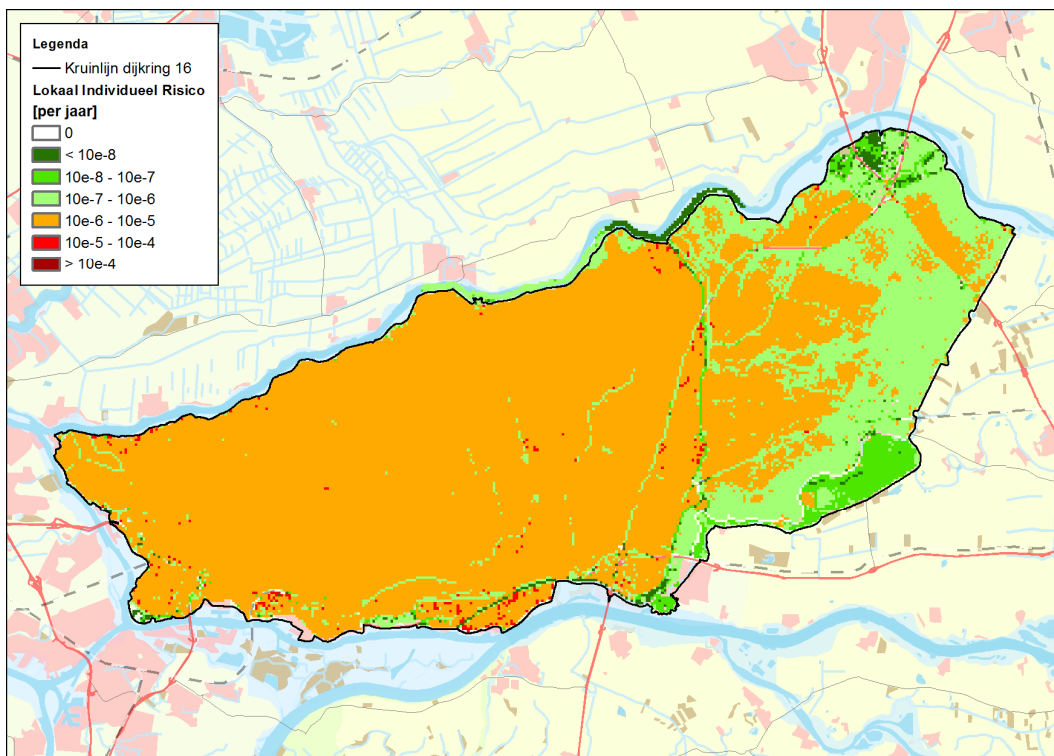
*Figuur 90: LIR in dijkkringgebied 16 na 13 verbeterstappen.*



Figuur 91: LIR in dijkringgebied 16 na 16 verbeterstappen.



Figuur 92: LIR in dijkringgebied 16 na 19 verbeterstappen.



Figuur 93: LIR in dijkringgebied 16 na 20 verbeterstappen.

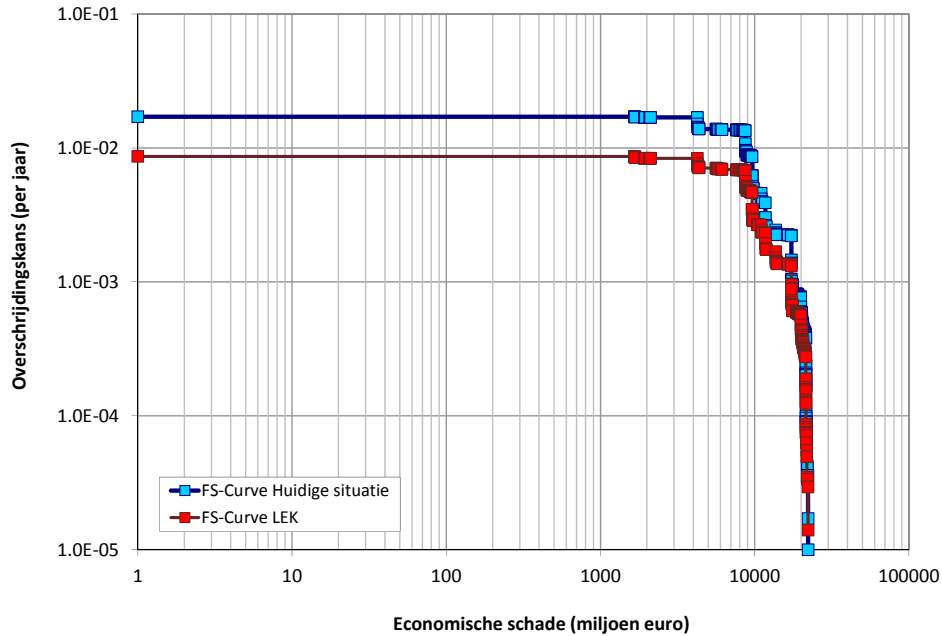


Figuur 94: Te verbeteren dijkvakken om het LIR terug te brengen tot  $< 10^{-5}$  per jaar.



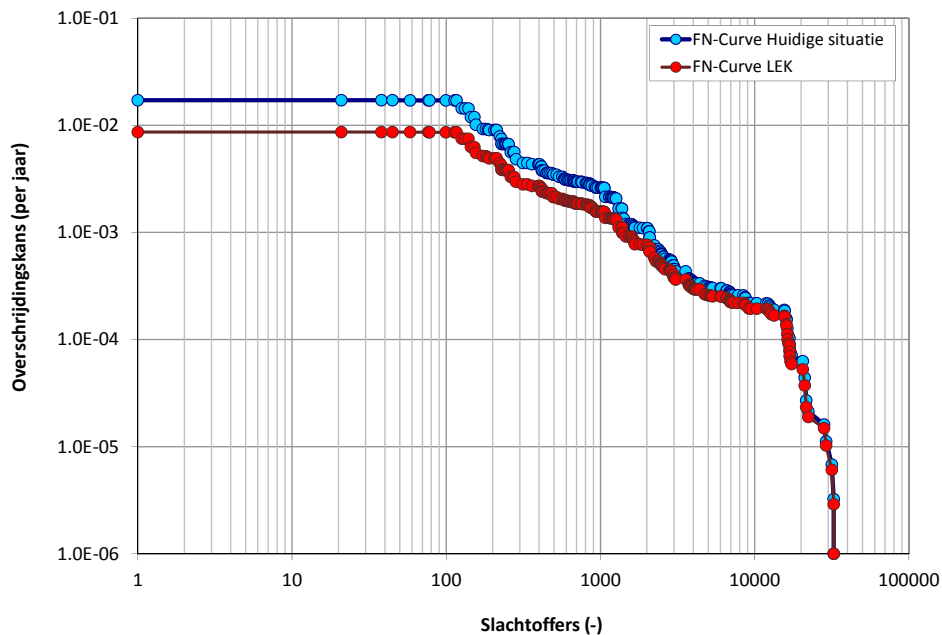
### Effect erosie van de bodem van de Lek (paragraaf 7.7.1)

De invloed van de erosie van de bodem van de Lek op de FS-curve is getoond in Figuur 96. In de figuur is te zien dat de kans op schade met een factor van 1,9 afneemt waardoor de FS curve van de Ruimte voor de Rivier naar beneden schuift. De maximale economische schade blijft gelijk.



Figuur 96: FS-curve dijkkring 16 na erosie van de bodem van de Lek.

In Figuur 97 is het effect van de erosie van de bodem van de Lek op het groepsrisico (FN-curve) getoond. In de figuur is te zien dat de kans op slachtoffers afneemt, de gehele curve verschuift naar beneden. Het maximum aantal slachtoffers blijft gelijk. De eerder genoemde daling in de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers met een factor 2,0 is het verschil tussen de twee gepresenteerde curves.



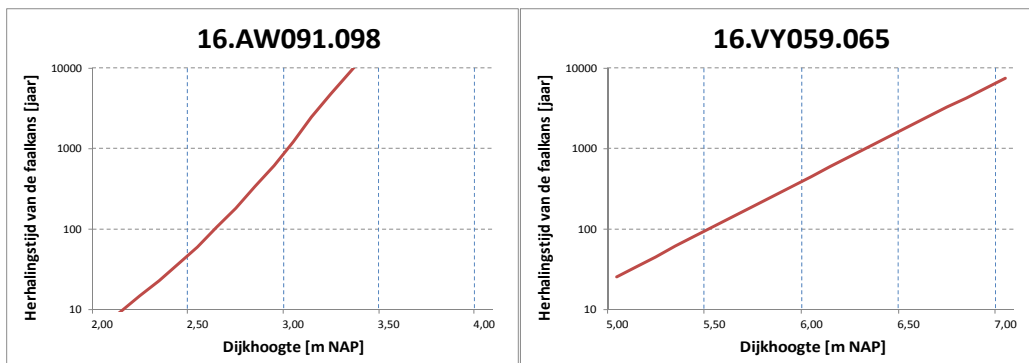
Figuur 97: FN-curve dijkkring 16 na erosie van de bodem van de Lek.

## Effect faalkans macrostabiliteit binnenwaarts 1/100 per jaar (paragraaf 7.7.2)

Voor twee vakken (16.AW091.098 en 16.VY059.065) zijn faalkansen voor het faalmechanisme *macrostabiliteit binnenwaarts* berekend die als onwaarschijnlijk worden beoordeeld (paragraaf 3.4.2). In de bepaling van de overstromingskans is er daarom voor gekozen dit faalmechanisme voor deze vakken niet mee te nemen. Om de consequenties van deze aanname op de overstromingskans te bepalen is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij een faalkans van 1/100 per jaar is aangenomen voor deze vakken.

### Gehanteerde methode

Er is gekozen om de faalkans voor het faalmechanisme *overloop en golfoverslag* aan te passen omdat dit voor het faalmechanisme *macrostabiliteit binnenwaarts* niet goed mogelijk is. Dit is gedaan door de hoogte van de dijk zo te kiezen dat de faalkans voor het faalmechanisme *overloop en overslag* gelijk is aan 1/100 per jaar. Hiervoor zijn enkele gevoeligheidsberekeningen voor de dijkhoogte uitgevoerd. Het resultaat is te zien in figuur 98. Het resultaat is voor dijkvak 16.AW091.098 een hoogte van NAP+2,59 m en voor dijkvak 16.VY059.065 een hoogte van NAP+5,47m. Op basis van de gevonden hoogte zijn de overloop en overslag profielen aangepast. Hierna is de faalkans van de dijkring opnieuw berekend en is de risicoberekening opnieuw uitgevoerd.



Figuur 98: Herhalingstijd van de faalkans voor het faalmechanisme *overloop en overslag* als functie van de dijkhoogte voor de twee vakken waar een onrealistisch hoge faalkans is berekend op het faalmechanisme *macrostabiliteit binnenwaarts*.

Resultaten risicoberekeningen

Overstromingsscenario's (falende ringdelen)	Scenario kans (per jaar)	Kans bijdrage	Economisch risico (M€ / jaar)	Bijdrage economisch risico
Ameide AW296	1/280	14,2%	34,0	13,9%
<b>Papendrecht AW112, Vianen VY062</b>	1/260	15,5%	31,2	12,8%
Everdingen VY095	1/360	11,1%	24,1	9,8%
<b>Papendrecht AW112, Everdingen VY095</b>	1/520	7,7%	17,8	7,3%
<b>Vianen VY062</b>	1/260	15,4%	16,3	6,7%
Vianen VY040	1/1.400	2,8%	8,3	3,4%
Casa Novum AW217	1/1.600	2,6%	7,1	2,9%
<b>Papendrecht AW112</b>	1/640	6,3%	6,8	2,8%
<b>Papendrecht AW112, Everdingen VY095, Hardinxveld Giessendam AW003</b>	1/3.600	1,1%	5,7	2,3%
Overige (verschillende ringdelen)	1/540	7,5%	25,0	10,9%
Restant	1/250	15,9%	68,3	27,9%
<i>Totaal</i>	<i>&gt;1/100</i>	<i>100,1%</i>	<i>244,5</i>	<i>100,7%</i>

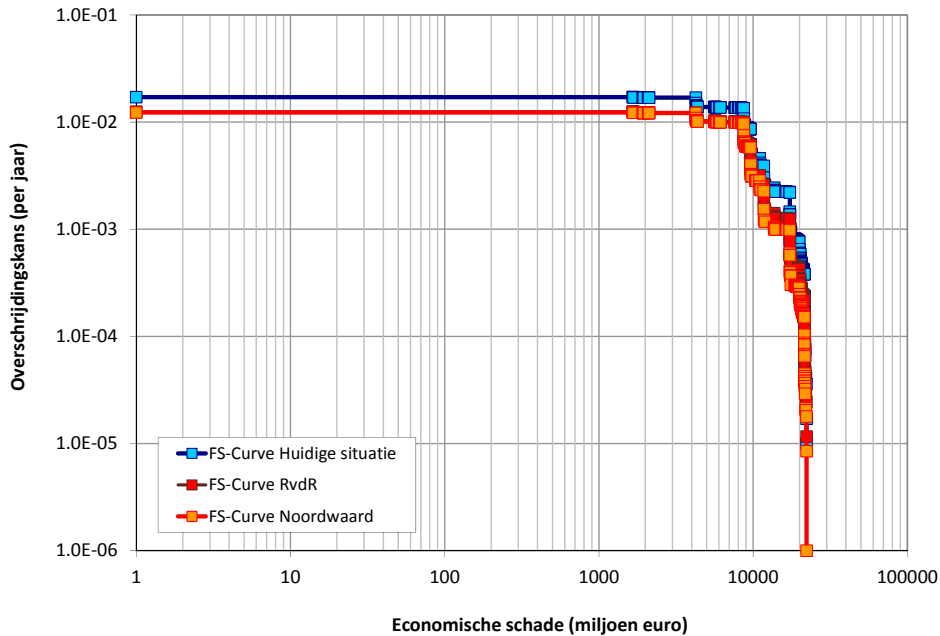
Tabel 55: Scenario-kansen en economisch risico (top10) voor dijkkringgebied 16, gevoeligheids-analyse macrostabiliteit binnenwaarts.

Overstromingsscenario's (falende ringdelen)	Scenario kans (per jaar)	Kans bijdrage	Slachtoffer risico (aantal/jr)	Bijdrage slachtoffer risico
<b>Papendrecht AW112, Vianen VY062</b>	1/260	15,5%	9,81	27,0%
<b>Papendrecht AW112, Everdingen VY095, Hardinxveld Giessendam AW015</b>	1/4400	0,9%	4,44	39,2%
<b>Papendrecht AW112, Everdingen VY095</b>	1/520	7,7%	4,14	50,6%
<b>Papendrecht AW112, Everdingen VY095, Hardinxveld Giessendam AW003</b>	1/3600	1,1%	3,97	61,6%
<b>Papendrecht AW112</b>	1/640	6,3%	2,27	67,8%
Kinderdijk AW144, <b>Papendrecht AW112, Everdingen VY095, Hardinxveld Giessendam AW003</b>	1/13000	0,3%	1,97	73,3%
Kinderdijk AW144, <b>Papendrecht AW112, Everdingen VY095, Hardinxveld Giessendam AW015</b>	1/19000	0,2%	1,49	77,4%
<b>Vianen VY062</b>	1/260	15,4%	1,24	80,8%
Ameide AW296	1/280	14,2%	1,05	83,7%
Overige (verschillende ringdelen)	>1/100	22,6%	4,01	9,4%
Restant	1/250	15,9%	1,92	5,3%
<i>Ringkans</i>	<i>&gt;1/100</i>	<i>100,1%</i>	<i>36,3036,31</i>	<i>576,1%</i>

Tabel 56: Scenario-kansen en slachtoffer risico (top10) voor dijkkringgebied 16, gevoeligheids-analyse macrostabiliteit binnenwaarts.

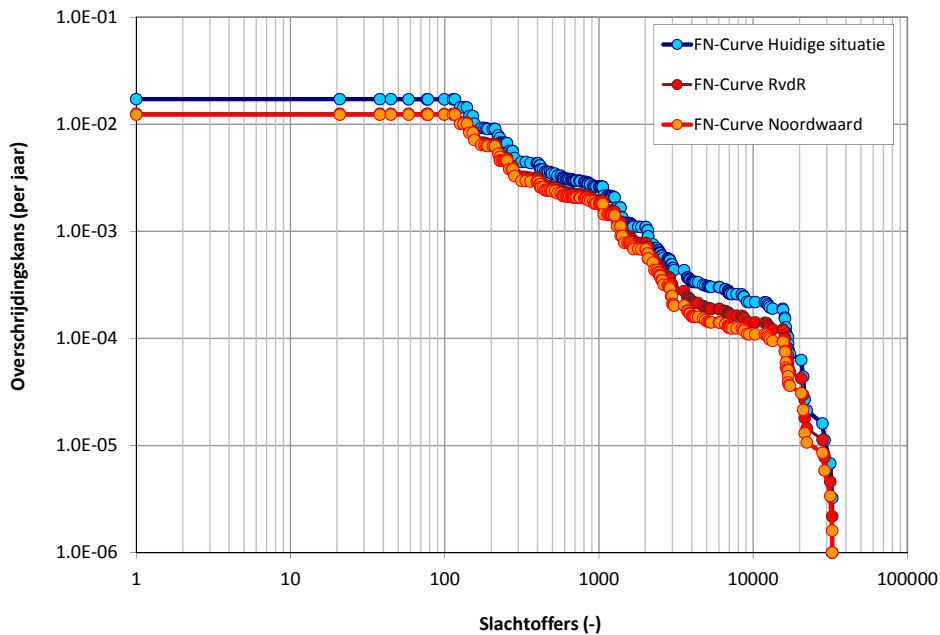
### Effect waterstandverlaging 'Ontpoldering Noordwaard' (paragraaf 7.7.3)

De invloed van de Ruimte voor de Rivier maatregelen op de FS-curve is getoond in Figuur 99. Uit de figuur blijkt dat de kans op schade met een factor van 1,4 afneemt waardoor de FS-curve van de Ruimte voor de Rivier naar beneden schuift. De maximale economische schade blijft gelijk.



Figuur 99: FS-curve dijkkring 16 na uitvoering Ruimte voor de Rivier maatregelen.

In Figuur 100 is het effect op het groepsrisico (FN-curve) van de Ruimte voor de Rivier maatregelen getoond. Uit de figuur blijkt dat de kans op slachtoffers afneemt, de gehele curve verschuift naar beneden. Het maximum aantal slachtoffers blijft gelijk. De eerder genoemde daling in de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers met een factor 1,4 is het verschil tussen de twee gepresenteerde curves.



Figuur 100: FN-curve dijkkring 16 na uitvoering Ruimte voor de Rivier maatregelen.



---

## **Bijlage L Colofon**

### **Uitgegeven door**

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

### **Betrokken beheerder**

Waterschap Rivierenland  
Contactpersoon: B. Effing

Foto omslag: Taco van Manen (WSRL)

### **Betrokken Provincie**

Provincie Zuid-Holland  
Contactpersoon: R. Piek

### **Projectteam dijkkring 16**

Projectleider:  
P. van der Scheer (RoyalHaskoningDHV)

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

### **Schematisatieteam:**

R. (Ronny) Vergouwe (RoyalHaskoningDHV)  
M.C.J. (Marcel) van den Berg (RoyalHaskoningDHV)  
Q.M. (Quintijn) van Agten (RoyalHaskoningDHV)  
R.J.M. (Ric) Huting (RoyalHaskoningDHV)  
R. (Rik) Nieuwhof (RoyalHaskoningDHV)  
A.J. (Arnoud) Keizer (RoyalHaskoningDHV)  
S. (Sander) Post (RoyalHaskoningDHV)  
G. (Geert) Liesting (RoyalHaskoningDHV)

### **Kwaliteitsborging**

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