

Veiligheid Nederland in kaart

VNKR2



Overstromingsrisico Maasdal Limburg

Oktober 2015

Veiligheid Nederland in Kaart 2

Overstromingsrisico Maasdal Limburg

Documenttitel	Veiligheid Nederland in Kaart 2 Overstromingsrisico Maasdal Limburg
Document	
Status	Definitief
Datum	oktober 2015
Auteurs	C. Bisschop B. de Groot M. Zethof J.K. Leenders
Opdrachtnemer	Rijkswaterstaat WVL
Uitgevoerd door	C. Bisschop (Greenrivers bv) B. de Groot (RPS – Consortium ALBICOM) R. Agtersloot (Agtersloot Hydraulisch advies) M. Zethof / J.K. Leenders (HKV) W. v. Ruiten (ws. Peel en Maasvallei) R. Potter / Y. van Kruchten (ws. Roer en Overmaas)
Opdrachtgevers	Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Unie van Waterschappen en Interprovinciaal Overleg

Voorwoord

Het project Veiligheid Nederland in Kaart (VНК2) heeft voor 58 dijkkringgebieden het overstromingsrisico, uitgedrukt in economische schade en aantallen slachtoffers, geanalyseerd. Na deze afzonderlijke dijkkringgebieden worden in dit rapport de resultaten gepresenteerd van de uitgevoerde risicoanalyse voor het gehele Maasdal in de provincie Limburg. Hiermee is het landsdekkende risicobeeld in Nederland afgerond. Het detailniveau van deze analyses is afgestemd op de primaire doelstelling van VНК2: het verschaffen van een beeld van het overstromingsrisico.

Hoewel dit rapport een beeld geeft van de veiligheid van het gehele Maasdal, dient het niet te worden verward met een toetsrapport in het kader van de Waterwet. De in VНК2 berekende overstromingskansen laten zich niet zonder meer vergelijken met de wettelijk vastgelegde overschrijdingskansen van de waterstanden die de primaire keringen veilig moeten kunnen keren. Ten opzichte van de toetsing zijn binnen VНК2 slechts enkele, voor de overstromingskans dominante, faalmechanismen meegenomen in de beoordeling.

Bij het tot stand komen van de resultaten hebben de beide beheerders (de Waterschappen Roer en Overmaas en Peel en Maasvallei) een belangrijke rol gespeeld. De waterkeringbeheerders hebben een essentiële bijdrage geleverd door gegevens ter beschikking te stellen en de plausibiliteit van de opgestelde (alternatieve) schematisaties te bespreken. De uitgevoerde analyses zijn zowel intern als extern getoetst. Ten slotte hebben deskundigen van het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) de kwaliteit van de rapportages gecontroleerd.

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

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

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

Niels Roode
Projectmanager VНК2, Rijkswaterstaat WVL

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	1
Technische samenvatting	7
1 Inleiding	14
1.1 Aanleiding project Veiligheid van Nederland in Kaart	14
1.2 Projectopdracht risicoanalyse Maasdal Limburg	14
1.3 Overschrijdingskansen en overstromingskansen	15
1.3.1 Beschouwde dijkringen binnen Maasdal	16
1.4 Leeswijzer	16
2 Gebiedsbeschrijving en schematisatie	19
2.1 Beschrijving Maasdal	19
2.1.1 Gebiedsbeschrijving	19
2.1.2 Beheerders	20
2.1.3 De primaire waterkeringen	21
2.2 Ontstaansgeschiedenis	21
2.2.1 Geologie	21
2.2.2 Overstroombare keringen	21
2.3 Recente geschiedenis: bedreigingen en versterkingen	22
2.3.1 Hoogwaters in Limburg	22
2.4 Recente geschiedenis: versterkingen	22
2.5 Vakindeling vijf beschouwde dijkringen	26
2.5.1 Dijkvakindeling	26
2.5.2 Overzicht vakindeling per dijkkring en beschouwde faalmechanismen dijken	27
2.5.3 Kunstwerken per dijkkring en beschouwde faalmechanismen	28
2.6 Hydraulische modellering Limburgse Maas	28
3 Wijze van bepaling faalkansen demontabele keringen	29
3.1 Algemeen	29
3.2 Aanpak / gevolgde methode	29
3.3 Faalkansanalyse demontabele keringen	30
3.3.1 Faalkans deelfaalmechanisme Alarmering	30
3.3.2 Faalkans deelfaalmechanisme Mobilisatie	30
3.3.3 Faalkans deelfaalmechanisme Bediening	31
3.3.4 Faalkans deelfaalmechanisme Technisch falen	31
3.3.5 Gecombineerde faalkansen demontabele keringen	31
4 Resultaten faalkansanalyses vijf dijkringen	33
4.1 Aanpak en uitgangspunten	33
4.2 Beschouwde faalmechanismen	33
4.2.1 Faalmechanismen dijken	33
4.2.2 Faalmechanismen kunstwerken	34

4.3	Niet beschouwde faalmechanismen	35
4.4	Resultaten faalkansanalyses	36
4.4.1	Resultaten dijkkring 54 – Ottersum, Mook	36
4.4.2	Resultaten dijkkring 55 – Gennep	37
4.4.3	Resultaten dijkkring 69 Blerick	39
4.4.4	Resultaten dijkkring 77 – Herten-Ool-Merum	41
4.4.5	Resultaten dijkkring 90 – Geulle, Maastricht	43
4.5	Vergelijking met de resultaten van de wettelijke toetsing	44
5	De gevolgen van overstromingen	47
5.1	Aanpak en uitgangspunten	47
5.2	Bresdefinitie per dijkkring	48
5.3	Gevolgen binnen en buiten de dijkkringgebieden	49
6	Overstromingsrisico	51
6.1	Economisch risico	51
6.1.1	Economisch risico in buitendijks gebied	54
6.2	Slachtofferisico	56
6.3	Samenvatting van het overstromingsrisico	62
7	Conclusies en aanbevelingen	65
7.1	Conclusies	65
7.1.1	Conclusies t.a.v. de berekende faalkansen (vijf dijkringen)	65
7.1.2	Conclusies t.a.v. faalkansanalyse demontabele keringen (vijf dijkringen)	65
7.1.3	Conclusies t.a.v. de gevolgen van overstromingen	65
7.1.4	Conclusies t.a.v. het overstromingsrisico	66
7.2	Aanbevelingen	66
7.2.1	Aanbevelingen t.a.v. de prioritering van maatregelen	66
7.2.2	Aanbevelingen t.a.v. gegevensinwinning	66
7.2.3	Aanbeveling t.a.v. demontabele keringen	67
7.2.4	Aanbevelingen t.a.v. de modellering	67

Managementsamenvatting

Wat is VNK2?

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

In de risicoanalyse voor het Maasdal is gebruik gemaakt van een methode die enigszins afwijkt van de standaard methode uit VNK2. Dit is gedaan vanwege de beperkte beschikbaarheid van gegevens en de grote inspanning die gedetailleerde faalkansanalyses zouden vergen. Voor een vijftal dijkkringen, zijn wel faalkansanalyses uitgevoerd. Voor de overige dijkkringen is uitgegaan van beheerdersoordelen en de aanwezige kruinhoogtes bij het inschatten van de kansen op overstromingen. Door de kansen te koppelen aan de gevolgen van overstromingen, is voor het gehele Maasdal een realistisch beeld verkregen van het overstromingsrisico.

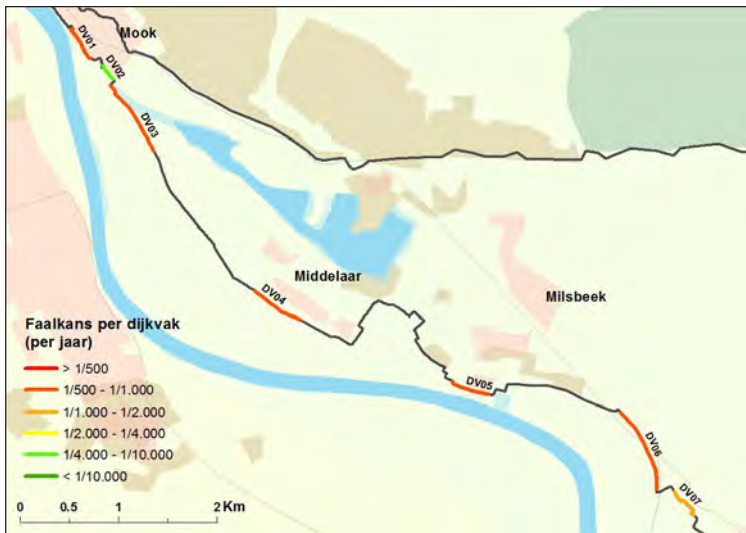
Resultaten

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

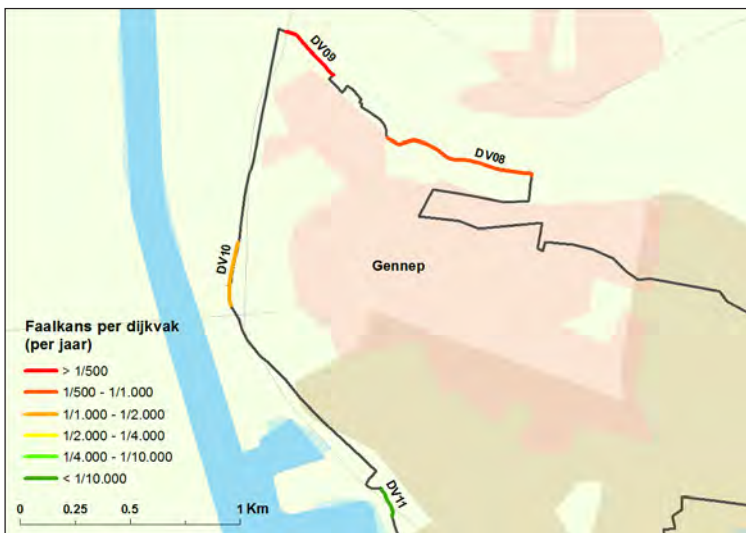
Overstromingskansen

Er zijn voor vijf dijkkringen (Dijkkring 54 (Mook-Middelaar), Dijkkring 55 (Gennep), Dijkkring 69 (Venlo-Blerick), Dijkkring 77 (Herten-Ool-Merum) en dijkkring 90 (Geulle-Maastricht)) met behulp van het programma PC-Ring faalkansen berekend voor de relatief zwakkere vakken en faalmechanismen. In figuren 1 t/m 5 zijn de faalkansen van de beschouwde dijkvakken aangegeven, waarin met de zwarte lijn de grens van het dijkkringgebied is aangegeven. Alleen de vakken waar een analyse is gedaan zijn in onderstaande figuren weergegeven. Dit betekent niet dat de niet beschouwde dijkvakken, geen faalkans hebben. Echter ten opzichte van de beschouwde dijkvakken, kan worden gesteld dat deze, naar verwachting, geen dominante faalkansbijdrage zullen hebben.

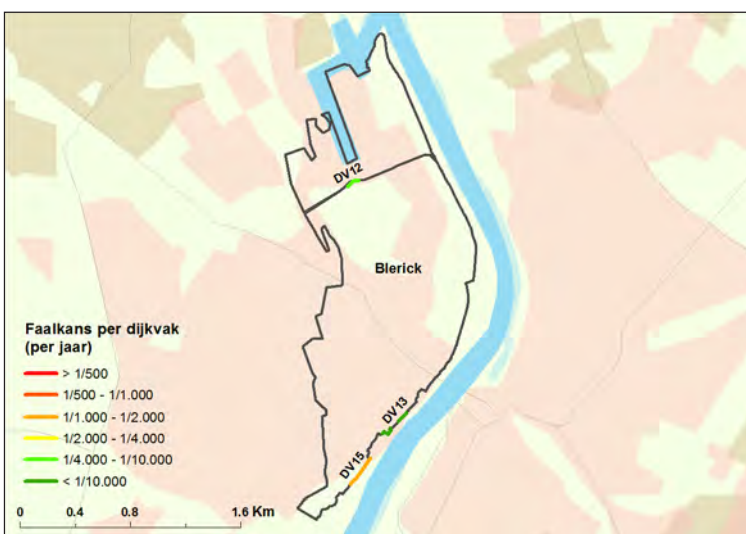
In de analyses is uitgegaan van de situatie na uitvoering van de dijkversterkingen die in het kader van de Maaswerken de komende jaren zijn voorzien, conform de hiervoor overeengekomen ontwerprandvoorwaarden (dus na uitvoering rivierverruimende maatregelen).



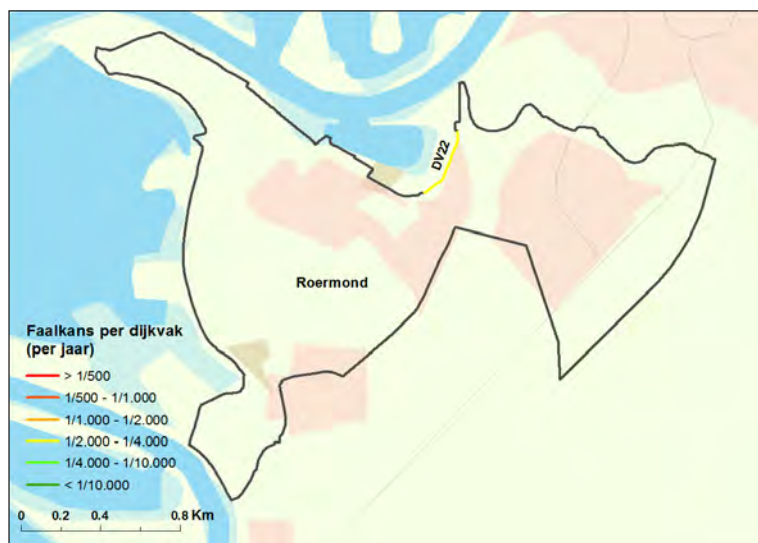
Figuur 1: Resultaat faalkansberekening dijkkring 54 – Ottersum-Mook



Figuur 2: Resultaat faalkansberekening dijkkring 55 – Gennep



Figuur 3: Resultaat faalkansberekening dijkkring 69 – Venlo- Blerick



Figuur 4: Resultaat faalkansberekening dijkkring 77 – Herten-Ool-Merum



Figuur 5: Resultaat faalkansberekening dijkkring 90 – Geulle-Maastricht

De gevolgen van overstromingen en het overstromingsrisico

De grootste economische schade bij de beschouwde overstromingsscenario (herhalingstijd 1/2.500 per jaar) bedraagt voor alle dijkringen in het Maasdal circa 2,3 miljard euro, het grootste aantal slachtoffers bedraagt circa 60 slachtoffers.

Het economisch risico, het product van kans en schade, bedraagt circa 11,3 miljoen euro per jaar. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers bedraagt circa 0,2 slachtoffer per jaar.

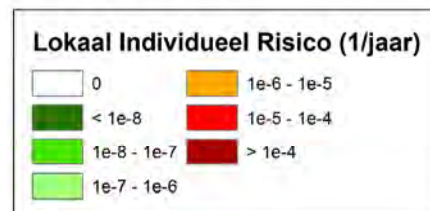
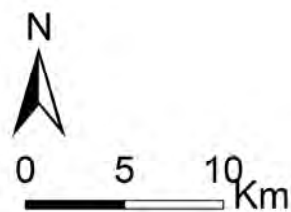
In figuur 6 en figuur 7 is het berekende lokaal individueel risico (LIR) in het Maasdal weergegeven. De nieuwe normering berust op een maximaal toelaatbaar LIR van 1/100.000 per jaar. Wel moet opgemerkt worden dat in de normering gerekend is met een LIR, welke is bepaald op buurniveau, terwijl in deze analyse het LIR op pixelniveau is gepresenteerd. In enkele dijkringen wordt deze grenswaarde overschreden. Dit is het geval in de volgende dijkringen van Waterschap Peel en Maasvallei: dijkkring 54, 57, 59 t/m 62, 65, 66, 70, 73 t/m 75, 78 en 79. In het beheergebied van Waterschap Roer en Overmaas is dit het geval in dijkringen 77 en

91. Aanvullende maatregelen zijn in deze dijkringen benodigd om aan deze eisen te voldoen.

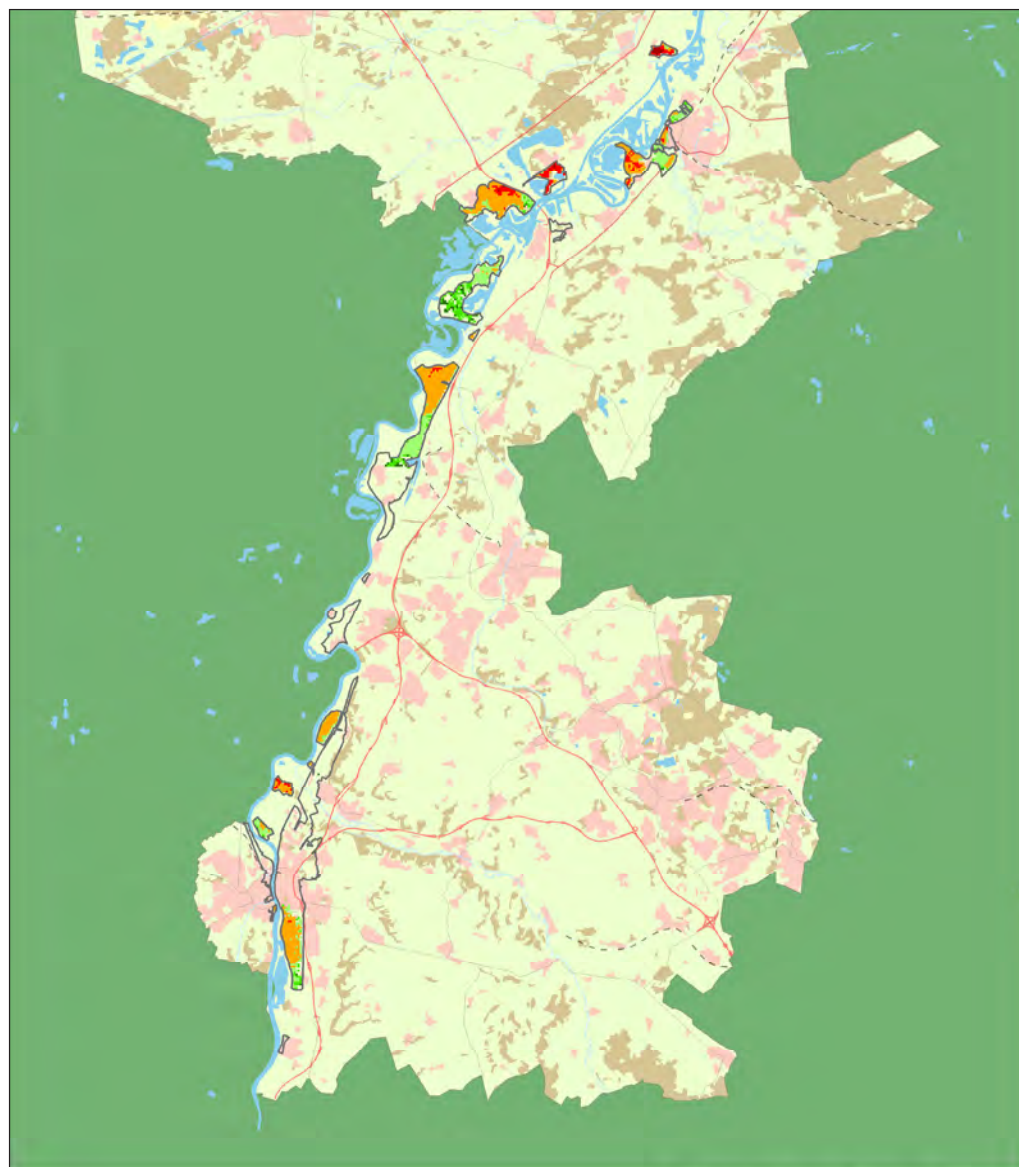
Opgemerkt moet worden dat het LIR is bepaald bij een evacuatiefractie van 76% voor het gehele Maasdal. Er is mogelijk optimalisatie mogelijk van het LIR voor meerdere dijkringen indien van de gehanteerde evacuatiefractie kan worden afgeweken (bijvoorbeeld als gevolg van langere voorspeltijd, ligging t.o.v. hoge gronden en wel/geen verdrinkingsgevaar bij overstroming).



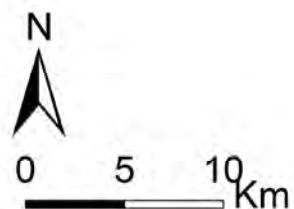
Dijkring 54 - 74



Figuur 6: Lokaal individueel risico (LIR) voor de dijkringen 54 t/m 74



Dijkkring 75 - 95



Lokaal Individueel Risico (1/jaar)	
0	1e-6 - 1e-5
< 1e-8	1e-5 - 1e-4
1e-8 - 1e-7	> 1e-4
1e-7 - 1e-6	

Figuur 7: Lokaal individueel risico (LIR) voor de dijkringen 75 t/m 95

Zowel in figuur 6 als figuur 7 is voor een aantal dijkringen geen LIR aangegeven, dit wordt veroorzaakt doordat voor deze dijkringen geen gevolgen zijn berekend. Dit wordt veroorzaakt doordat de overstromingskans van de dijkkring zeer klein is (door de lokaal fors verlaagde rivierwaterstand als gevolg van rivierverruiming of zeer lage faalkans of beide).

Aanbevelingen

- Indien maatregelen in het Limburgse Maasdal worden geprioriteerd op basis van het economisch risico, verdient dijkkring 54 de hoogste prioriteit. Vanuit het oogpunt van het LIR verdienen dijkringen 54, 57, 59 t/m 62, 65, 66, 70, 73 t/m 75, 77 t/m 79 en 91 prioriteit boven de andere dijkringen. Hier wordt het basisveiligheidsniveau van een LIR van 10^{-5} per jaar namelijk overschreden, uitgaande van een evacuatiefractie van 76%. Deze dijkkringgebieden vallen alle onder het beheer van het Waterschap Peel en Maasvallei. Het LIR van 10^{-5} kan worden bereikt door dijkverbetering, maar ook door aandacht aan evacuatie te besteden. Zo wordt bij het realiseren van een evacuatiefractie van 88% het LIR met een factor 2 gereduceerd.
- Aanbevolen wordt om voorafgaand aan een versterking de veiligheidsopgave beter in beeld te brengen in een verkenningsfase en daarbij te beginnen met gericht grondonderzoek uit te voeren.
- Met betrekking tot gegevensinwinning wordt aanbevolen om:
 - aanvullend grondonderzoek uit te voeren bij die dijkvakken waar macrostabiliteit en/of piping een aandachtspunt is;
 - aanvullend grondonderzoek uit te voeren bij de dijkringen en dijkvakken die in komende toetsronde getoetst worden en/of in de komende jaren verbeterd zullen gaan worden;
 - het grondonderzoek van grof naar fijn te benaderen. Zo kan eerst op basis van bijvoorbeeld sonderingen inzicht in de aanwezig grondlagen opgedaan worden. Dit beeld kan vervolgens middels het uitvoeren van boringen worden aangescherpt. Met de verkregen monsters kan in het laboratorium onderzoek gedaan worden naar de samenstelling van de ondergrond en de fysieke eigenschappen van de aanwezige grondsoorten;
 - aan te sluiten bij de in het kader van het WT12017 in ontwikkeling zijnde werkwijzen voor de uitvoering van terrein- en laboratoriumonderzoek.
- Een belangrijk risico ten aanzien van de demontabele keringen is de diefstal van reeds geplaatste schotten. Aanbevolen wordt om hiervoor maatregelen te treffen.

Technische samenvatting

Dit rapport beschrijft de resultaten van de risicoanalyse die is verricht voor het gehele Maasdal in Limburg in het kader van het project Veiligheid Nederland in Kaart (VНК2). In deze technische samenvatting zijn de resultaten gepresenteerd en is op hoofdlijnen beschreven op welke uitgangspunten en aannamen deze resultaten berusten. De analyse door VНК2 omvat de volgende stappen:

De schematisatie van de dijkkring

De primaire waterkering van de dijkkring bestaat uit een aaneengesloten stelsel van dijken en kunstwerken. In overleg met de Waterschappen Roer en Overmaas en Peel en Maasvallei is een vijftal dijkkringen geselecteerd voor een gedetailleerde faalkansanalyse, dit zijn: Dijkkring 54 (Mook-Middelaar), Dijkkring 55 (Gennep), Dijkkring 69 (Venlo-Blerick), Dijkkring 77 (Herten-Ool-Merum) en dijkkring 90 (Geulle-Maastricht). Voor de overige dijkkringen is uitgegaan van beheerdersoordelen en kruinhoogtes bij het inschatten van de kansen op overstromingen.

Een overzicht van de vijf in detail beschouwde dijkkringen, de vakindeling voor dijkvakken en de kunstwerken is gegeven in tabel 1.

Dijkkringen	Beheergebied Peel en Maasvallei	DR54 (Ottersum,Mook) DR55 (Gennep) DR 68 (Venlo, Blerick)
	Beheergebied Roer en Overmaas	DR77 (Merum,Ool,Herten) DR90 (Geulle,Maastricht)
Dijken	Totale lengte	12,6 km
	Aantal dijkvakken	22
	Gemiddelde lengte dijkvak	570 m
Kunstwerken	Totaal aantal kunstwerken	169
	Aantal beschouwde kunstwerken	87

Tabel 1: Eigenschappen beschouwde dijkkringen

Faalkansanalyse betrouwbaarheid sluiting demontabele keringen

Om faalkansen te bepalen voor het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting* is een maatwerkanalyse uitgevoerd. Er is een oefening bijgewoond en er zijn werkbijeenkomsten gehouden met de beheerders op basis van de Risman-methode. De resultaten zijn in tabel 2 opgenomen.

	Faalkans voor $l < 1.000$ m [1/vraag]	Faalkans voor $l > 1.000$ m [1/vraag]
Bereikbaar tijdens hoogwater	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Niet bereikbaar tijdens hoogwater	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$

Tabel 2: Inschatting faalkansen demontabele keringen per sluitvraag

Uit de uitgevoerde analyses zijn de volgende conclusies te trekken:

- De kans op falen van het deelfaalmechanisme alarmering is verwaarloosbaar klein;
- De grootste risico's zitten in de deelfaalmechanismen mobilisatie en technisch falen;
- Het creëren van hersteltijd verkleint de faalkans van het systeem;
- De kans op herstel kan vergroot worden door op voorhand beheersmaatregelen te bedenken.
- De diefstal van onderdelen van opgebouwde keringen is een significant maar moeilijk te kwantificeren risico.

De met deze analyse bepaalde faalkansen op kunstwerkniveau zijn beduidend kleiner dan de faalkansen zoals die zouden zijn bepaald aan de hand van de scoretabellen uit de Leidraad Kunstwerken uit 2003 door het meenemen van herstelmaatregelen. Opgemerkt wordt dat de faalkansen zijn afgeleid per individueel kunstwerken. Indien alle coupures en demontabele wanden per dijkkringgebied worden beschouwd zullen zal de faalkans voor groter zijn, zoals in de rapportages [5], [6], [7], [8] en [9] is opgenomen.

Resultaten faalkansanalyse voor de vijf dijkringen

Er zijn niet voor alle dijkvakken en kunstwerken faalkansanalyses uitgevoerd en gerapporteerd in [2] en [3]. Vooraf is een screening uitgevoerd waarbij de vermoedelijk zwakste plekken zijn geïdentificeerd. Daarbij is gekeken naar de toetsresultaten en de beheerservaringen.

Type waterkering	Faalmechanisme	Aantal vakken/kunstwerken
Dijken	Overloop en golfoverslag	11
	Opbarsten en piping	11
	Macrostabiliteit binnenwaarts	5
Kunstwerken	Overslag/overloop	79
	Betrouwbaarheid sluiting	82
	Onder- en achterloopsheid	-
	Sterkte en stabiliteit	3

Tabel 3: Beschouwde faalmechanismen en het aantal nader beschouwde vakken / kunstwerken

Dijkring 54: Ottersum-Mook

De grootste faalkans voor de kunstwerken is berekend voor de duiker 'Tielebeek Bossebrugweg' vanwege het faalmechanisme *onder- en achterloopsheid*. Ook een aantal coupures hebben een relatief grote faalkans en dan met name voor het faalmechanisme *overslag en overloop*. Voor de dijken is de grootste faalkans berekend voor de groene dijk (DV03) ten zuiden van keersluis Mook voor het faalmechanisme *opbarsten en piping*.

Dijkring 55: Gennep

De berekende overstromingskans wordt grotendeels bepaald door de faalkans voor het dijkvak langs de Gennepershuisweg (DV09). Voor dit dijkvak is het mechanisme *macrostabiliteit binnenwaarts* dominant. Het vak is in de toetsing ook op dit faalmechanisme afgekeurd. Het resultaat komt ook overeen met het beeld van de beheerder, die bij hoogwatersituaties voor dit vak uitgebreide calamiteitenmaatregelen moet treffen. Ondanks dat voor dit dijkvak een dijkverbetering (o.b.v. toetsresultaat en faalkansinschatting) noodzakelijk wordt geacht wordt wel aanbevolen om aanvullende grondonderzoek te doen naar met name de opbouw en eigenschappen van het dijkmateriaal.

Een ander belangrijk onderdeel van deze dijkkring betreft de rioolafsluiter in de hoofdstraat. Het is bekend dat de keermiddelen van dit kunstwerk in zeer slechte staat verkeren, wat de faalkans voor het kunstwerk bepaalt. Deze keermiddelen zullen (o.b.v. het toetsresultaat en de faalkansinschatting) dan ook vervangen moeten worden

Dijkkring 69: Venlo-Blerick

In dijkkring 69 is met name voor dijkvak DV15 (foliedijk Gieterijweggetje) een relatief grote faalkans berekend vanwege het mechanisme *opbarsten en piping*. Opgemerkt moet worden dat de onderhoudbaarheid en betrouwbaarheid van het tijdelijk aangebrachte folie in zowel de toetsing als de faalkansanalyse niet is beschouwd. Aanbevolen wordt om aanvullend grondonderzoek te doen, waarin nagegaan moet worden of er afdekkende deklagen in het achterland aanwezig zijn. Dit is reeds ingezet.

Dijkkring 77: Herten-Ool-Merum

Deze dijkkring bestaat voor een groot gedeelte uit coupures en demontabele wanden. Er zijn 35 kunstwerken na de screening overgebleven waarvoor een faalkans is bepaald. De gecombineerde faalkans van de coupures en demontabele wanden voor het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiten* is circa 1/1.000 per jaar.

Dijkkring 90: Geulle-Maastricht

Uit de analyse blijkt dat het recent verbeterde dijkvak langs de Habitatsingel een faalkans heeft voor het faalmechanisme *Overloop en Overslag* waarmee waarschijnlijk niet aan de toekomstige norm zal worden voldaan.

Berekening van de gevolgen

Bij de berekening van de gevolgen is gebruik gemaakt van het WAQUA-model (zgn. BenO14_5-model), dat ook gebruikt wordt binnen het WTI2017 om de hydraulische belastingen te bepalen.

In dit WAQUA-model is een groot gedeelte van het Maasdal en daarin aanwezige dijkkringen geschematiseerd. Per dijkkring zijn één of meerdere breslocaties gemodelleerd. Deze doorbraaklocaties zijn zodanig gemodelleerd dat deze doorbreken indien de buitenwaterstand een vooraf bepaalde waterstand overschrijdt.

Voor het gehele Maasdal zijn overstromingsberekeningen uitgevoerd voor verschillende afvoergolven van de Maas, te weten: 1/25, 1/100, 1/250, 1/1.250 en 1/2.500 per jaar.

In de overstromingsberekeningen is uitgegaan van de standzekerheid van de regionale keringen. De gevolgen zijn berekend met HIS-SSM. Daarbij is ten aanzien van de bevolkings- en bebouwingsgegevens uitgegaan van de situatie in het jaar 2000, respectievelijk het jaar 2006.

Overstromingsrisico

Het overstromingsrisico voor het Maasdal is berekend door per breslocatie te bepalen bij welke afvoeren vermoedelijk sprake is van bresvorming. Bij de selectie van deze afvoeren is voor de vijf dijkkringen gebruik gemaakt van de resultaten van de faalkansberekeningen. Voor de overige dijkkringen is gebruik gemaakt van beheerdersoordelen.

In *1 in deze slachtofferaantallen is de verwachtingswaarde van evacuatie meegenomen

tabel 4 is een getalsmatige samenvatting van het overstromingsrisico opgenomen. Het economische risico is in het binnendijkse gebied circa 11 miljoen euro per jaar. In het buitendijkse gebied is het economisch risico circa 82 miljoen euro per jaar. Dit betekent dat het economisch risico in het buitendijkse gebied ongeveer 7 keer groter is dan in het binnendijkse gebied. Dit verschil wordt met name veroorzaakt doordat de berekende overstromingsschade bij de afvoeren die 1/250 per jaar of vaker voorkomen in het buitendijks gebied circa 5 tot 20 keer groter is dan in het binnendijkse gebied.

Bij een Maasafvoer met een kans van voorkomen van 1/1.250 of 1/2.500 per jaar is de binnendijkse schade qua orde grootte gelijk aan de buitendijkse schade. De schades in het 'buitendijks gebied' en daarmee in het stroomgebied van de Maas, zijn

berekend met het HIS-SSM model (v2.5). Echter de schade-functies in dit model leiden tot een overschatting van de gevolgen. Echter vanwege de consistentie met de overige VNK2-analyses zijn deze schademodelen ook hier toegepast. Aanbevolen wordt om de gevolgen (met name voor het buitendijkse gebied) nader te analyseren met een ander schade- en slachtoffermodel.

Het slachtofferisico is alleen inzichtelijk gemaakt voor het binnendijkse gebied. In het buitendijkse gebied stijgt het water langzaam, waardoor er veel tijd is om preventief te evacueren. Het is zeer waarschijnlijk dat meer dan 95% van de (buitendijkse) inwoners via preventieve of verticale evacuatie een veilige plek kan bereiken.

Het slachtofferisico in het binnendijkse gebied van het Limburgse Maasdal is ongeveer 0,2 slachtoffer per jaar. Deze verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is bepaald onder de aanname dat het water met gemiddeld ongeveer 1,0 m/uur stijgt.

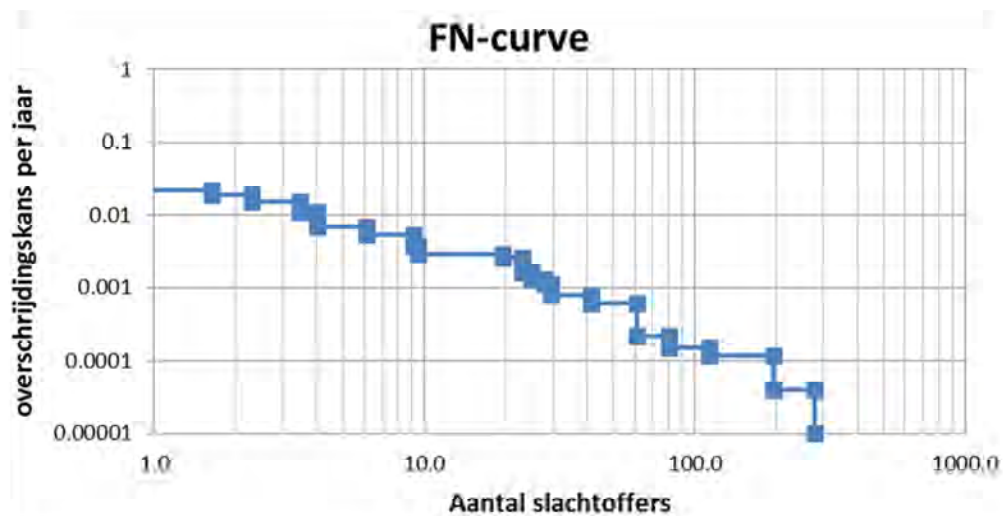
Indien evacuatie plaatsvindt (er is uitgegaan van een mogelijk conservatieve evacuatiefractie van 0,76), dan vallen er bij een afvoer met een overschrijdingskans van 1/25 per jaar naar verwachting minder dan 5 slachtoffers, bij een afvoer van 1/250 per jaar zijn dit circa 15 slachtoffers en bij een afvoer van 1/2.500 per jaar zijn dit circa 65 slachtoffers.

		Binnendijks	Buitendijks
Economisch risico	Verwachtingswaarde economische schade [M€ per jaar]	12	67
	Economische schade bij een overstroming 1/25 per jaar [M€]	75	1.570
	Economische schade bij een overstroming 1/250 per jaar [M€]	1.115	2.235
	Economische schade bij een overstroming 1/2.500 per jaar [M€]	2.980	2.975
Slachtoffer- risico	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers [per jaar]	0,2	* (niet bepaald)
	Aantal slachtoffers bij een overstroming 1/25 per jaar [per jaar] ^{*1}	< 5	
	Aantal slachtoffers bij een overstroming 1/250 per jaar [per jaar] ^{*1}	15	
	Aantal slachtoffers bij een overstroming 1/2.500 per jaar [per jaar] ^{*1}	65	

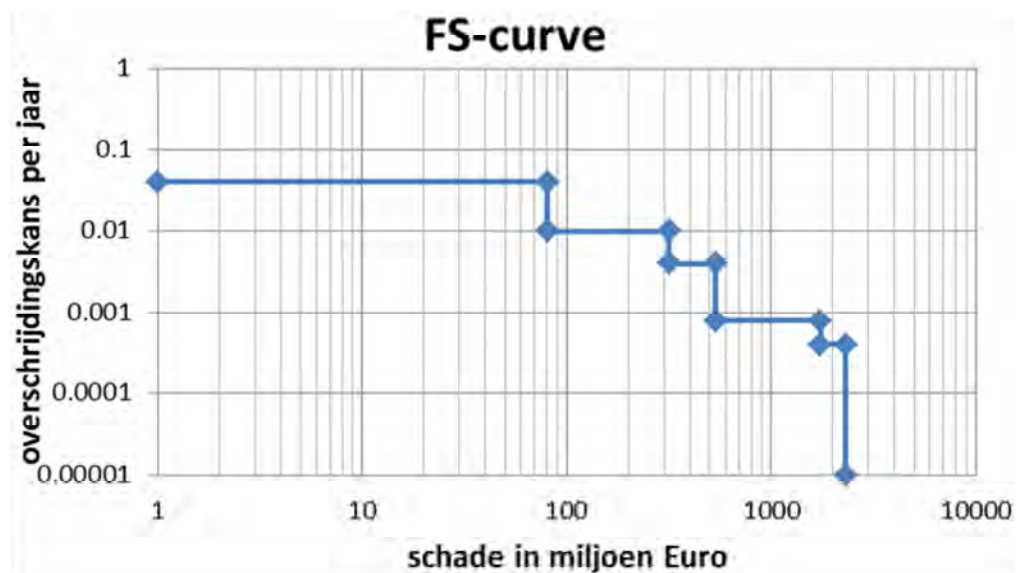
^{*1} In deze slachtofferaantallen is de verwachtingswaarde van evacuatie meegenomen

Tabel 4: Samenvatting van het overstromingsrisico voor het gehele Maasdal

De FN- en FS-curves voor het gehele binnendijkse gebied van het Limburgse Maasdal zijn opgenomen in figuur 8 en figuur 9. Deze curven beschrijven de kans op overschrijden van bepaalde slachtofferaantallen en schades.



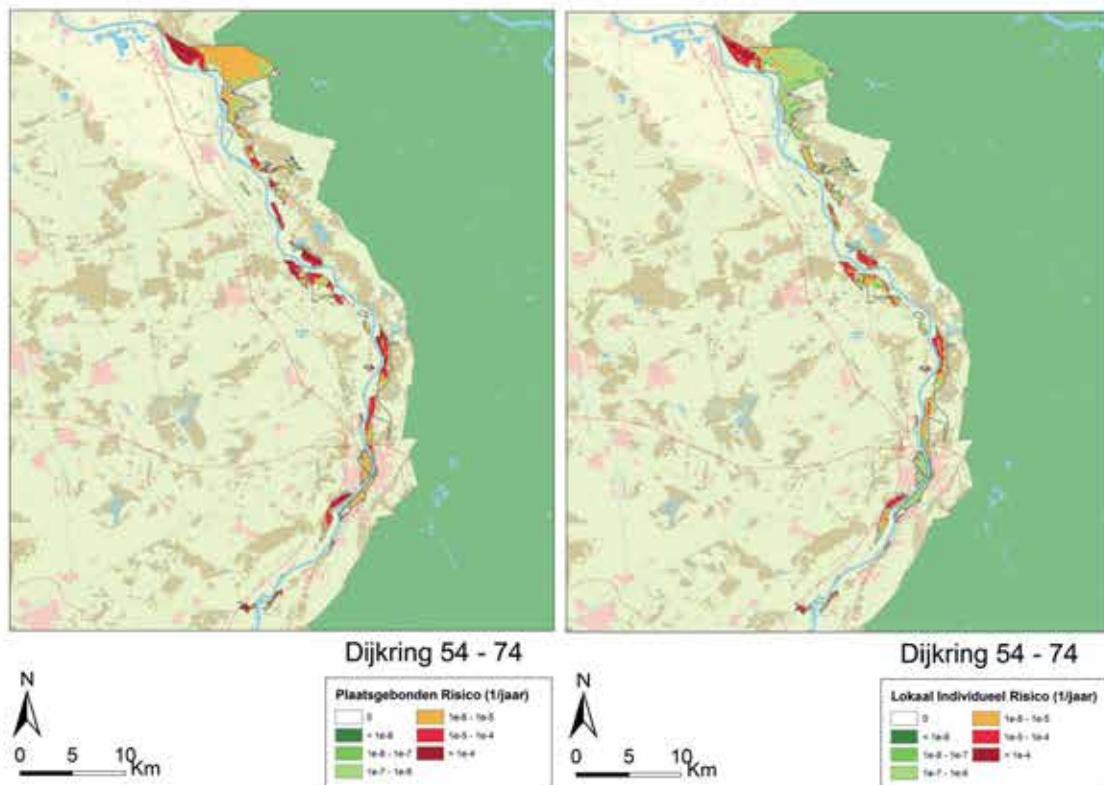
Figuur 8: FN-Curve voor het gehele Maasdal (binnendijks)



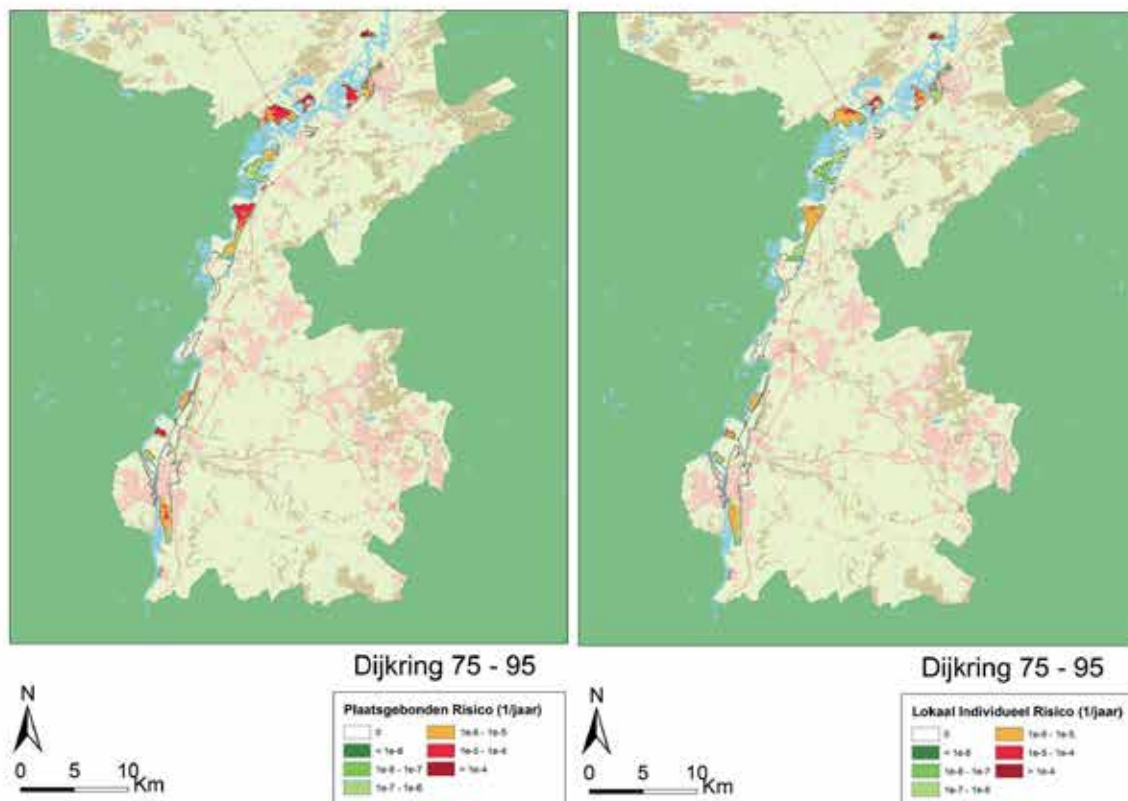
Figuur 9: FS-curve voor het gehele Maasdal (binnendijks)

Bij de berekening van het groepsrisico is het effect van evacuatie meegenomen. De FN-curve toont dat de berekende kans op meer dan 10 slachtoffers gelijk is aan circa 1/250 per jaar. De FS-curve toont dat de berekende overschrijdingskans van een schade groter dan 100 miljoen Euro circa 1/100 per jaar bedraagt. Voor een schade van meer dan 1.000 miljoen Euro is dit grofweg 1/1.250 per jaar.

De beelden van het lokaal individueel risico (LIR) en het plaatsgebonden risico (PR = LIR excl. effect evacuatie) zijn opgenomen in figuur 10 en figuur 11.



Figuur 10: Plaatsgebonden risico (links) en Lokaal Individueel Risico (rechts) voor dijkkring 54-74



Figuur 11: Plaatsgebonden risico (links) en Lokaal Individueel Risico (rechts) voor dijkkring 75-95

De kans op overlijden van een individu per locatie, inclusief het effect van preventieve evacuatie (LIR) is groter dan 10^{-5} per jaar in de volgende dijkkringgebieden van Waterschap Peel en Maasvallei: Dijkkring 54, 57, 59 t/m 62, 65, 66, 70, 73 t/m 75, 78 en 79. In het beheergebied van Waterschap Roer en Overmaas geldt dit voor de dijkringen 77 en 91. Hieruit kan geconcludeerd worden dat maatregelen benodigd zijn om aan het basisveiligheidsniveau te voldoen. Deze maatregelen kunnen variëren tussen het (optimaliseren) van een evacuatieplan of het daadwerkelijk verbeteren van waterkeringen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding project Veiligheid van Nederland in Kaart

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

Door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), tegenwoordig Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) genaamd, is in 1992 een ontwikkelingstraject ingezet om het kwantificeren van overstromingskansen en overstromingsrisico's mogelijk te maken, de zogenaamde Marsroute. Op basis van diverse studies, zoals de Casestudies 1998, ONIN en SPRINT zijn de rekentechnieken verder ontwikkeld. Na de PICASO-studie is Veiligheid Nederland in Kaart (VНК1) uitgevoerd en zijn wederom verbeteringen in het instrumentarium doorgevoerd. In 2006 is vervolgens het project VНК2 van start gegaan. VНК2 brengt het overstromingsrisico in Nederland in beeld. De inzichten die daarbij worden opgedaan, zijn van grote waarde voor de bescherming van Nederland tegen overstromingen.

1.2 Projectopdracht risicoanalyse Maasdal Limburg

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

In het project VНК2 zijn de kansen op en de gevolgen van overstromingen berekend en heeft beide gecombineerd tot het overstromingsrisico.

Het project VНК2 heeft een analyse uitgevoerd voor 58 dijkringgebieden inclusief 3 dijkringen in het Limburgse Maasdal. De volgende dijkringen in het Limburgse Maasdal zijn beschouwd: Dijkring 65: Arcen, Dijkring 68: Venlo-Velden en Dijkring 86/87: Meers/Maasband ([10], [11] en [12]).

Binnen het project VНК2 zijn alleen de categorie a-keringen kwantitatief geanalyseerd. De bijdrage aan de overstromingskans en overstromingsrisico's van overige keringen (categorie b-, c- en d-keringen) is alleen kwalitatief aangegeven.

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

Nadat de laatste reguliere dijkringanalyse is opgeleverd is de wens ontstaan om het risicobeeld landsdekkend te krijgen, door ook de Limburgse dijkringen (buiten deze die al geanalyseerd zijn in VНК2) ook te bekijken. In overleg met de beide beheerders

(WRO en WPM) is vervolgens een plan van aanpak opgesteld. In dit plan van aanpak zijn de volgende doelen gesteld voor de risicoanalyse:

1. Het verkrijgen van een beeld van het huidige en toekomstige overstromingsrisico in Limburg, als onderdeel van een consistent en betrouwbaar landsdekkend risicobeeld;
2. Het completeren van de landsdekkende basisinformatie (o.a. ten behoeve van de urgentiebepaling van HWBP);
3. Het ondersteunen van de betreffende waterkeringsbeheerders bij de voorbereiding op de 4^{de} toetsing (met aandacht voor gegevensverzameling en demontabele keringen);
4. Het bieden van basisinformatie voor de prioritering van versterkingsmaatregelen binnen de opgave van de nieuwe normering.

In overleg met de beheerders is er voor gekozen om voor 5 dijkringen een faalkansanalyse uit te voeren. Voor waterschap Peel en Maasvallei zijn dat dijkringen 54, 55 en 69 en voor waterschap Roer en Overmaas zijn dat de dijkringen 77 en 90. Deze dijkringen zijn in de derde en verlengde derde toetsronde gedetailleerd getoetst.

Voor deze dijkringen kan worden aangesloten op de huidige prioriteringssysteematiek van het HWBP, die berust op de omvang van het risico in de uitgangssituatie. Voor de overige dijkringen zijn in meer of mindere mate gegevens beschikbaar en toetsingen uitgevoerd. Ervaringen van deze toetsingen zijn gebruikt bij bepaling van de breslocaties en de waterstanden waarbij een bres kan optreden.

Overigens volgt uit het risicobeeld van de analyse voor het Maasdal ook inzicht in de overstromingsrisico's al zijn deze wat minder nauwkeurig bepaald.

1.3 Overschrijdingskansen en overstromingskansen

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

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

- Een overschrijdingskans uit de Waterwet is een normwaarde. Door de aanwezigheid van reststerkte hoeft een dijk bij een overschrijding van een waterstand die gelijk is aan het toetspeil nog niet direct te bezwijken. Het is echter ook mogelijk dat een dijk bij een waterstand beneden het toetspeil bezwijkt door bijvoorbeeld het faalmechanisme opbarsten en piping. De conditie van een waterkering kan afwijken van de norm, zowel in positieve als negatieve zin.
Een overstromingskans is de kans dat zich in een dijkkringgebied daadwerkelijk een overstroming voordoet. Een overstromingskans geeft dus een beeld van de conditie van de hele dijkkring.
- Een overschrijdingskans heeft alleen betrekking op de hydraulische belastingen (waterstanden).
Om een overstromingskans te kunnen berekenen moeten ook de sterkte-eigenschappen van waterkeringen expliciet worden meegenomen.
- Bij de toetsing in het kader van de Waterwet wordt per dijkvak berekend of een waterkering het toetspeil, behorend bij de overschrijdingskansen, veilig kan keren.

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

1.3.1 Beschouwde dijkringen binnen Maasdal

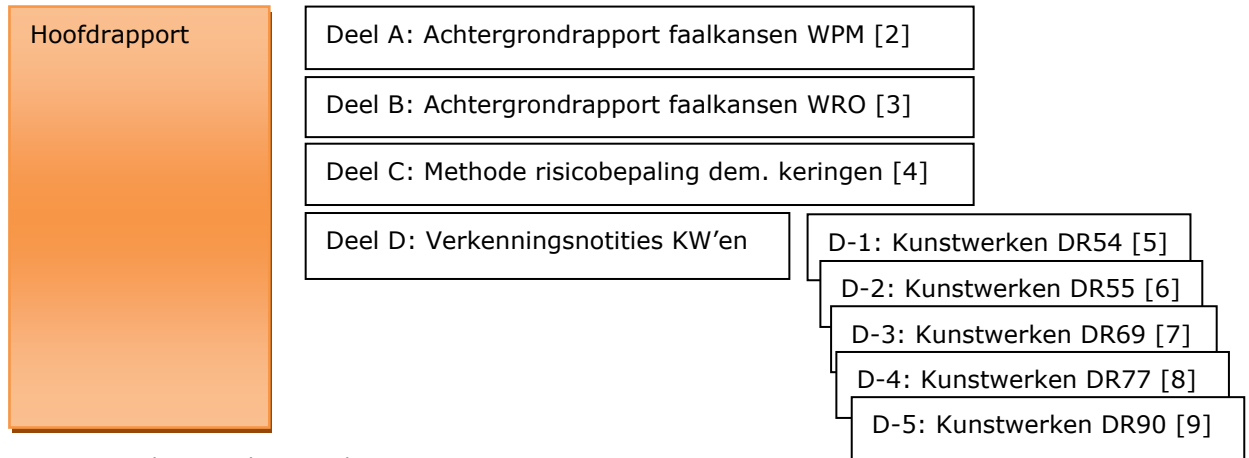
Voor de risicoanalyse van het Maasdal zijn niet voor alle dijkringen gedetailleerde faalkansen berekend. Dat is alleen gedaan voor een vijftal dijkkringgebieden:

- Dijkkring 54: Mook-Middelaar;
- Dijkkring 55: Genneep;
- Dijkkring 69: Venlo-Blerick;
- Dijkkring 77: Herten- Ool-Merum;
- Dijkkring 90: Geulle-Maastricht.

Voor de overige dijkringen zijn overstromingskansen ingeschat en vermoedelijke breslocaties aangewezen op basis van beheerderservaringen en toetsresultaten. De vijf dijkringen zijn in samenspraak met de beheerder gekozen. Daarbij zijn vooral de relatief grote gevolgen bij een overstroming in deze dijkkringgebieden leidend geweest.

1.4 Leeswijzer

De analyse van de risicoanalyse is beschreven in dit hoofdrapport. Dit rapport is geschreven op basis van een aantal onderliggende achtergrondrapporten, te weten: het achtergrondrapport dijken WPM en WRO [2] en [3], methode bepaling faalkansen betrouwbaarheid sluiten demontabele keringen [4] en een aantal kunstwerknotities [5], [6], [7], [8] en [9]. In figuur 12 is dit overzichtelijk weergegeven.



Figuur 12: Schematisch overzicht rapporten

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

In hoofdstuk 3 is de uitgewerkte methode voor de risicobenadering voor het mechanisme betrouwbaarheid sluiten voor de demontabele keringen samengevat. De complete werkwijze is opgenomen in [4].

Hoofdstuk 4 geeft een samenvatting van de berekende faalkansen per vak/kunstwerk en per faalmechanisme voor de vijf dijkringen. De complete faalkansberekeningen, zijn opgenomen in separate achtergrondrapporten [2] en [3]. De vakken met de grootste

faalkansen worden uitgelicht. Ook zijn enkele conclusies en aanbevelingen gepresenteerd.

Hoofdstuk 5 en 6 beschrijven de resultaten van de risicoanalyse. Hierin is naast de gehanteerde werkwijze ook het resultaat van de analyse opgenomen.

Hoofdstuk 7 geeft de conclusies weer van de verschillende analyse weer voor het gehele Maasdal. Ten slotte worden aanbevelingen gedaan voor de prioritering en het mogelijk waarborgen en verder verkleinen van de overstromingsrisico's.

2 Gebiedsbeschrijving en schematisatie

In dit hoofdstuk zijn de ligging en de kenmerken van het Maasdal en de hierin gelegen dijkkringgebieden besproken. Daarnaast is de onderverdeling van de waterkering in vakken ten behoeve van de faalkansberekeningen toegelicht.

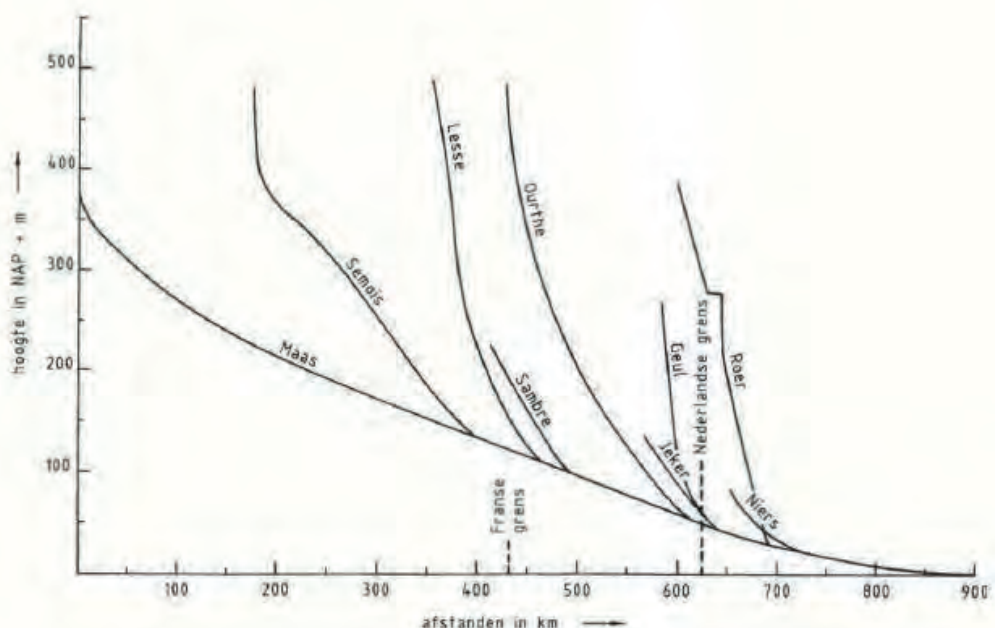
2.1 Beschrijving Maasdal

2.1.1 Gebiedsbeschrijving

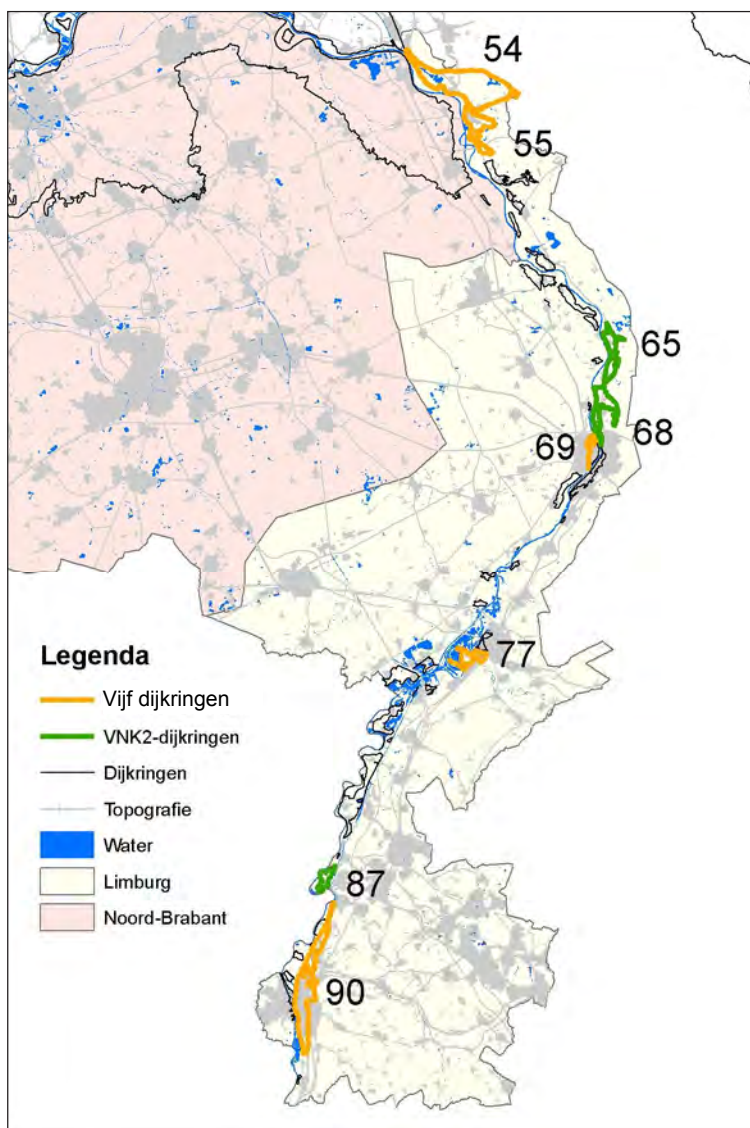
De Maas heeft inclusief het Haringvliet in Nederland een lengte van ongeveer 900 km. Zij ontspringt ten noorden van de stad Dijon in Frankrijk op de hoogvlakte van Langres. In Frankrijk stroomt de Maas door een langgerekt en vrij smal gebied met weinig hoogteverschil en een breed winterbed. De waterafvoer in dit gebied heeft een vrij rustig verloop. In België is de Maas vrij smal, heeft daar nauwelijks een winterbed en heeft een groot verhang. Bovendien monden in de middenloop de grootste zijrivieren in de Maas uit. De afvoer van deze rivieren, die een nog groter verhang hebben, komt bij grote hoeveelheden neerslag vrij snel in de Maas terecht en draagt dus in aanzienlijke mate bij tot de vorming van een hoogwatergolf.

Net ten zuiden van Eijsden stroomt de Maas, Limburg binnen om 166 km later bij Molenhoek de provincie uit te stromen. Tussen Eijsden en Maasbracht heeft de Maas nog een verval van circa 30 m. Met uitzondering van het gebied bovenstrooms van Borgharen is de Maas daar ongestuwd en staat deze bekend als de Grensmaas. Tussen Maasbracht en Molenhoek is er een verval van circa 11 m. Rond Maasbracht en Roermond zijn vele grindgaten en zandafgravingen aanwezig. Deze zorgen ervoor dat bij hoogwater het water minder snel stijgt en de hoogwaterpieken enigszins worden gedempt maar de hoogwaterperiode wel langer duurt. Het gebied rond Maasbracht en Roermond is ook wel bekend als Plassenmaas. Benedenstrooms hiervan spreekt men van de Zandmaas.

Het verschil in karakter van het Franse, het Belgische en het Nederlandse deel van het stroomgebied blijkt ook uit het lengteprofiel van de Maas en een aantal van haar zijrivieren, zie figuur 13 [21].



Figuur 13: Schematisch lengteprofiel van de Maas



Figuur 14: Ligging dijkkringen in Limburg

2.1.2 Beheerders

De primaire waterkering van het dijkkringgebied is in beheer van het Waterschap Roer en Overmaas en Peel en Maasvallei.

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

2.1.3 *De primaire waterkeringen*

In het Limburgse Maasdal zijn 41 dijkringen gelegen variërend in grote van 1,5 tot 2.500 ha. De dijkringen bestaan veelal uit een combinatie van een primaire kering van de categorie a gecombineerd met een hoge grond. In een aantal gevallen is sprake van een waterkerende hoge grond (achter de hoge grond ligt een deel van het lager gelegen dijkkringgebied. In totaal gaat het om circa 173 – 176 km aan primaire waterkeringen

2.2 **Ontstaansgeschiedenis**

2.2.1 *Geologie*

In het Limburgse Maasdal heeft terrasvorming een grote rol gespeeld. Bij het ontstaan van de rivierterrassen speelden drie gebeurtenissen een rol:

- tijdens een ijstijd stroomde de Maas door een wirwar van beddingen en zette hij over een brede vlakte zand en grind af. Zo ontstond een zogenaamde riviervlakte;
- tijdens de warme periode die erop volgde kreeg de Maas een vaste loop en sneed hij zich diep in de riviervlakte in;
- ondertussen kwam het hele gebied omhoog door bewegingen in de aardkorst. De gevormde riviervlakte kwam hierdoor hoger in het landschap te liggen dan de insnijdende Maas en tekende zich als een duidelijke 'traprede' in het landschap af.

De bewegingen langs breuken waardoor horsten en slenken zijn ontstaan hebben ook hun invloed op waar de rivier erodeerd en waar de rivier sedimenteerd.

Als gevolg hiervan kan zowel in breedte richting als in lengterichting grote verschillen in de ondergrond voorkomen.

2.2.2 *Overstroombare keringen*

Voorheen was een belangrijk uitgangspunt bij het besluit voor dijkversterking van de waterkeringen langs de Maas in Limburg, dat de hoogte van de keringen er niet voor mochten zorgen dat de dijkringen die benedenstrooms zijn gelegen zwaarder werden belast.

Om hiervoor zorg te dragen zijn er in het (herzien) Provinciale Omgevingsplan Limburg (POL) Zandmaas maximale hoogten afgeleid (Projectorganisatie De Maaswerken, 2004 en Projectorganisatie De Maaswerken, 2004). Hierbij zijn zowel maatgevende waterstanden afgeleid voor 2006 (niet te verwarren met de Hydraulische Randvoorwaarden voor 2006) als voor 2015, omdat de veiligheid van dijkringen zowel tijdens de uitvoering van de Maaswerken als na realisatie gewaarborgd moet zijn. Over het algemeen kan gesteld worden dat de waterstanden in 2006 hoger zijn dan in 2015 vanwege de geplande werkzaamheden in het zomerbed en andere waterstandverlagende maatregelen.

Echter, voor 2005 is gerekend met een kleinere waakhogte (10 cm) dan in 2015. De gehanteerde waakhogten zijn overigens lager dan gebruikelijk is in het rivierengebied. Impliciet betekent dit dat de waterkeringen pas in 2015 aan de norm zullen voldoen. De maximale waterstand uit de situaties 2006 en 2015 is in het project De Maaswerken gebruikt om de hoogte te beoordelen en waar nodig te verhogen en/of te versterken.

2.3 Recente geschiedenis: bedreigingen en versterkingen

2.3.1 *Hoogwaters in Limburg*

In januari 1926 veroorzaken hoge waterstanden van de Maas en haar zijrivieren overstromingen in het rivierengebied in Midden-Nederland. Door de grootte van de schade is dit een van de drie meest catastrofale overstromingen van de 20e eeuw in de Maasvallei (samen met december 1993 en januari 1995). In de provincies Limburg, Noord-Brabant en Gelderland wordt veel land overstroomd.

De uiterst overvloedige regen sinds 19 december 1925 in combinatie met het smeltwater van alle sneeuw die er was gevallen sedert eind november 1925 zorgden voor uitzonderlijk hoge waterstanden van de Maas, Rijn en Waal met haar zijrivieren. Bij de overstroming van de Maas in 1993 overstroomden grote delen van Nederlands-Limburg. In het stroomgebied van de Maas kwamen hoge waterstanden van de Maas na een periode van aanhoudende regen. Op 20 december trad de Maas voor het eerst buiten haar oever en op 22 december gebeurde dit op meerdere plaatsen in de provincie Limburg. De omgeving van Roermond en Venlo, en specifiek de dorpen Gennep, Itteren en Borgharen, werden zwaar getroffen. Ongeveer 8% (18.000 ha) van de oppervlakte van de provincie Limburg stond onder water. Ook enkele Brabantse gemeenten aan de Maas kampten met overstromingen. Ongeveer 12.000 mensen werden geëvacueerd. De totale schade bedroeg 254 miljoen gulden. Nooit eerder was zo'n hoge afvoer gemeten: 3.120 m³/sec. In Borgharen bereikt de Maas een recordhoogte van 45,90 meter boven NAP.

In januari 1995 worden de gebieden langs de Maas opnieuw getroffen door grootschalige overstromingen. Op 26 januari stijgt de Maas bij Borgharen tot NAP +45,09 m. De 3.100 bewoners van beide dorpen krijgen het dringende advies te vertrekken. Op 27 januari krijgen ook dorpen in Midden- en Noord-Limburg te maken met overstromingen. Na zware regenval in Nederland, België en Noord-Frankrijk stijgt de Maas bij Borgharen (NAP +45,62 m) en Venlo (+18,23 m). Dringend evacuatieadvies voor 75.000 bewoners van het stroomgebied van de Maas en de Waal.

2.4 Recente geschiedenis: versterkingen

Commissie Boertien II

Naar aanleiding van de overstroming van de Maas eind 1993, besloot de rijksoverheid tot instelling van de Commissie Watersnood Maas (ook wel Commissie Boertien II genoemd). Deze commissie kreeg als taak te bezien welke maatregelen konden worden getroffen om de wateroverlast langs de Maas in de toekomst te beperken. De Commissie bracht in december 1994 aan de minister van Verkeer en Waterstaat advies uit om de Maas eerst te verdiepen en te verbreden. Tevens adviseerde de Commissie tot de aanleg van kaden voor de bevolkingsconcentraties die ondanks genoemde rivierverruimende maatregelen toch nog risico zouden lopen. Het ging in dit plan om 63 km nieuwe kaden. Met deze maatregelen zou de kans op overstromingen afnemen tot 1/250 jaar.

Deltaplan/Deltawet grote rivieren (DGR)

Begin 1995 werd Limburg opnieuw getroffen door ernstige overstromingen. Het kabinet besloot daarop de volgorde van de werkzaamheden die de Commissie Boertien II had voorgesteld om te draaien: eerst diende op korte termijn de kaden te worden aangelegd, daarna zou een aanvang worden gemaakt met verruiming van de Maas. De aanleg van kaden was immers een activiteit die relatief snel uitgevoerd kon worden en zou het merendeel van de getroffen en voldoende bescherming voor de interim-periode bieden. Besloten werd tot de aanleg van de kaden gebaseerd op de actuele situatie van 1995/1996 met een beschermingsniveau van 1/50 jaar. Na de aanleg van deze kaden, op het moment van ingaan van de interim-periode tussen kadeaanleg en

voltooiing van de rivierverruiming, zou de kans op overstromingen geleidelijk af moeten nemen tot eens in de 1/250 jaar.

Op grond van de toenmalige inzichten zou de Maas dermate ingrijpend verruimd gaan worden dat na de interim-periode een deel van de kaden zelfs overbodig zou worden. Om deze reden is voor een aantal destijds zogenaamde "Boertien aandachtsgebieden" afgezien van kade-aanleg omdat de voorgenomen rivierverruiming op termijn de kades volledig overbodig zouden zijn.

Doordat de volgorde van het uitvoeren van de maatregelen werd omgedraaid – eerst kaden bouwen en daarna pas de rivier uitdiepen en verbreden – én het gewenste beschermingsniveau van 1/50 per jaar voor de interim-periode, moesten zowel langere, als ook hogere kaden worden aangelegd. Naast de 63 km nieuwe kaden welke al in het advies van de Commissie Boertien II waren voorzien, waren zo'n 43 km extra nieuwe kaden nodig en dienden ook 38 km bestaande kaden versterkt of verhoogd te worden. Daarnaast is op diverse plaatsen gebruik gemaakt van hoog gelegen weglichamen om de dijkringen sluitend te maken zonder dat deze als waterkering zijn beoordeeld en waar nodig verbeterd. De realisatie omvatte in totaal zo'n 143 km kaden (de zogenaamde DGR-kaden), uitgevoerd door de waterschappen Peel en Maasvallei en Roer en Overmaas in periode 1995-1996.

De kaden zijn ontworpen met de kennis van waterkeringen opgedaan in het rivierengebied, waarbij de kwaliteitsnormen zoals die daar worden gehanteerd op diverse onderdelen beperkt zijn toegepast voor het Maasdal.

Dit werd mede ingegeven doordat er met de beoogde rivierverruiming een aanzienlijke waterstandsdeling bij maatgevend hoogwater werd verwacht.

Bovenstaande heeft destijds geresulteerd in de aanleg van kaden in plaats van waterkeringen.

Gebieden waar kaden direct op de juiste hoogte zijn gelegd.

Op basis van het Deltaplan Grote Rivieren waren tussen het Zandmaas- en Grensmaasgebied geen rivierverruimende maatregelen noodzakelijk om een beschermingsniveau van 1/250 per jaar te realiseren. In dit gebied zijn in het kader van de Deltawet Grote Rivieren kaden aangelegd, die moeten voorzien in het gewenste beschermingsniveau van 1/250 per jaar. Dit is op sobere wijze conform bovenstaande kwaliteitsnormen uitgevoerd. Ook voor het gebied bovenstrooms van het Grensmaasgebied werden in het Deltaplan Grote Rivieren geen rivierverruimende maatregelen voorzien.

Scope RWS Maaswerken

De opdracht tot het uitvoeren van de in het Deltaplan Grote Rivieren geplande verruiming van de Maas is opgedragen aan Rijkswaterstaat Maaswerken. Dit is terug te vinden in de doelstellingen van de projecten Grensmaas en Zandmaas, zijnde het door rivierverruiming verlagen van de hoogwaterstanden in de Maas met als maatstaf dat de gebieden die door de op basis van de Deltawet Grote Rivieren aangelegde kaden zijn beschermd, een kans op overstroming hebben van 1/250 jaar.

De eis die hierbij is gesteld dat geen benedenstroomse effecten worden veroorzaakt.

Wijzigingen in de hydraulische randvoorwaarden

In 1999 werd de TN/MER Zandmaas/Maasroute gepubliceerd. Op verzoek van de Commissie m.e.r. in haar advies over de Trajectnota/MER zijn de gevolgen van hoge rivierafvoeren voor de waterstanden langs de Maas opnieuw bepaald. Dit op basis van een nieuw rekenmodel (WAQUA) in plaats van het voor de Commissie Boertien II en voor de Trajectnota/MER gebruikte rekenmodel (ZWENDL).

Voor de nieuwe berekeningen is ook de maatgevende afvoergolf voor de Maas - één van de basisgegevens voor de hoogwaterberekeningen - bijgesteld naar aanleiding van de hoogwaters van 1993 en 1995.

Vooruitlopend op de 5-jaarlijkse wettelijke vaststelling in 2001 van de 1/1250 per jaar afvoergolf is in de WAQUA-berekeningen een nieuwe maatgevende 1/250 per jaar afvoergolf afgeleid en gebruikt.

De resultaten van deze berekeningen zijn eind 1999 gereed gekomen. De resultaten van de nieuwe waterstandsberekeningen hadden tot gevolg dat geen van de alternatieven uit de Trajectnota/MER nog voldeed aan de beschermingsdoelstelling van 1/250 per jaar.

Ook bleek uit nieuwe gegevens over de bodemsamenstelling en nadere morfologische beschouwingen dat op een aantal trajecten waar zomerbedverdieping gepland was, de ondergrond van het zomerbed van de Maas uit (zeer) erosiegevoelige grondlagen bestaat (o.a. zogenaamde Miocene zanden). De Staatssecretaris heeft vervolgens geoordeeld dat het verstandiger is op deze trajecten het zomerbed niet te verdiepen.

Kaden Roermond, Venlo, Gennep (RVG) en Sluitstukkaden

De hogere waterstanden, volgend uit de nieuwe berekeningen, het afzien van verruiming op bepaalde riviertrajecten, vanwege de negatieve effecten van verdergaande zomerbedverruiming, maakten het nodig naar andere maatregelen te zoeken. Hierbij ging in beginsel de voorkeur uit naar maatregelen in het winterbed, zoals hoogwatergeulen. Maar deze hoogwatergeulen realiseren een in verhouding beperkte verlaging van de waterstanden, ze zijn lang niet overal mogelijk door belemmeringen langs de oevers en relatief kostbaar. Kadeverhoging bleek daarom voor het Zandmaasgebied een onmisbare schakel in de hoogwaterbescherming.

Vanwege de bestuurlijke toezegging dat 70% van de Limburgse bevolking beschermd moet zijn vóór 1 januari 2006, is gekozen voor het versneld aanleggen van kaden bij de bevolkingscentra Roermond, Venlo en Gennep-Middelaar (de zogenaamde RVG-kaden). Vervolgens moeten daarna de rivierverruimende maatregelen worden uitgevoerd en tot slot de sluitstukkaden (2012-2014).

De RVG kaden zijn aangelegd op basis van het POL Aanvulling Zandmaas - Kadeplan (2002) en het POL Aanvulling Zandmaas Partiële herziening (2004).

Ook voor de Grensmaas blijken enkele kilometers sluitstukkaden nodig te zijn om in het hele Grensmaasgebied een 1/250 per jaar beschermingsniveau te realiseren.

Wet op de waterkering

Over de onderhouds- en beheerskosten van de DGR-kaden heeft een discussie plaatsgevonden tussen het Rijk en de Waterschappen. In dit traject is besloten om de kaden onder de Wet op de waterkering te laten vallen. Met het van kracht worden van de Wet op de waterkering geldt voor de kaden een wettelijk vastgelegde structuur waarin de (organisatorische en financiële) verantwoordelijkheden ten aanzien van beheer, onderhoud, verbetering en versterking van de Maaskaden is vastgelegd.

Voor toetsing, aanleg en ontwerp van waterkeringen stelt de minister voorschriften en leidraden (die tot aanbeveling strekken) beschikbaar.

In de Wet op de waterkering zijn een aantal dijkkringgebieden benoemd welke door de (DGR) kaden beschermd worden. De Provincie Limburg heeft dijkkringgebieden en kerende voorzieningen in overleg met de waterschappen vastgelegd in een Provinciale Verordening. Niet alle DGR-kaden uit 1995/1996 zijn in de Wet op de waterkeringen opgenomen en derhalve ook niet in de provinciale verordening

Wet op de waterkering en de RVG-kaden in Limburg

Bij de totstandkoming van de Wet op de waterkering voor Limburg was het besluitvormingstraject (Provinciaal Omgevingsplan Limburg Aanvulling Zandmaas – Kadeplan) voor de RVG kaden al afgerond. Hiermee lag het planologisch kader (ruimtebeslag) vast.

Vooruitlopend op het van kracht worden van de Wet op de waterkering, bestuurlijk verklaring tussen Rijk en Waterschappen d.d. 29 juni 2004, zijn afspraken gemaakt en voorwaarden vastgelegd in verband met het onder de wet brengen van de Maaskaden. Dit afgesproken kader is uitgangspunt geweest voor de aanleg van de RVG kaden.

In het ontwerp van de RVG-kaden is voortgebouwd op de kaden die in 1995/1996 waren aangelegd. Omdat een deel van de DGR-kaden van tijdelijke aard zou zijn en er verder gebruik gemaakt is van beperkte kwaliteitsnormen (zoals eerder vermeld). Bij de aanleg van de RVG-kaden is gebleken dat de reeds bestaande DGR-kaden op een aantal plaatsen van onvoldoende kwaliteit zijn.

Voor het aspect kabels en leidingen is geconstateerd dat het onverkort toepassen van de veiligheidseisen uit de Wet op de waterkering en ontwerpkeidraden voor primaire waterkeringen, relatief kostbaar zou zijn.

Dit is opgelost doordat er aangepaste regels zijn opgenomen over de wijze waarop bestaande leidingen in kader van de Wet op de waterkering moeten worden beoordeeld/getoetst, specifiek voor Limburg. Dit is als (wettelijk) toetskader in de Voorschriften Toetsen op Veiligheid (VTV) opgenomen.

Verder bleek dat de Wet op de waterkering en de bijbehorende leidraden geen ontwerpcriteria bevatten voor overstroombaarheid van waterkeringen. Dit komt immers in de rest van Nederland niet voor. Het gaat hierbij over het overstroombaar (moeten) zijn van de Maaskaden. Dit laatste in verband met het voorkomen van benedenstroomse effecten.

De randvoorwaarde dat kaden moeten blijven staan bij een afvoer van 1/250 per jaar en in ieder geval overstroombaar moeten zijn bij afvoeren van 1/1250 per jaar, betekent dat afgeweken moet worden van de waakhogte zoals de leidraden voorschrijven en dat met nadruk gekeken moet worden naar maatregelen aan de binnenzijde van de kade om schade door golfoverslag te voorkomen. Door de beperking in het planologisch kader is slecht beperkt invulling gegeven aan deze voorwaarde bij golfoverslag. Rijkswaterstaat Maaswerken heeft in overleg met de waterschappen ontworpen op basis van de 1/250 per jaar en niet op overstroombare waterkeringen.

De Wet op de waterkering biedt geen tools voor overstroombare waterkeringen.

Op het moment van het bepalen van de hoogte van de RVG-kaden in 2000/2001 vielen de kaden nog niet onder de Wet op de waterkering. De methode die gebruikt is om de kerende hoogte te bepalen wijkt dan ook af van de leidraden voor primaire waterkeringen. Ook was de randvoorwaarde opgelegd dat er een zogenaamd "uitgekiend" ontwerp moest worden gemaakt zonder "robuustheidtoeslag". Gezien de afwijkende situatie is voor de Maaskaden in de Voorschriften Toetsen op Veiligheid (VTV 2006) aparte regels opgenomen.

Wet op de waterkering en Sluitstukkaden

De oorspronkelijke scope van Sluitstukkaden was gebaseerd op de situatie van vóór de Wet op de waterkering. Er was hierbij, conform oorspronkelijke RVG scope, nog geen rekening gehouden met de aanvullende technische eisen die voortvloeien uit deze wet (onder andere voor kabels en leidingen) en de randvoorwaarde voor Limburg ten aanzien van overstroombaarheid. Verder zijn er bestaande kaden buiten de oorspronkelijke scope met een voldoende kruinhoogte, maar die nooit als waterkering zijn getoetst en ontworpen en derhalve nog niet voldoen aan de technische eisen.

Ter illustratie van de gedachtegang over hoogwaterbescherming is in onderstaande tabel aangegeven hoe de waterstanden sinds 1995 in de verschillende programma's zijn uitgekapt

locatie	1/50 Boertien 2b voor rivierverruiming [m tov NAP]	1/250 Boertien 2b na rivierverruiming [m tov NAP]	1/250 vigerend ontwerpkader (met rivierverruiming) [m tov NAP]
Km 16 Borgharen	45,6	44,65	45,32
Km 79 Roermond	20,48	19,92	21,27
Km 107 Venlo	18,09	17,15	18,84
Km 156 Gennep	12,68	12,30	13,27

Tabel 5: Waterstanden op basis van de verschillende programma's

Hoogwaterbeschermingsprogramma

In het hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) staat op dit moment één waterkeringen in het Maasdal gepland, te weten Alexanderhaven te Roermond (programma 2014-2019). Op basis van de uitgevoerde faalkansanalyses voor de vijf dijkkringen, is het mogelijk om een prioritering aan te geven voor de komende versterkingsprogramma's.

2.5 Vakindeling vijf beschouwde dijkkringen

Voor de faalkansberekeningen zijn een vijftal dijkkringgebieden geselecteerd in het Maasdal. Van deze dijkkringen zijn in overleg met de beide beheerders dijkvakken en faalmechanismen geselecteerd. Een dijkvak is een deel van een waterkering waarvoor de sterkte-eigenschappen en belastingen nagenoeg homogeen zijn.

2.5.1 Dijkvakindeling

Een grens van een dijkvak is op verschillende manieren gekozen. Daarbij is rekening gehouden met:

- Toetsresultaat uit derde en verlengde derde toetsing;
- Aanvullende veiligheidsbeschouwingen, welke zijn uitgevoerd door het waterschap;
- Een overgang van de categorie waartoe de waterkering behoort;
- Een verandering van het type waterkering;
- Een verandering van de gevolgen bij een doorbraak;
- Een dusdanige verandering in belasting en/of sterkte-eigenschappen dat niet langer sprake is van een homogene belasting en/of van homogene sterkte-eigenschappen.

Op basis van bovenstaande criteria zijn in totaal 23 dijkvakken voor alle beschouwde dijkkringen gedefinieerd. Niet alle mechanismen zijn voor elk dijkvak doorgerekend. Voor vakken waarbij voor de verschillende faalmechanismen op basis van de toetsresultaten en/of aanvullende veiligheidsanalyse een zeer kleine faalkans te verwachten is, zijn geen faalkansberekeningen gemaakt.

2.5.2 Overzicht vakindeling per dijkkring en beschouwde faalmechanismen dijken

In tabel 6 t/m 10 zijn per dijkkring de beschouwde dijkvakken, vakgrenzen, locatie-aanduidingen, huidige normfrequentie en de in de analyse beschouwde faalmechanismen weergegeven.

Dijkvak	Omschrijving	Beschouwd mechanisme		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	stabiliteit
DV01_54.173-54.177	Kern Mook, keermuur, 1/50 p.j.	X		
DV02_54.169-54.171	Mook, groene dijk, 1/50 p.j.	X		
DV03_54.160-54.168	Groene dijk, 1/250 p.j.		X	
DV04_54.136+50-54.142	Fuikstraat, groene dijk, 1/250 p.j.	X	X	
DV05_54.106-54.110	Steenfabriek, groene dijk, 1/250 p.j.		X	X
DV06_54.82-54.91	Inlaat Lob van Gennep, 1/250 p.j.	X		
DV07_54.76-54.79+50	Henakker, groene dijk, 1/250 p.j.		X	

Tabel 6: Geselecteerde dijkvakken en faalmechanismen Dijkkring 54

Dijkvak	Omschrijving	Beschouwd mechanisme		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	stabiliteit
DV08_55.105-55.112	Groene dijk, 1/250 p.j.		X	
DV09_55.97+50-55.100	Gennepershuisweg, groene dijk, 1/250 p.j.		X	X
DV10_55.84-55.85	Oeffeltsebrug, Groene dijk, 1/250 p.j.		X	

Tabel 7: Geselecteerde dijkvakken en faalmechanismen Dijkkring 55

Dijkvak	Omschrijving	Beschouwd mechanisme		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	stabiliteit
DV12_69.62G+29-69H+25-69.62H+25.112	Groene dijk, 1/250 p.j.		X	
DV13_69.41-69.42	Te korte damwandplank		X	
DV14_69.39-69.40+15	Te korte damwand		X	
DV15_69.34-69.36+20	Gieterijweggetje, foliedijk, 1/250 p.j.		X	X

Tabel 8: Geselecteerde dijkvakken en faalmechanismen Dijkkring 69

Dijkvak	Omschrijving	Beschouwd mechanisme		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	stabiliteit
DV22_50.740.15	Groene dijk, nabij Rosslag, 1/250 p.j.			X

Tabel 9: Geselecteerde dijkvakken en faalmechanismen Dijkkring 77

Dijkvak	Omschrijving	Beschouwd mechanisme		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	stabiliteit
DV01, Habitatsingel	Recent verbeterd, 1/250 p.j.	X		X
DV02, Pietersplas	1/250 p.j.	X		
DV03, Pietersplas	Tot aan camping, 1/250 p.j.	X		
DV04, Pietersplas	Vanaf camping, 1/250 p.j.	X		
DV05, Maastricht centrum	Tot aan Kennedybrug, 1/250 p.j.	X		
DV06, Maastricht centrum	Vanaf Kennedybrug, 1/250 p.j.	X		
DV07, Maastricht noord	Tot aan sluis Limmel, 1/250 p.j.	X		

Tabel 10: Geselecteerde dijkvakken en faalmechanismen Dijkkring 90

2.5.3 Kunstwerken per dijkkring en beschouwde faalmechanismen

In de vijf dijkkringen bevinden zich een groot aantal kunstwerken. In een aantal afzonderlijke rapportages [5], [6], [7], [8] en [9] is per kunstwerk op basis van specifieke kenmerken en een bovengrensbepaarding een screening uitgevoerd. Alleen voor de hieruit geselecteerde kunstwerken zijn faalkansen berekend. In tabel 11 staat het aantal bekende kunstwerken per beschouwde dijkkring vermeld.

In tabel 11 is tussen haakjes het aantal kunstwerken weergegeven, waarvoor ook daadwerkelijk een faalkans is berekend.

Dijkkring	Type kunstwerk			
	Keersluis	Coupure + demontabel	Leiding + duikers	Totaal
54	1 (1)	7+ 0 (7+0)	23 (2)	31 (10)
55	0 (0)	6+4 (6+4)	41 (1)	51 (11)
69	0 (0)	22+3 (22+3)	8 (1)	33 (26)
77	0 (0)	17+22 (13 +22)	10 (0)	49 (35)
90	0 (0)	1 (1)	4 (2)	5 (3)

Tabel 11: Geselecteerde kunstwerken per beschouwde dijkkring

2.6 Hydraulische modellering Limburgse Maas

Er hebben een groot aantal ontwikkelingen in het rivierbed plaatsgevonden nadat de derde toetsronde is uitgevoerd en waarvan het resultaat nog niet in de vastgestelde hydraulische randvoorwaarden (HR2006) is opgenomen. Nog altijd zijn er maatregelen in voorbereiding of in uitvoering die effect hebben op de hydraulische belastingen.

Standaard is er in de VNK2-analyses gerekend met de TMR2006-randvoorwaarden die voor de Maas grotendeels zijn gebaseerd op de HR2001. Bij de uitvoering van de faalkans- en risicoberekening die in dit rapport worden behandeld, is geen gebruik gemaakt van de TMR2006.

In plaats daarvan is uitgegaan van het WTI-2017 belastingmodel (BenO14_5-model [22]). Hiermee wordt aangesloten op de randvoorwaarden, zoals deze momenteel in het kader van de voorbereiding op de vierde toetsronde worden voorbereid. In dit model, dat op een WAQUA-schematisatie is opgebouwd, zijn de voorziene rivierkundige maatregelen in zowel Nederland als België opgenomen, waarvan verwacht wordt dat deze in het jaar 2023 gereed zijn. In Bijlage D is de door Agtersloot Hydraulische advies uitgevoerde overstromingsmodellering met het WAQUA-model beschreven [1].

Daarnaast zijn momenteel veel waterkeringen aanwezig, die zijn aangelegd op een overschrijdingskans van 1/50 per jaar, behoudens de dijkkringen van de grote stedelijke gebieden (Maastricht, Roermond, Venlo-Blerick en Gennep). Deze dijkkringen zijn reeds verbeterd door Maaswerken tot een beschermingsniveau van 1/250 per jaar (overschrijdingskans) in het kader van de Maaswerken. In het WAQUA-model zijn echter alle kaden reeds op het 1/250 per jaar niveau aanwezig. Dat wil zeggen dat ze zijn gemodelleerd op een ontwerppeil met een overschrijdingskans van 1/250 per jaar vermeerderd met 0,5 m waakhogte. Dit is dan gelijk aan de voorziene situatie in het jaar 2023, als alle Maaskaden zijn verbeterd.

3 Wijze van bepaling faalkansen demontabele keringen

3.1 Algemeen

Met name in de Limburgse situatie zijn een groot aantal demontabele keringen benodigd tijdens hoogwatersituaties. Van deze keringen waren tot op dit moment nog geen eenduidige toetsvoorschriften / protocollen beschikbaar. Om voor dit type kering een faalkansinschatting te bepalen, is in samenwerking met beide beheerders een faalkansanalyse uitgevoerd. De opgedane kennis kan ook worden gebruikt bij de totstandkoming van nieuwe toetsregels voor demontabele keringen in het WTI2017.

3.2 Aanpak / gevolgde methode

Om een goede inschatting te kunnen maken van de belangrijkste risico's die samenhangen met het systeem van demontabele keringen in Limburg is een uitgebreide faalkansanalyse opgesteld. Voorafgaand aan een werksessie met de beheerders heeft een veldbezoek plaatsgevonden en is ook een deel van een proefsluiting bijgewoond. De werksessies zijn uitgevoerd conform de Risman-methode in vijf stappen:

1. Voorbereiding: door VNK2 zijn foutenbomen opgesteld voor de volgende vier deelfaalmechanismen: alarmering, falen mobilisatie, falen bediening en technisch falen;
2. Inventarisatie van ongewenste gebeurtenissen en kritieke paden: door de beheerders zijn ongewenste gebeurtenissen aangedragen, die kunnen leiden tot het niet-gesloten kunnen zijn van demontabele keringen;
3. Prioriteren van kritieke paden: de aangedragen kritieke paden zijn vervolgens geprioriteerd en is een risicoregister opgesteld;
4. Opstellen van beheersmaatregelen: de opgenomen risico's in het risicoregister zijn voorzien van een of meerdere beheersmaatregelen;
5. Verwerking resultaten: de resultaten zijn verwerkt in foutenbomen. Daarna is een uitspraak gedaan ten aanzien van de betrouwbaarheid van de sluiting van een demontabele kering.



Figuur 15: Plaatsen demontabele wand Pontanusstraat – Venlo, Blerick

3.3 Faalkansanalyse demontabele keringen

Uit de faalkansanalyse blijkt dat de belangrijkste risico's verband houden met de mobilisatie van materiaal en personeel en met het technisch falen van de keringen. Het belangrijkste risico dat uit de verschillende sessies naar voren is gekomen is dat van diefstal van een reeds geplaatste kering. Het risico is als significant bestempeld door beide waterschappen, die zich dan ook gaan beraden op passende beheersmaatregelen. Dit risico is in de faalkansanalyses niet kwantitatief meegenomen. Het aanrij -en aanvaarrisico na plaatsing van de coupures en wanden is eveneens niet meegenomen.

Op basis van de resultaten van de risicosessie zijn faalkansen afgeleid voor het gebruik in de overstromingsrisico-analyse van VNK2. Nadrukkelijk wordt opgemerkt dat de faalkansen zoals die bepaald zijn in de risicosessie, zijn gebaseerd op het huidige systeem, zoals dat in Limburg is geïmplementeerd. Dit betekent dat wordt uitgegaan van een ingeregeld systeem waarin vanuit een goede, betrokken organisatie reeds een groot aantal specifieke beheersmaatregelen wordt toegepast en is verankerd in beheersen calamiteitenplannen.

De kansen zijn ingeschat voor de diverse faalgebeurtenissen voor een individueel kunstwerk (coupure of demontabele wand). Voor sommige gebeurtenissen is de kans op falen afhankelijk van het aantal poortjes in een individueel kunstwerk. In dit geval moet rekening gehouden worden met een lengte-effect. In Bijlage C zijn alle vier de foutenbomen opgenomen.

3.3.1 *Faalkans deelfaalmechanisme Alarmering*

Uit de analyse blijkt dat alarmering in de huidige tijd, met de huidige communicatiemiddelen en systemen geen significante bijdrage meer levert aan de kans op niet sluiten. Dit wordt ook veroorzaakt doordat aan de foutenboom een tweede mogelijkheid tot herstel is toegevoegd, naast de mogelijkheid 'bevolking waarschuwt'. Het kan namelijk zo zijn dat het waterschap zelf overgaat tot sluiten, ondanks dat alarmering door RWS is uitgebleven.

3.3.2 *Faalkans deelfaalmechanisme Mobilisatie*

Onderscheid wordt gemaakt in twee standaardsituaties:

1. Demontabele kering is mogelijk niet bereikbaar tijdens hoogwater, de berekende faalkans bedraagt dan $1,40 \cdot 10^{-3}$ [per sluitvraag];
2. Demontabele kering is ook tijdens hoogwater bereikbaar, de berekende faalkans bedraagt dan $3,93 \cdot 10^{-4}$ [per sluitvraag].

De faalkans voor de deelfaalmechanismen blijkt in gelijke mate te worden beïnvloed door de kans dat de mobilisatie van materiaal en menskracht faalt. In de foutenboom zijn een aantal herstelacties opgenomen. De faalkansen van deze herstelacties zijn sterk afhankelijk van de beschikbare hersteltijd. Vooralsnog is hiervoor een waarde van $2,0 \cdot 10^{-2}$ per sluitvraag aangehouden.

Opgemerkt wordt dat er ook nog een kans op herstel aanwezig is nadat de mobilisatie (deels) is gefaald, hiervoor zijn drie mogelijkheden aangedragen:

1. Het materiaal is aanwezig, maar getraind personeel ontbreekt;
2. Het materiaal ontbreekt, maar getraind personeel is wel aanwezig;
3. Zowel materiaal als getraind personeel ontbreken.

Vooralsnog is geen kans op herstel na falen van mobilisatie meegenomen in de analyse. Indien mobilisatie maatgevend blijkt te zijn, zou dit nog kunnen worden toegevoegd.

3.3.3 Faalkans deelfaalmechanisme Bediening

De berekende faalkans voor het deelfaalmechanisme bediening wordt met name bepaald door de kans op het doen van een verkeerde handeling in combinatie met het falen van het herstel hiervan. De faalkans neemt toe als het aantal te plaatsen elementen toeneemt (repetitie-effect). Hierbij wordt de hoogte van de op te bouwen kering buiten beschouwing gelaten, omdat verondersteld is dat het plaatsen van de staanders de kritieke activiteit is.

De bepaalde faalkans voor het deelfaalmechanisme bediening is, zoals weergegeven in tabel 12, als volgt afhankelijk verondersteld van de lengte van de demontabele kering.

Lengte demontabele kering (l) [m]	Faalkans deelfaalmechanisme bediening [per sluitvraag]
$l < 30$ m	$3,2 \cdot 10^{-5}$
$30 < l < 100$ m	$5,6 \cdot 10^{-5}$
$100 < l < 300$ m	$1,3 \cdot 10^{-4}$
$300 < l < 1.000$ m	$3,7 \cdot 10^{-4}$
$l > 1.000$ m	$1,1 \cdot 10^{-3}$

Tabel 12: Faalkans deelfaalmechanisme bediening

3.3.4 Faalkans deelfaalmechanisme Technisch falen

Het technisch falen kan veroorzaakt worden doordat een constructie-onderdeel wordt aangereden. Daarnaast is de kans op een belemmering meegenomen in de analyse. De kans op technisch falen onder een hoogwaterbelasting zal relatief klein zijn. De berekende faalkans voor het deelfaalmechanisme technisch falen is afhankelijk van de lengte van de kering. Immers, hoe langer de kering, des te groter bijvoorbeeld de kans is dat een reeds geplaatst element wordt aangereden.

De faalkans voor het deelfaalmechanisme technische falen is, zoals weergegeven in tabel 13, als volgt afhankelijk van de lengte van de demontabele kering.

Lengte demontabele kering (l) [m]	Faalkans deelfaalmechanisme Technisch falen [per sluitvraag]	
	Wel gevoelig voor niet-tilbare objecten	Ongevoelig voor niet-tilbare objecten
$l < 30$ m	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-5}$
$30 < l < 100$ m	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-5}$
$100 < l < 300$ m	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$
$300 < l < 1.000$ m	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$
$l > 1.000$ m	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$

Tabel 13: Faalkans deelfaalmechanisme bediening

3.3.5 Gecombineerde faalkansen demontabele keringen

Ter bepaling van de faalkans die voor VNK2 wordt gehanteerd, zijn de faalkansen voor de deelfaalmechanismen uit de voorgaande paragrafen gesommeerd. Falen treedt immers op als één van de deelfaalmechanismen zich voordoet en de mechanismen onafhankelijk van elkaar zijn.

Op basis van de uitgevoerde faalkansanalyse zijn de volgende (afgeronde) kansen op niet sluiten gehanteerd.

	Faalkans voor $l < 1.000$ m [1/vraag]	Faalkans voor $l > 1.000$ m [1/vraag]
Bereikbaar tijdens hoogwater	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Niet bereikbaar tijdens hoogwater	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$

Tabel 14: Aangehouden faalkansen voor de betrouwbaarheid van de demontabele keringen.

In veel dijkringen zijn meerdere demontabele wanden aanwezig, waardoor ook de gecombineerde faalkans voor alle wanden per dijkkring is bepaald. Deze gecombineerde faalkans is per dijkkring bepaald in de diverse achtergrondrapporten [5], [6], [7], [8] en [9] en samengevat in tabel 15. Opgemerkt wordt dat voor dijkkring 90 alleen voor het waterpoortje te Maastricht een faalkans is berekend en dat de faalkans voor dit kunstwerk in onderstaande tabel is opgenomen.

Dijkkring	Faalkans betrouwbaarheid sluiting (gecombineerd) (per jaar)	Herhalingstijd betrouwbaarheid sluiten (gecombineerd) (jaar)
DR54 Mook-Middelhaar	$6,4 \cdot 10^{-4}$	1.570
DR55 Gennep	$1,8 \cdot 10^{-4}$	5.620
DR69 Venlo, Blerick	$1,5 \cdot 10^{-3}$	675
DR77 Herten- Ool - Meur	$9,4 \cdot 10^{-4}$	1.065
DR90 Geulle Maastricht	$2,0 \cdot 10^{-6}$	530.000

Tabel 15: Faalkansen en herhalingstijden betrouwbaarheid sluiten per dijkkring gecombineerd

Uit de uitgevoerde analyses zijn de volgende conclusies te trekken:

- De kans op falen van het deelfaalmechanisme alarmering is verwaarloosbaar klein;
- De grootste risico's zitten in de deelfaalmechanismen mobilisatie en technisch falen;
- Het creëren van hersteltijd verkleint de faalkans van het systeem;
- De kans op herstel kan vergroot worden door op voorhand beheersmaatregelen te bedenken.

De met deze analyse bepaalde faalkansen op kunstwerkniveau zijn beduidend kleiner dan de faalkansen zoals die zouden zijn als deze bepaald worden aan de hand van de scoretabellen uit de Leidraad Kunstwerken 2003. Hierbij moet bedacht worden dat de kans op herstel van een falende sluiting in de scoretabellen van de Leidraad Kunstwerken 2003 niet is meegenomen. De hier toegepaste benadering past naadloos bij de geavanceerde beoordeling uit de Leidraad Kunstwerken. De toegepaste benadering is dan ook generiek toepasbaar.

Kanttekening bij deze benadering is dat deze methode niet is afgestemd met andere beheerders die vergelijkbare voorzieningen hebben (bv Ws Rivierenland, Ws Groot Salland). De benadering is wel afgestemd met de opstellers van het WT12017. Daarnaast is het mogelijk dat de benadering ook wordt opgenomen in de update van de Leidraad Kunstwerken. Geadviseerd wordt dit na het verschijnen van beide updates na te gaan of er tot andere inzichten zou worden gekomen.

4 Resultaten faalkansanalyses vijf dijkkringen

Dit hoofdstuk beschrijft de wijze waarop de overstromingskans is berekend en toont de resultaten van de uitgevoerde berekeningen. De achtergrondrapportage van de faalkansberekeningen voor de drie dijkkringen in het beheergebied van WPM zijn opgenomen in [2]. De aanpak en de resultaten van de faalkansanalyses voor WRO (twee dijkkringen) zijn opgenomen in [3].

4.1 Aanpak en uitgangspunten

De berekeningen van de faalkansen van de dijkvakken en kunstwerken en de overstromingskans van het dijkkringgebied zijn uitgevoerd met behulp van het programma PC-Ring [14] [15] [16] en de in het kader van VNK2 opgestelde Excel sheets voor wat betreft de kunstwerken. De faalkansen voor het faalmechanisme *macrostabiliteit binnenwaarts* zijn met behulp van aparte procedures buiten PC-Ring berekend. De voor dit faalmechanisme berekende faalkansen zijn als invoer voor PC-Ring bij het berekenen van de overstromingskans ingevoerd.

De faalkansen voor de geselecteerde dijkkringen en kunstwerken zijn berekend volgens de hydraulische belastingen met behulp van het WT2017-model. Voor de verschillen tussen beide modellen wordt verwezen naar hoofdstuk 2.6.

Op vakniveau zijn, indien relevant, verschillende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om een beeld te krijgen van de invloeden van alternatieve schematisaties. Voor een uitgebreide toelichting op de vakindeling, de selectie van faalmechanismen en de opgestelde schematisaties per faalmechanisme en per vak, wordt verwezen naar het achtergrondrapporten [2] en [3].

4.2 Beschouwde faalmechanismen

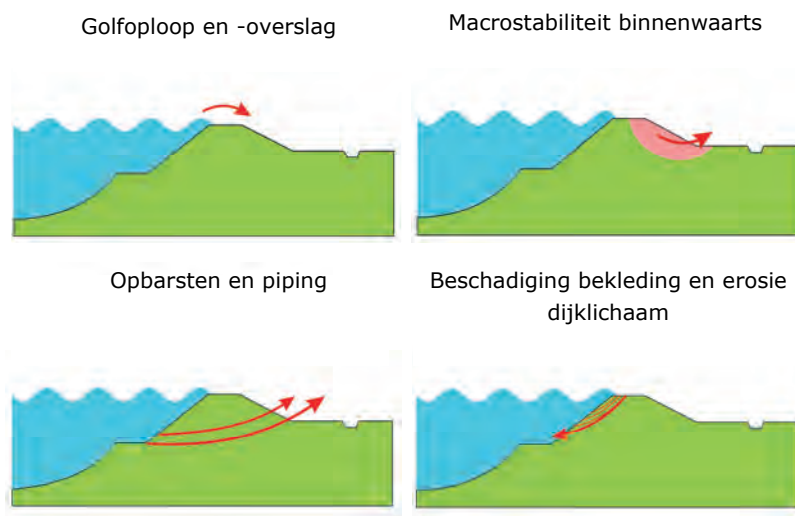
4.2.1 Faalmechanismen dijken

Bij de bepaling van de faalkansen van de dijken zijn de volgende faalmechanismen beschouwd (zie figuur 16):

- Overloop en golfoverslag;
- Macrostabiliteit binnenwaarts;
- Opbarsten en piping.

In de reguliere VNK2-analyses zijn ook faalkansen voor het faalmechanisme *beschadiging bekleding en erosie dijklichaam* beschouwd. Uit eerdere VNK2-analyses en de toetsing blijkt dat dit mechanisme als een niet-dominant faalmechanisme voor de overstromingskans van de Limburgse dijkkringen mag worden verondersteld. Dit mechanisme is dan ook niet voor de vijf dijkkringen beschouwd.

Opgemerkt wordt wel dat in de veiligheidstoetsing en de dagelijkse situatie de bekleding van de waterkering, als ook bijvoorbeeld de steenbestorting bij de schaar dijken, tot afkeuren heeft geleid en in het dagelijks beheer voor problemen zorgt.



Figuur 16: Beschouwde faalmechanismen dijken

Overloop en golfoverslag

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

Macrostabiteit 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.

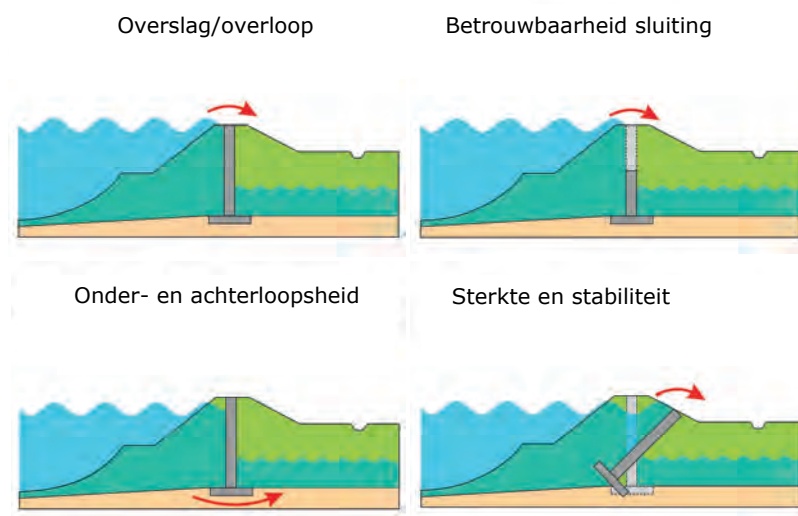
Opbarsten en piping

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 doordat het zand wegspoelt en mogelijk de dijk bezwijkt.

4.2.2 *Faalmechanismen kunstwerken*

Voor de bepaling van de faalkans van een kunstwerk wordt rekening gehouden met de volgende faalmechanismen (zie figuur 17):

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



Figuur 17: Beschouwde faalmechanismen kunstwerken

Overslag/overloop

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

Betrouwbaarheid sluiting

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

Onder- en achterloopsheid

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

Sterkte en stabiliteit

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

4.3 Niet beschouwde faalmechanismen

Niet alle faalmechanismen zijn en kunnen met het VNK2-instrumentarium worden doorgerekend. De faalmechanismen zettingsvloeiing, afschuiven voorland, afschuiven buitentalud, micro-instabiliteit en verweking, zijn binnen VNK2 niet meegenomen. Daarnaast treden de faalmechanismen zettingsvloeiing, afschuiven voorland en buitentalud veelal op ná een hoogwater en leveren daarmee niet direct een bijdrage aan een overstroming.

Ook het mechanisme *sterkte bekleding* en erosie onderlagen is in deze faalkansanalyse niet beschouwd. Uit de VNK2-analyses blijkt van dit faalmechanisme geen faalkansbijdrage aan de overstromingskans te verwachten is. Opgemerkt wordt dat dit

faalmechanisme in de reguliere toetsing (o.b.v. overschrijdingskansbenadering) voor een aantal dijkeringen wel tot een onvoldoende eindscore heeft geleidt.

Ook falen van de waterkering door niet waterkerende objecten (beplanting, bebouwing, kabels en leidingen en overige objecten) is in VNK2 niet beschouwd. Doordat bij het ontwerp en de aanleg van de waterkeringen in Limburg hier niet of nauwelijks rekening mee gehouden is, is niet zonder meer duidelijk of deze een significante bijdrage aan de overstromingskans hebben.

4.4 Resultaten faalkansanalyses

VNK2 geeft een beeld van de faalkansen en overstromingskansen. De veiligheidsbenadering in VNK2 is daarmee anders dan die in de toetsing in het kader van de Waterwet. In de toetsing werd beoordeeld of de primaire waterkeringen voldoen aan de wettelijke normen. Deze normen waren 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).

Voor de achtergronden van de uitgevoerde faalkansanalyses voor de dijken wordt verwezen naar de achtergrondrapporten [2] en [3]. De achtergrondrapporten van de faalkansberekeningen voor de kunstwerken staan beschreven in de achtergrondrapportages [5], [6], [7], [8] en [9].

4.4.1 Resultaten dijkkring 54 – Ottersum, Mook

In deze dijkkring zijn, nadat er in de screening een groot aantal kunstwerken zijn afgevallen omdat hiervan geen faalkansbijdrage wordt verwacht, in totaal 10 kunstwerken nader geanalyseerd. De grootste faalkans is berekend voor het kunstwerk 'Tielebeek Bossebrugweg. Deze heeft een faalkans van 1/100 per jaar, welke gedomineerd wordt door het faalmechanisme *onder- en achterloopsheid*. Ook een aantal coupures hebben een grote faalkans en dan met name voor het faalmechanisme *overslag en overloop*.

De gecombineerde faalkans voor de coupures en demontabele keringen zijn, volgens de methode zoals in hoofdstuk 3 is samengevat, berekend op 1/1.540 per jaar.

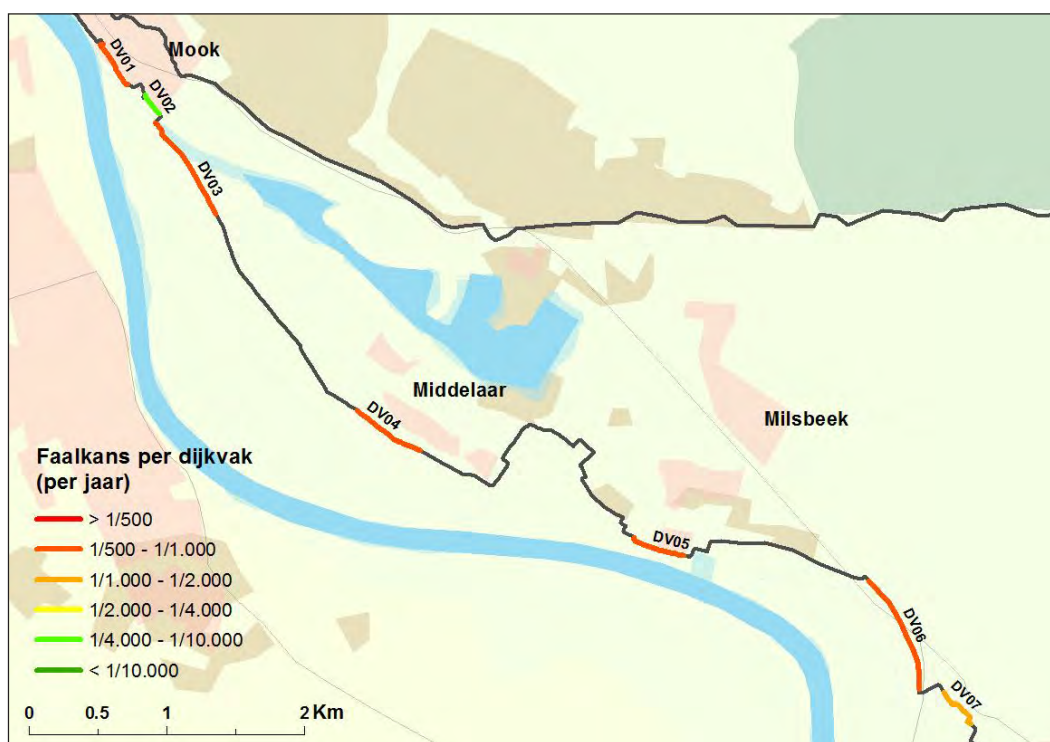
In tabel 16 en tabel 17 en zijn de berekende faalkansen voor dijkkring 54 opgenomen en in figuur 18 zijn de faalkansen en de ligging van de beschouwde dijkvakken weergegeven.

Dijkvak	Omschrijving	Faalkansen per mechanisme [per jaar]		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	stabiliteit
DV01_54.173-54.177	Kern Mook, keermuur, 1/50 p.j.	1/770	n.b.	n.b.
DV02_54.169-54.171	Mook, groene dijk, 1/50 p.j.	1/5.900	n.b.	n.b.
DV03_54.160-54.168	Groene dijk, 1/250 p.j.	n.b.	1/130	n.b.
DV04_54.136+50-54.142	Fuikstraat, groene dijk, 1/250 p.j.	1/2.500	1/630	n.b.
DV05_54.106-54.110	Steenfabriek, groene dijk, 1/250 p.j.	n.b.	1/280	1/950
DV06_54.82-54.91	Inlaat Lob van Gennep, 1/250 p.j.	1/370	n.b.	n.b.
DV07_54.76-54.79+50	Henakker, groene dijk, 1/250 p.j.	n.b.	1/1.700	n.b.

Tabel 16: Berekende faalkansen voor de dijken van dijkkring 54

Kunstwerk	Dijkpaal	Overslag/ Overloop	Betrouwbaarheid Sluiting	Onder- en achterloopsheid	Sterkte en Stabiliteit	Totaal (gecombineerd)
Coupures						
Ottersum, sportterrein	54.059 + 66	1/5.030	1/45.217	<1/25.000	<1/25.000	1/3.833
Ottersum, sportterrein	54.059 + 96	1/5.030	1/45.217	<1/25.000	<1/25.000	1/3.833
steenfabriek Milsbeek	54.103 + 90	1/1.509	1/50.485	<1/25.000	<1/25.000	1/1.384
Mook, Kanaalweg	54.170 + 87	1/754	1/132.143	<1/25.000	<1/25.000	1/732
Mook, Violenstraatje	54.174 + 18	1/304	1/5.756	<1/25.000	<1/25.000	1/285
Mook, Marktschipperspad	54.175 + 99	1/398	1/2.621	<1/25.000	<1/25.000	1/341
Mook, in de hove	54.179 + 89	1/546	1/111.111	<1/25.000	<1/25.000	1/534
Keersluis						
Keersluis Mook	54.169	1/10.000	1/575	<1/25.000	<1/25.000	1/544
Leidingen en duikers						
Kroonbeek N271	54.090 + 20	n.v.t.	1/1.758	<1/25.000	<1/25.000	1/1.758
Tielebeek Bossebrugweg	54.123 + 68	n.v.t.	1/15.823	1/100	<1/25.000	1/100

Tabel 17: Berekende faalkansen voor de kunstwerken van dijkkring 54



Figuur 18: Resultaat faalkansberekening Dijkkring 54

4.4.2 Resultaten dijkkring 55 – Gennep

In deze dijkkring zijn, nadat er in de eerste screening een groot aantal kunstwerken zijn afgefallen, in totaal 11 kunstwerken (6 coupures, 4 demontabele wanden en 1 leiding) nader geanalyseerd.

De berekende overstromingskans wordt grotendeels bepaald door de faalkans voor het dijkvak langs de Gennepershuisweg. Voor dit dijkvak is het mechanisme *macrostabiliteit*

binnenwaarts dominant. Het vak is in de toetsing ook op dit faalmechanisme afgekeurd. Het resultaat komt ook overeen met het beeld van de beheerder, die bij hoogwatersituaties voor dit vak uitgebreide calamiteitenmaatregelen moet treffen. Ondanks dat voor dit dijkvak een dijkverbetering noodzakelijk wordt geacht wordt wel aanbevolen om aanvullende grondonderzoek te doen naar met name de opbouw en eigenschappen van het dijkmateriaal.

Een ander belangrijk onderdeel van deze dijkkring betreft de riolafsluiter in de Hoofdstraat. Het is bekend dat de keermiddelen van dit kunstwerk in zeer slechte staat verkeren, wat de faalkansen voor het kunstwerk bepaalt. Deze keermiddelen zullen dan ook vervangen moeten worden.

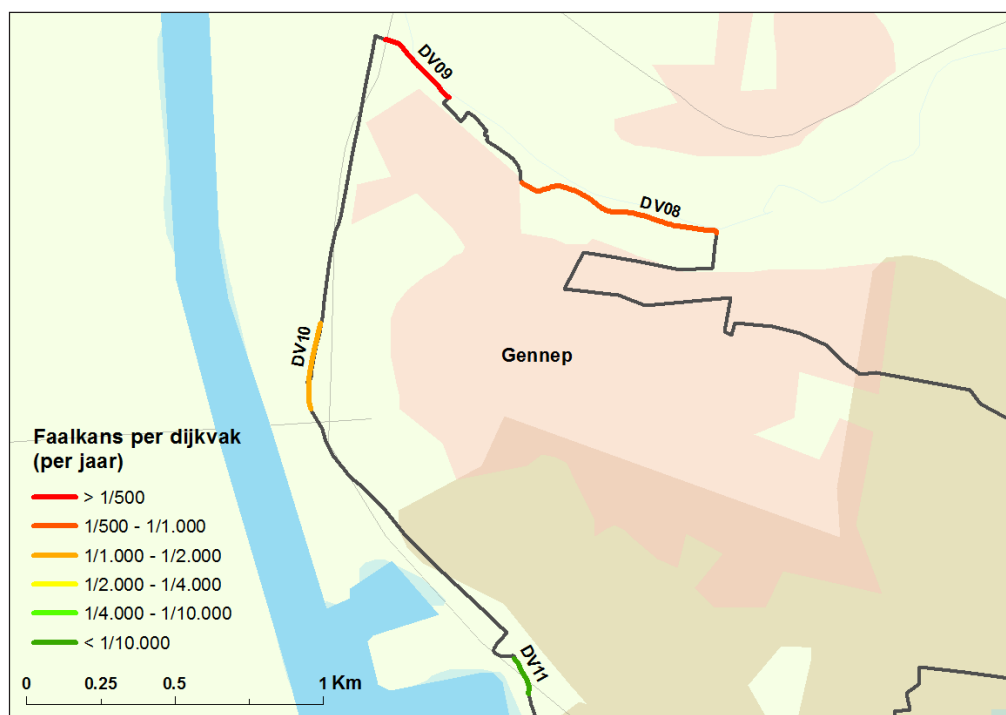
In tabel 18 en tabel 19 zijn de berekende faalkansen voor dijkkring 55 opgenomen en in figuur 19 zijn de faalkansen en de ligging van de beschouwde dijkvakken weergegeven.

Dijkvak	Omschrijving	Faalkansen per mechanisme [per jaar]		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	stabiliteit
DV08_55.105-55.112	Groene dijk, 1/250 p.j.	n.b.	1/690	n.b.
DV09_55.97+50-55.100	Genneperhuisweg, groene dijk, 1/250 p.j.	n.b.	1/140	1/30
DV10_55.84-55.85	Oeffeltsebrug, Groene dijk, 1/250 p.j.	n.b.	1/1.100	n.b.

Tabel 18: Berekende faalkansen voor de dijken van dijkkring 55

Kunstwerk	Dijkpaal	Overslag/ Overloop	Betrouwbaarheid Sluiting	Onder- en achterloopsheid	Sterkte en Stabiliteit	Totaal (gecombineerd)
Coupures						
Heijen, nabij de manege	55.039 + 73	1/538	1/32.867	<1/25.000	<1/25.000	1/526
Heijen manege ½	55.040 + 63	1/538	1/21.739	<1/25.000	<1/25.000	1/514
Heijen manege 2/2	55.041 + 8	1/538	1/21.739	<1/25.000	<1/25.000	1/514
Heijen, achter AVG	55.058 + 14	1/819	1/43.590	<1/25.000	<1/25.000	1/779
Heijen, haven Hendrix	55.066 + 43	1/1.617	1/115.385	<1/25.000	<1/25.000	1/1.518
Niersbrug Gennep	55.102 + 2	1/1.797	1/304.878	<1/25.000	<1/25.000	1/1.676
Wanden						
Heijen, achter van Wezel	55.062 + 40	1/927	1/150.000	<1/25.000	<1/25.000	1/894
Heijen, achter van Wezel	55.066 + 61	1/927	1/150.000	<1/25.000	<1/25.000	1/894
Gennep in het Nierspark	55.102 + 40	1/1.322	1/271.739	<1/25.000	<1/25.000	1/1.256
Gennep in het Nierspark	55.102 + 40	1/1.322	1/271.739	<1/25.000	<1/25.000	1/1.256
Leidingen en duikers						
Riolafsluit hoofdstraat/Maas	55.042 +83	n.v.t.	1/104.167	<1/25.000	1/333	1/333

Tabel 19: Berekende faalkansen voor de kunstwerken van dijkkring 55



Figuur 19: Resultaat faalkansberekening Dijkkring 55

4.4.3 Resultaten dijkkring 69 Blerick

In deze dijkkring zijn in totaal voor 26 kunstwerken faalkansen berekend. Dit zijn 22 coupures, 3 demontabele wanden en 1 leiding. De berekende faalkansen van de coupures en demontabele wanden liggen tussen 1/1.500 en 1/5.000 per jaar. De beschouwde leiding heeft een gecombineerde faalkans van circa 1/19.600 per jaar.

In dijkkring 69 is met name voor dijkvak DV15 (Gieterijweggetje) een relatief grote faalkans berekend vanwege het mechanisme *opbarsten en piping*. Opgemerkt moet worden het tijdelijk aangebrachte folie in zowel de toetsing als de faalkansanalyse niet is beschouwd. Aanbevolen wordt om aanvullend grondonderzoek te doen, waarin nagegaan moet worden of er afdekkende deklagen in het achterland en onder de waterkering aanwezig zijn. Dit onderzoek is reeds ingezet.

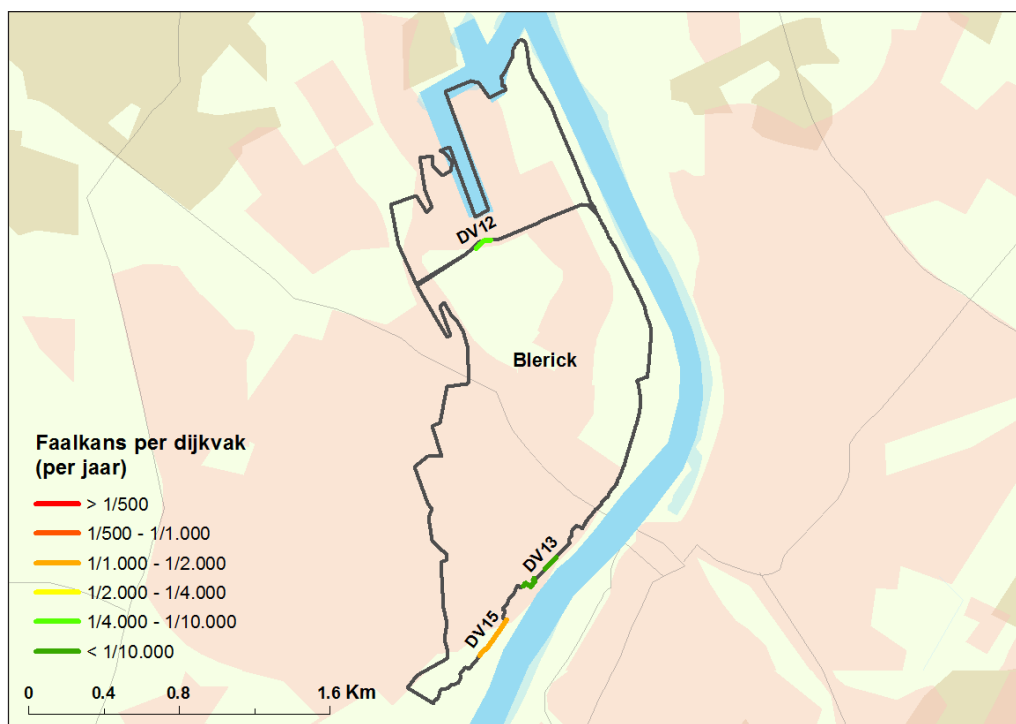
In tabel 20 en tabel 21 zijn de berekende faalkansen voor dijkkring 69 weergegeven en in figuur 20 zijn de faalkansen en de ligging van de beschouwde dijkvakken weergegeven

Dijkvak	Omschrijving	Faalkansen per mechanisme [per jaar]		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	Stabiliteit
DV12_69.62G+29-69H+25-69.62H+25.112	Groot-Bollerweg, groene dijk, 1/250 p.j.	n.b.	1/4.500	n.b.
DV13_69.41-69.42	Staaieweg, te korte damwandplank	n.b.	1/32.750	n.b.
DV14_69.39-69.40+15	Staaieweg, te korte damwand	n.b.	1/18.450	n.b.
DV15_69.34-69.36+20	Gieterijweggetje, foliedijk, 1/250 per jaar	n.b.	1/1.400	<10 ⁻⁶

Tabel 20: Berekende faalkansen voor de dijken van dijkkring 69

Kunstwerk	Dijkpaal	Overslag/ Overloop	Betrouwbaarheid Sluiting	Onder- en achterloopseheid	Sterkte en Stabiliteit	Totaal (gecombineerd)
Coupures						
Pontanusstraat 1/5	69.036 + 119	1/6.558	1/283.613	<1/25.000	<1/25.000	1/5.195
Pontanusstraat 2/5	69.037 + 29	1/3.848	1/232.143	<1/25.000	<1/25.000	1/3.335
Pontanusstraat 3/5	69.037 + 47	1/6.558	1/171.053	<1/25.000	<1/25.000	1/5.195
Pontanusstraat 4/5	69.037 + 71	1/3.848	1/135.417	<1/25.000	<1/25.000	1/3.335
Pontanusstraat 5/5	69.038 + 12	1/6.558	1/112.069	<1/25.000	<1/25.000	1/5.195
Blerick, Driessen	69.039 + 57	1/3.848	1/19.291	<1/25.000	<1/25.000	1/2.843
Joegoslaaf	69.039 + 64	1/3.848	1/2.569	<1/25.000	<1/25.000	1/1.451
Sur Meuse terras	69.040 + 2	1/3.848	1/2.569	<1/25.000	<1/25.000	1/1.451
Blerick, Helling	69.040 + 8	1/3.848	1/2.569	<1/25.000	<1/25.000	1/1.451
Staiweg 10	69.042 + 121	1/2.820	1/114.458	<1/25.000	<1/25.000	1/2.534
Staiweg 16	69.042 + 23	1/2.820	1/179.245	<1/25.000	<1/25.000	1/2.534
Staiweg 15	69.042 + 42	1/2.820	1/179.245	<1/25.000	<1/25.000	1/2.534
Staiweg 14	69.042 + 56	1/2.820	1/179.245	<1/25.000	<1/25.000	1/2.534
Staiweg 11	69.042 + 89	1/2.820	1/294.444	<1/25.000	<1/25.000	1/2.534
Staiweg 10	69.043 + 14	1/4.162	1/26.904	<1/25.000	<1/25.000	1/3.150
Staiweg 9	69.043 + 30	1/4.162	1/202.128	<1/25.000	<1/25.000	1/3.568
coupure Staiweg	69.043 + 48	1/4.162	1/26.904	<1/25.000	<1/25.000	1/3.150
Staiweg 10	69.043 + 7	1/4.162	1/123.377	<1/25.000	<1/25.000	1/3.568
Raaiweide Venrayseweg	69.052 + 83	1/4.226	1/200.000	<1/25.000	<1/25.000	1/3.615
Groot Boller (hoofdpoort WBL)	69.062d + 12	1/16.332	1/254.065	<1/25.000	<1/25.000	1/9.879
Groot Boller (ingang WBL)	69.062d + 90	1/5.976	1/134.615	<1/25.000	<1/25.000	1/2.823
Groot Boller (ingang WBL)	69.062e + 73	1/3.765	1/113.636	<1/25.000	<1/25.000	1/3.272
Demontabele wanden						
w1 Blerick achter Pastorie	69.039 + 99	1/2.947	1/191.176	<1/25.000	<1/25.000	1/2.636
w2 Sur Meuse terraswand	69.039 + 99	1/1.718	1/22.440	<1/25.000	<1/25.000	1/1.500
w3 Sur Meuse terraswand	69.039 + 99	1/1.718	1/22.440	<1/25.000	<1/25.000	1/1.500
Leidingen en duikers						
Venrayseweg brug (Bl 3)	69.045 +21	n.v.t.	1/100.000	<1/25.000	1/1.000.000	1/19.607

Tabel 21: Berekende faalkansen voor de kunstwerken van dijkkring 69



Figuur 20: Resultaat faalkansberekening Dijkkring 69

Voor de dijkvakken DV13 en DV14 zijn de berekende faalkansen niet in overeenstemming met het beeld uit de wettelijke toetsing. In de toetsing is aan deze twee vakken een onvoldoende eindscore toegekend. Dit wordt voor een groot deel veroorzaakt doordat in de toetsing is gerekend met de methode Lane, waarvan bekend is dat deze leidt tot een conservatief oordeel. De faalkansen voor deze vakken zijn berekend met de methode Heave, wat een gunstiger beeld oplevert, maar goed de werkelijk aanwezige situatie beschrijft.

4.4.4 Resultaten dijkkring 77 – Herten-Ool-Merum

Deze dijkkring bestaat voor een groot gedeelte uit coupures en demontabele wanden en duikers. Er zijn 35 kunstwerken na de screening overgebleven waarvoor een faalkans is bepaald. De gecombineerde faalkans van de coupures en demontabele wanden voor het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiten* is circa 1/1.000 per jaar. De verschillen tussen de faalkansen van de verschillende kunstwerken zijn gering.

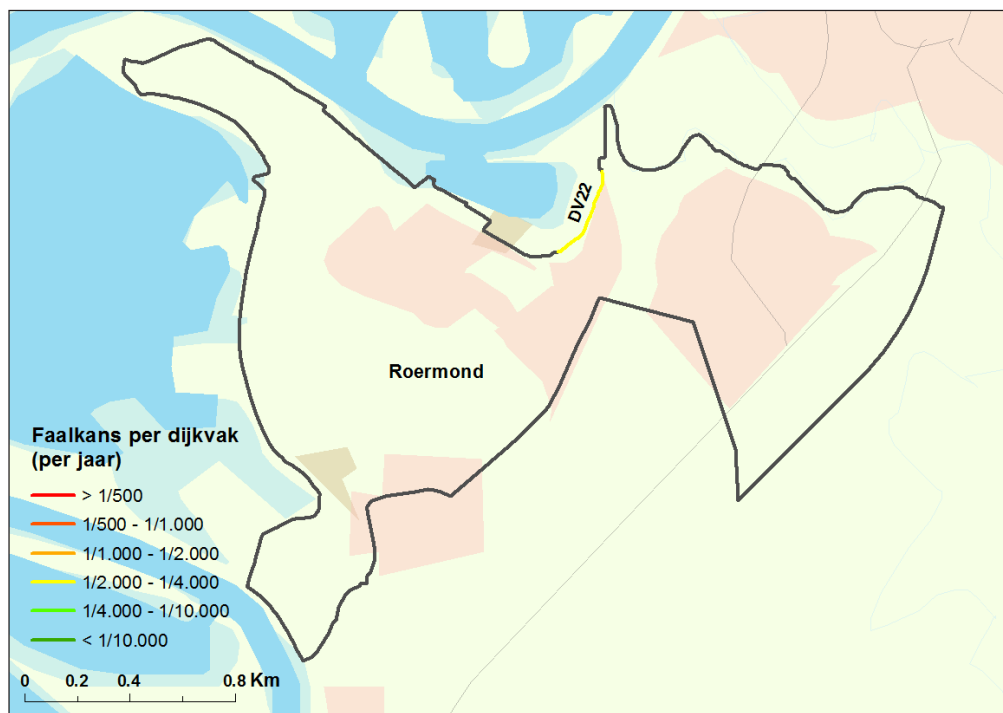
In tabel 22 en tabel 23 zijn de faalkansen voor dijkkring 77 weergegeven en in figuur 21 zijn de faalkansen en de ligging van de beschouwde dijkvakken weergegeven.

Dijkvak	Omschrijving	Faalkansen per mechanisme [per jaar]		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	Stabiliteit
DV22_50.740.15	Groene dijk, Hondsbegje, 1/250 per jaar	n.b.	n.b.	1/2.580

Tabel 22: Berekende faalkansen voor de dijken van dijkkring 77

Kunstwerk	Overslag/ Overloop	Betrouwbaarheid Sluiting	Onder- en achterloopsheid	Sterkte en Stabiliteit	Totaal (gecombineerd)
Coupures					
Coupure veer Oolderhuuske	1/1.018	1/23.041	n.b.	<1/25.000	1/938
kademuren Maasstraat Ool	1/465	1/35.443	n.b.	<1/25.000	1/451
Coupure Nico Snellens	1/429	1/12.788	n.b.	<1/25.000	1/408
Coupure woonboten Herten	1/742	1/11.086	n.b.	<1/25.000	1/676
Coupure Jachthaven Rosslag	1/429	1/7.813	n.b.	<1/25.000	1/400
Coupure camping Rosslag	1/379	1/11.655	n.b.	<1/25.000	1/361
Coupure Roodververij	1/509	1/31.818	n.b.	<1/25.000	1/491
Coupure Hertenerweg	1/407	1/38.000	n.b.	<1/25.000	1/396
adres Hambeek huisnr.2	1/407	1/38.356	n.b.	<1/25.000	1/396
adres Hambeek huisnr.4	1/407	1/38.356	n.b.	<1/25.000	1/396
adres Hambeek huisnr.6	1/407	1/38.356	n.b.	<1/25.000	1/396
adres Geuljanslaan 24 (Rutten)	1/407	1/38.356	n.b.	<1/25.000	1/396
Coupure Burg. Geuljanslaan	1/407	1/104.592	n.b.	<1/25.000	1/399
Demontabele wanden					
kademuren Maasstraat Ool	1/460	1/35.032	n.b.	<1/25.000	1/446
kademuren Maasstraat Ool	1/460	1/35.443	n.b.	<1/25.000	1/446
kademuren Maasstraat Ool	1/460	1/35.443	n.b.	<1/25.000	1/446
kademuren Maasstraat Ool	1/465	1/35.443	n.b.	<1/25.000	1/451
kademuren Maasstraat Ool	1/465	1/35.443	n.b.	<1/25.000	1/451
kademuren Maasstraat Herten	1/388	1/70.000	n.b.	<1/25.000	1/380
kademuren Maasstraat Herten	1/388	1/70.000	n.b.	<1/25.000	1/380
kademuren Maasstraat Herten	1/388	1/70.000	n.b.	<1/25.000	1/380
kademuren Maasstraat Herten	1/388	1/70.000	n.b.	<1/25.000	1/380
kademuren Maasstraat Herten	1/907	1/131.579	n.b.	<1/25.000	1/870
kademuren Maasstraat Herten	1/907	1/131.579	n.b.	<1/25.000	1/870
kademuren Maasstraat Herten	1/479	1/36.129	n.b.	<1/25.000	1/464
kademuren restaurant Rosslag	1/465	1/131.579	n.b.	<1/25.000	1/455
kademuren restaurant Rosslag	1/465	1/131.579	n.b.	<1/25.000	1/455
kademuren restaurant Rosslag	1/465	1/131.579	n.b.	<1/25.000	1/455
kademuren restaurant Rosslag	1/465	1/131.579	n.b.	<1/25.000	1/455
kademuren restaurant Rosslag	1/465	1/131.579	n.b.	<1/25.000	1/455
kademuren jachthaven Rosslag	1/465	1/131.579	n.b.	<1/25.000	1/455
kademuren jachthaven Rosslag	1/465	1/131.579	n.b.	<1/25.000	1/455
kademuren jachthaven Rosslag	1/465	1/131.579	n.b.	<1/25.000	1/455
kademuren jachthaven Rosslag	1/465	1/131.579	n.b.	<1/25.000	1/455
adres Geuljanslaan 24 (Rutten)	1/407	1/211.340	n.b.	<1/25.000	1/400

Tabel 23: Berekende faalkansen voor de kunstwerken van dijkkring 77



Figuur 21: Resultaat faalkansberekening Dijkkring 77

4.4.5 Resultaten dijkkring 90 – Geulle, Maastricht

In deze dijkkring is 1 demontabele wand (Waterpoort) en 4 duikers aanwezig. Van deze kunstwerken zijn de demontabele wand en twee van de vier duikers beschouwd. Van de overige kunstwerken wordt geen faalkansbijdrage verwacht.

In tabel 24 en tabel 25 zijn de faalkansen voor dijkkring 90 weergegeven en in figuur 22 zijn de faalkansen en de ligging van de beschouwde dijkvakken weergegeven. Uit de analyse blijkt dat het recent aan de huidige norm (overschrijdingsfrequentie van 1/250 per jaar) verbeterde dijkvak langs de Habitatsingel de grootste faalkans heeft voor het faalmechanisme *Overloop en Overslag*.

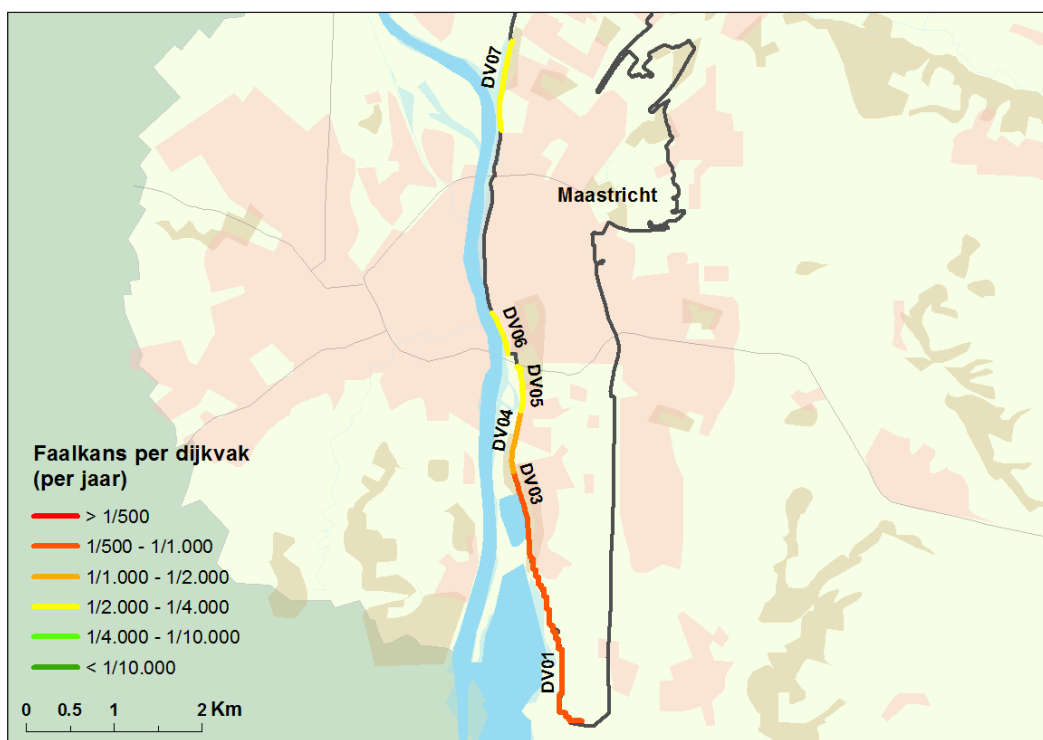
Dijkvak	Omschrijving	Faalkansen per mechanisme [per jaar]		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	Stabiliteit
DV01, Habitatsingel	Recent verbeterd, 1/250 p.j.	1/540	n.b.	1/3.000
DV02, Pietersplas	1/250 p.j.	1/960	n.b.	n.b.
DV03, Pietersplas	Tot aan camping, 1/250 p.j.	1/660	n.b.	n.b.
DV04, Pietersplas	Vanaf camping, 1/250 p.j.	1/1.200	n.b.	n.b.
DV05, Maastricht centrum	Tot aan Kennedybrug, 1/250 p.j.	1/2.000	n.b.	n.b.
DV06, Maastricht centrum	Vanaf Kennedybrug, 1/250 p.j.	1/2.200	n.b.	n.b.
DV07, Maastricht noord	Tot aan sluis Limmel, 1/250 p.j.	1/2.900	n.b.	n.b.

Tabel 24: Berekende faalkansen voor de dijken van dijkkring 90

Kunstwerk	Code Legger	Overslag/ Overloop	Betrouwbaarheid Sluiting	Onder- en achterloopsheid	Sterkte en Stabiliteit	Totaal (gecombineerd)
Demontabele wand						
Maastricht waterpoortje	-	1/11.600	1/529.250	n.b.	<1/25.000	1/8.000
Duikers						
Duiker Effluentsloot RWZI	M24.173.001	n.v.t.	1/535.000	<1/25.000	1/333	<1/25.000
Duiker Hoge Weerd	M24.173.002	n.v.t.	<1/1.000.000	<1/25.000	1/1.280	1/1.280

Tabel 25: Berekende faalkansen voor de kunstwerken van dijkkring 90

Voor de kunstwerken geldt dat de duiker Hoge Weerd maatgevend is voor wat betreft de faalkansen. Dit wordt veroorzaakt door de matige conditie waarin een gedeelte van de duiker zicht bevindt.



Figuur 22: Resultaat faalkansberekening Dijkkring 90

4.5 Vergelijking met de resultaten van de wettelijke toetsing

Uit de faalkansberekeningen volgt een beeld dat op hoofdlijnen in overeenstemming is met het beeld uit de toetsing. Het merendeel van de geselecteerde dijkvakken en mechanismen waarvoor relatief grote faalkansen zijn berekend, zijn in de derde, dan wel de verlengde derde toetsronde als onvoldoende beoordeeld.

Uit de berekeningen blijkt dat het resultaat gevoelig is voor de gekozen uitgangspunten. Zo is het bijvoorbeeld zeer bepalend voor de faalkansen voor het mechanisme macrostabiliteit binnenwaarts of het dijk materiaal overwegend zandig of meer kleiig is. Ook het wel of niet voorkomen van afdekkende lagen in het achterland is van grote invloed op de berekende faalkansen en de verkregen toetsoordelen.

Aanbevolen wordt om in voorbereidingen op de volgende wettelijke toetsronde, of in voorbereiding op een geplande dijkversterking, nader (grond)onderzoek te verrichten.

Bij de toetsing van enkele kwelschermen is gerekend met de methode Lane, waarvan bekend is dat deze vrij conservatief is. Mede daardoor zijn enkele constructies op onderloopsheid zijn afgekeurd. In de faalkansanalyses is gerekend met de Heave-methode (over een gereduceerde inheidiepte), waaruit aanmerkelijk kleinere faalkansen volgen. Opgemerkt wordt wel dat er bij de coupures en demontabele wanden twijfels ontstaan zijn over het toetsoordeel 'goed' voor onder- en achterloopsheid. De faalkansanalyse voor dijkkring 68 heeft namelijk getoond dat dit faalmechanisme hier mogelijk wel degelijk van belang zou kunnen zijn. Nader onderzoek hierna wordt dan ook aanbevolen.

Ten opzichte van de toetsoordelen (bepaald met o.a. de scoretabellen uit de Leidraad Kunstwerken) zijn de faalkansen voor de coupures en demontabele keringen die in een maatwerkanalyse zijn bepaald klein. Dit wordt met name bepaald door het feit dat de kans op herstel in de scoretabellen niet is meegenomen. Uit de maatwerkanalyse is gebleken dat de kans op herstel groot is.

5 De gevolgen van overstromingen

In dit hoofdstuk wordt een beeld gegeven van de gevolgen van overstromingen in het Maasdal. Paragraaf 5.1 beschrijft de gehanteerde aanpak. Vervolgens wordt in paragraaf 5.2 toegelicht welke breslocaties zijn beschouwd in de overstromingsberekeningen. Ten slotte worden in paragraaf 5.3 de gevolgen van overstromingen beschreven

5.1 Aanpak en uitgangspunten

De gevolgen van een overstroming zijn bepaald met de WTI2017-WAQUA model voor vijf afvoergolven bij St. Pieter [1]:

- $Q = 2.685 \text{ m}^3/\text{s}$ (herhalingstijd 25 jaar)
- $Q = 3.109 \text{ m}^3/\text{s}$ (herhalingstijd 100 jaar)
- $Q = 3.430 \text{ m}^3/\text{s}$ (herhalingstijd 250 jaar)
- $Q = 4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (herhalingstijd 1250 jaar)
- $Q = 4.230 \text{ m}^3/\text{s}$ (herhalingstijd 2.500 jaar)

In de analyses is uitgegaan van de situatie na uitvoering van de dijkversterkingen die in het kader van de Maaswerken de komende jaren zijn voorzien, conform de hiervoor overeengekomen ontwerprandvoorwaarden (dus na uitvoering rivierverruimende maatregelen).

Per dijkkring zijn in samenspraak met de beheerder één of meerdere breslocaties gedefinieerd. Verondersteld is dat op deze locaties bressen kunnen optreden voordat de waterkering faalt door *overloop* en *golfoverslag*. De kans daarop is voor de vijf dijkringen gebaseerd op de resultaten van de uitgevoerde faalkansberekeningen. Voor de overige dijkringen berusten deze kansen op beheerdersoordelen.

Bij de berekening van de gevolgen van overstromingen is rekening gehouden met het ontlastende effect van overstromingen bovenstrooms.

Gevolgen

De schade en slachtoffers zijn berekend met behulp van HIS-SSM (versie 2.5). De slachtofferberekeningen zijn gebaseerd op bevolkingsgegevens uit het jaar 2000, zoals opgenomen in de HIS-SSM versie 2.5. De schadeberekeningen zijn gebaseerd op gegevens uit 2006 zoals opgenomen in de HIS-SSM versie 2.5.

Het overstromingsgevolg is bepaald op basis van de gevolgen bij een stijgsnelheid van 1,0 m/h en een stroomsnelheid van 1,0 m/s. Dit zijn default waardes voor het berekenen van gevolgen in HIS-SSM.

Evacuatie

In de berekeningen is rekening gehouden met de kans op preventieve evacuatie door het aantal slachtoffers te berekenen voor vier deelscenario's. In tabel 26 is een overzicht gegeven van de evacuatie-deelscenario's met de bijbehorende ingeschatte conditionele kansen voor de dijkkringgebieden langs de Maas. De verwachtingswaarde van de evacuatiefractie kan worden gevonden door de evacuatiefracties te wegen met de bijbehorende conditionele kansen en ze vervolgens te sommeren. Voor alle Limburgse dijkringen is de verwachtingswaarde van de evacuatiefractie 0,76 per overstroming. Opgemerkt wordt dat deze evacuatiefracties en bijbehorende conditionele kansen ook voor de reguliere dijkkringanalyses binnen VNK2 zijn toegepast.

Evacuatie-deelscenario		Evacuatiefractie (-)	Conditionele kans (-)
Overstroming kort van tevoren verwacht of onverwacht	1. Geen evacuatie	0,00	0,10
	2. Ongeorganiseerde evacuatie	0,59	0,08
Overstroming ruim van tevoren verwacht	3. Ongeorganiseerde evacuatie	0,85	0,42
	4. Georganiseerde evacuatie	0,90	0,40

Tabel 26: Evacuatiefracties en conditionele kans voor vier verschillende evacuatie-deelscenario's

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

Opgemerkt wordt dat de toegepaste evacuatiefractie van 0,76 als conservatieve waarde beschouwd kan worden voor het gehele Maasdal, vanwege de korte afstand tot de hoge gronden en de relatief geringe overstromingsdiepten in veel dijkringen. Uit overleg met de beide beheerders blijkt de evacuatiefractie van 0,76 voor het gedeelte tot Stevensweert (Dijkkring 81) mogelijk geen conservatieve inschatting is, omdat hier de hoogwatergolf zich snel ontwikkelt (korte voorspeltijd). Echter stroomafwaarts van Stevensweert is er wellicht een wat langere voorspeltijd en is een grotere evacuatie mogelijk.

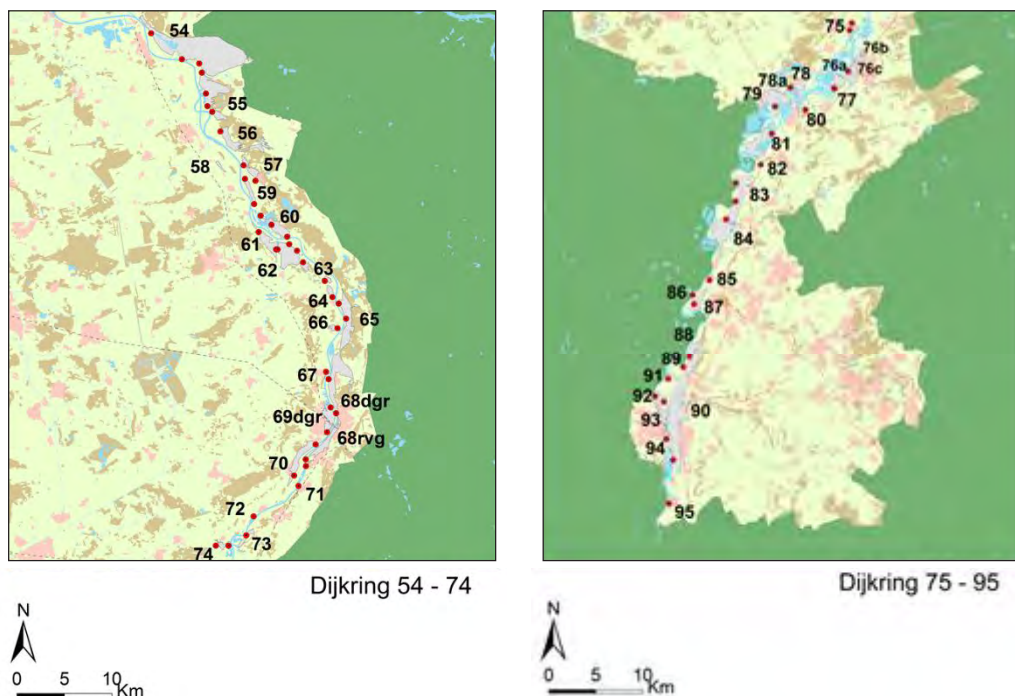
Ter vergelijking, wordt opgemerkt dat er in het kader van het Deltaprogramma Veiligheid [23] gerekend is met een ondergrens van de evacuatiefractie van 82% voor de Limburgse dijkringen (met uitzondering van de eiland-dijkringen Itteren en Borgharen, waarvoor een fractie van 30% is gehanteerd).

In deze analyse zijn de evacuatie-deelscenario's, zoals weergegeven in tabel 23, toegepast, waardoor gerekend is met een evacuatiefractie van 76%.

5.2 Bresdefinitie per dijkkring

Op basis van de resultaten van de vijf dijkringen, de dijkringen 54, 55, 69, 77 en 90, en op basis van overleg met beide betrokken beheerders zijn voor alle dijkringen de meest waarschijnlijk breslocaties vastgesteld. De breslocaties zijn weergegeven in figuur 23 en in groter formaat in Bijlage F. In Bijlage G is een overzicht van de gekozen kritieke waterstanden per breslocatie opgenomen.

Voor het bepalen van de breslocaties is de toekomstige WTI-situatie gebruikt. In het model zijn de waterkeringen op de uiteindelijk te maken hoogte gebracht conform vigerend "Ontwerpkader nog aan te leggen maaskades". Het moment van bresvorming is vastgesteld aan de hand van de huidige veronderstelde faalkansen (m.a.w. de faalkansen die nu gelden voorafgaande aan eventuele dijkverbeteringen).



Figuur 23: Overzicht breslocaties voor Maasdal Limburg

5.3 Gevolgen binnen en buiten de dijkringgebieden

Niet alleen binnen een dijkringgebied zijn schades en slachtoffers berekend, als gevolg van een overstroming door het falen van een waterkering. Ook zijn met HIS-SSM voor het gebied buiten de beschermde dijkringgebieden indicatief schades berekend. Dit zijn indicatieve schades, omdat het buitendijks gebied niet eenduidig gedefinieerd is. Aan een aantal gedeelten (bijvoorbeeld delen van oevers van de Maas, de zijrivieren en de ambitiekaart van de provincie Limburg (m.b.t. natuur), is geen schade toegekend.

De gevolgen van een overstroming zijn in het totale binnendijkse gebied van Limburg kleiner dan in het buitendijkse gebied voor herhalingstijden van de afvoergolf tot 1/1.250 per jaar. Bij een herhalingstijd van 1/2.500 per jaar zijn deze orde grootte gelijk. Tabel 27 geeft voor de vijf afvoergolven de totale schade in het binnendijkse gebied en in het buitendijkse gebied. In Bijlage H zijn voor de verschillende herhalingstijden de waterdieptenkaarten gepresenteerd.

Herhalingstijd Afvoergolf	Totale schade in miljoen euro	Schade binnendijs		Schade buitendijs	
T = 25 jaar	1.645	75	5%	1.570	95%
T = 100 jaar	2.035	305	15%	1.725	85%
T = 250 jaar	3.350	1.115	35%	2.235	65%
T = 1.250 jaar	4.915	2.220	45%	2.695	55%
T = 2.500 jaar	5.950	2.980	50%	2.975	50%

Tabel 27: Totale schade in binnen- en buitendijks gebied in Limburgs Maasdal

Uit de berekeningen blijkt dat bij de korte herhalingstijden de meeste schade zich voordoet in het buitendijks gelegen gebied. Bij langere herhalingstijden neemt de totale schade met name binnendijs sterker toe dan buitendijs. Uiteindelijk (vanaf

herhalingsjijd van 1/2.500 per jaar) is de schade buitendijks gelijk aan het binnendijks gelegen gebied.

Opgemerkt wordt dat de schades in het 'buitendijks gebied' in het stroomgebied van de Maas vermoedelijk met het HIS-SSM model te groot worden berekend. Het is namelijk bekend dat HISS-SSM bij lagere waterdiepten een overschatting van de gevolgen berekend. Om echter aan te sluiten bij de in VNK2 gebruikte schademodelen is hier dezelfde HIS-SSM versie (2.5) toegepast. Aanbevolen wordt om de gevolgen (met name voor het buitendijkse gebied) nader te analyseren.

Daarnaast wordt opgemerkt dat voor een aantal dijkringen het bodemmodel in het WAQUA-model niet dekkend is voor het totale dijkkringgebied; dat wil zeggen tot aan de hoge gronden. Voor deze gebieden is het overstromingsbeeld 'handmatig' doorvertaald naar het gehele dijkkringgebied, door het waterniveau door te zetten in het overige gedeelte van de dijkkring. Dit geldt in meer of mindere mate voor de volgende dijkringen, 54, 55, 56, 57, 66, 90, 93 en 95.

6 Overstromingsrisico

Het overstromingsrisico voor het Maasdal is berekend door per breslocatie te bepalen bij welke afvoeren vermoedelijk een bres zal ontstaan. Bij de selectie van deze afvoeren is voor de vijf dijkringen gebruik gemaakt van de resultaten van de faalkansberekeningen uit hoofdstuk 4. Voor de overige dijkringen is gebruik gemaakt van beheerdersoordelen. In paragraaf 6.1 wordt het berekende economisch risico gepresenteerd. Vervolgens wordt in paragraaf 6.2 ingegaan op het slachtofferrisico.

6.1 Economisch risico

Het economisch risico, het product van kans en schade, is het grootst in dijkkring 54 en bedraagt 1,78 miljoen euro per jaar. Een overzicht van de 11 dijkringen met het grootste economisch risico is opgenomen in tabel 28. Voor deze dijkringen is het economisch risico minimaal 0,4 miljoen euro. Een compleet overzicht van het economisch risico voor alle dijkringen in het Maasdal is opgenomen in Bijlage H.

Dijkringnummer	Dijkring	Waterschap	Economisch risico [miljoen euro per jaar]
54	Ottersum-Mook	WPM	1,78
65	Arcen	WPM	1,46
94	Maastricht-West	WRO	1,15
78	Heel	WPM	1,10
75	Buggenum	WPM	0,84
91	Itteren	WRO	0,74
74	Neer	WPM	0,68
90	Maastricht	WRO	0,67
62	Wanssum	WPM	0,64
60	Well	WPM	0,45
77	Roermond 3	WRO	0,40

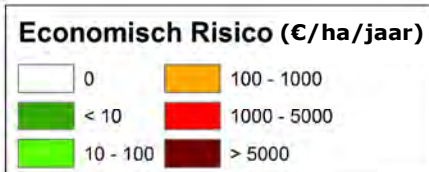
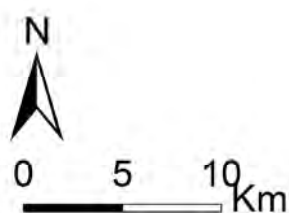
Tabel 28: De 11 dijkringen met het grootste economisch risico

In de volgende acht dijkringen is het economisch risico kleiner dan 0,01 miljoen euro, omdat de kans op overstromen van deze dijkringen kleiner is dan 1/2.500 per jaar: dijkkring 58, 76b, 78a, 80, 82, 85, 86, 87, 89, 93 en 95.

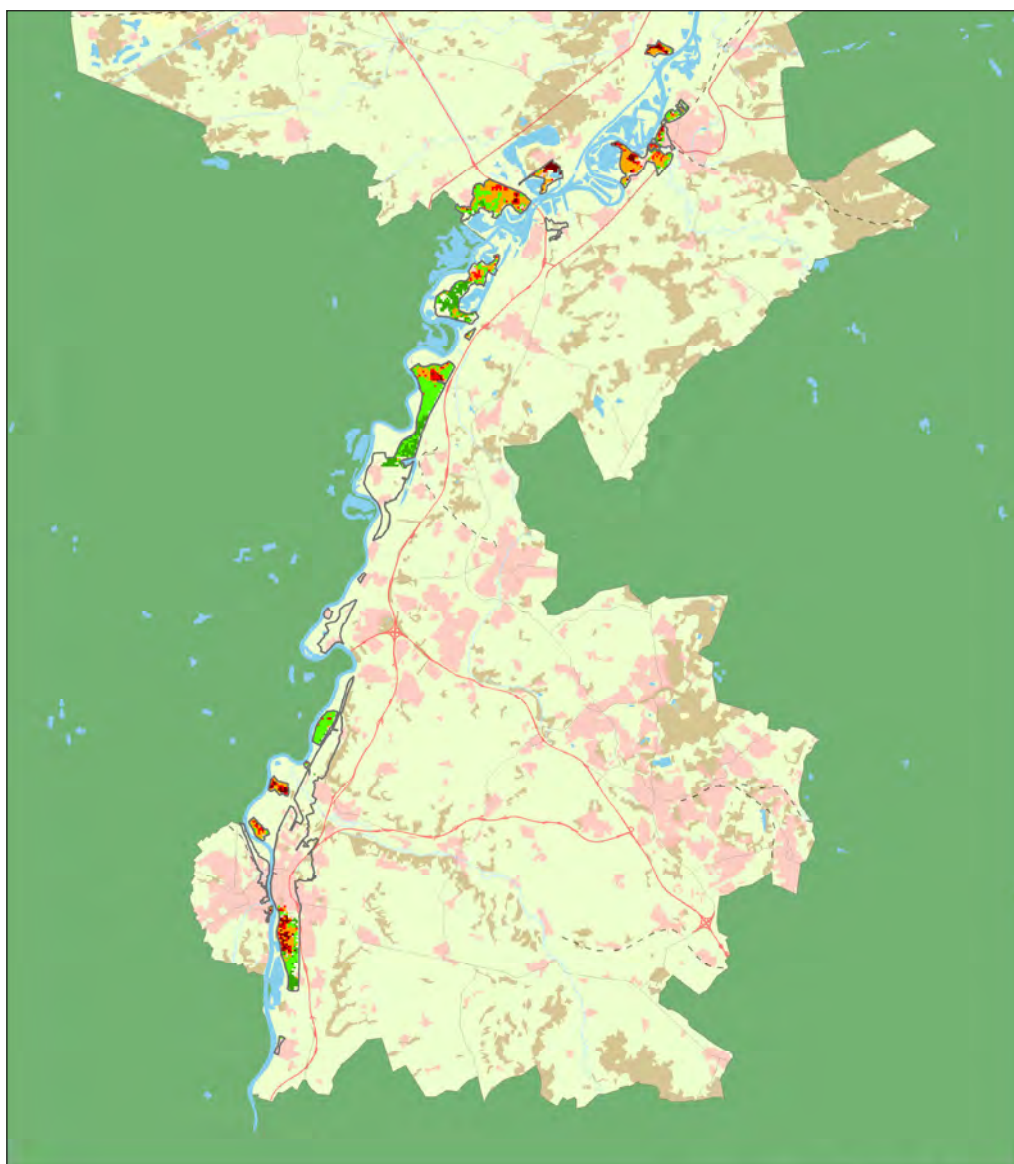
In figuur 24 en figuur 25 is de verdeling van de verwachtingswaarde van de schade over het hele Limburgse Maasdal weergegeven. De verwachtingswaarde is het grootst in de steden. Buiten de woonkernen is het economisch risico beperkt tot circa 10 - 100 euro per ha jaar. In Bijlage J en Bijlage K zijn deze figuren in een groter formaat weergegeven.



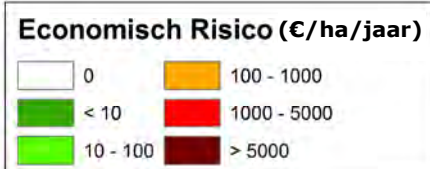
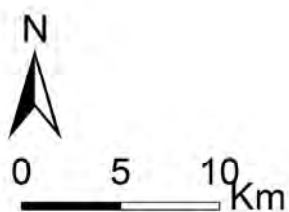
Dijkkring 54 - 74



Figuur 24: Economisch risico (dijkkring 54 t/m 74)



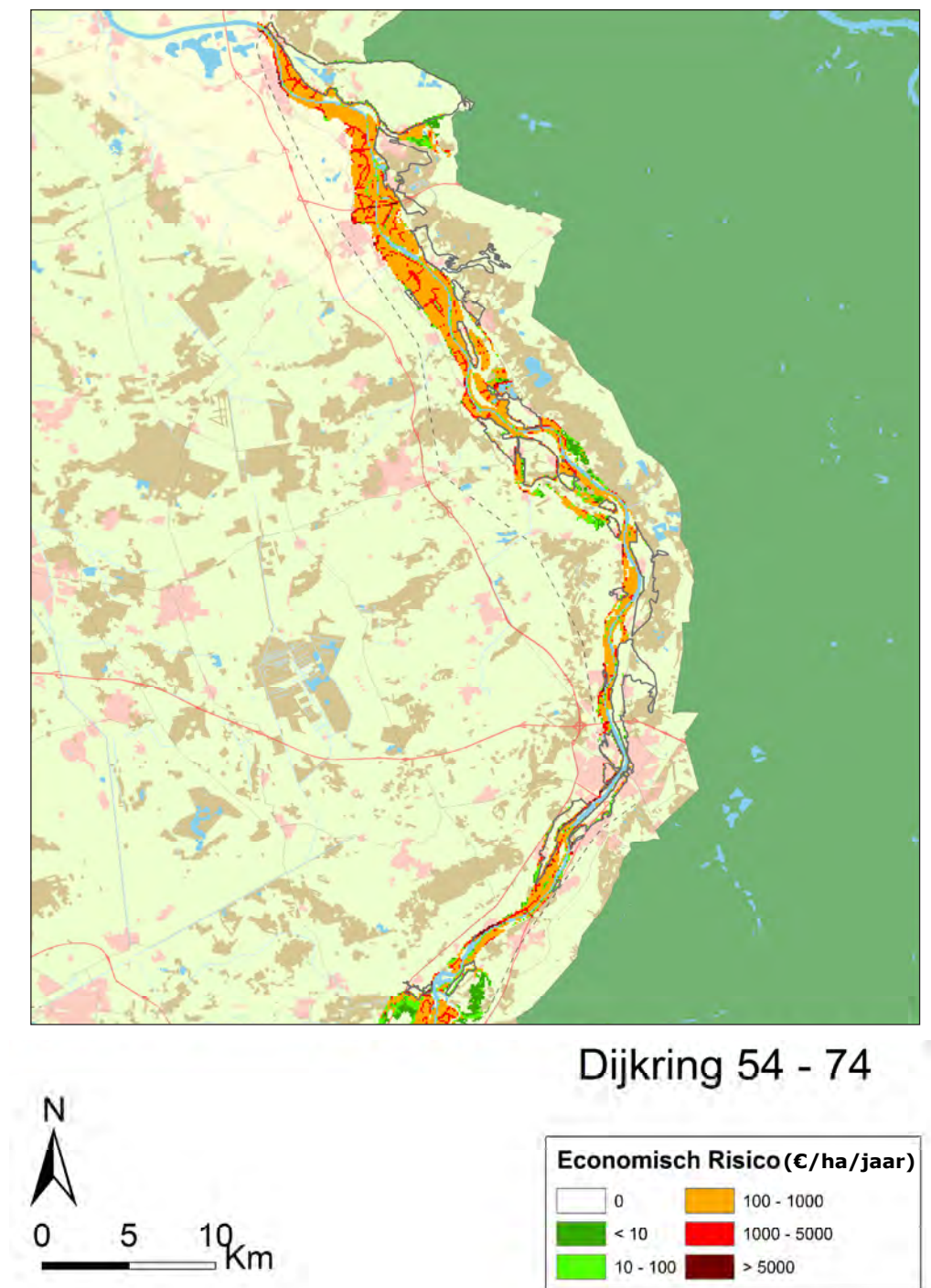
Dijkring 75 - 95



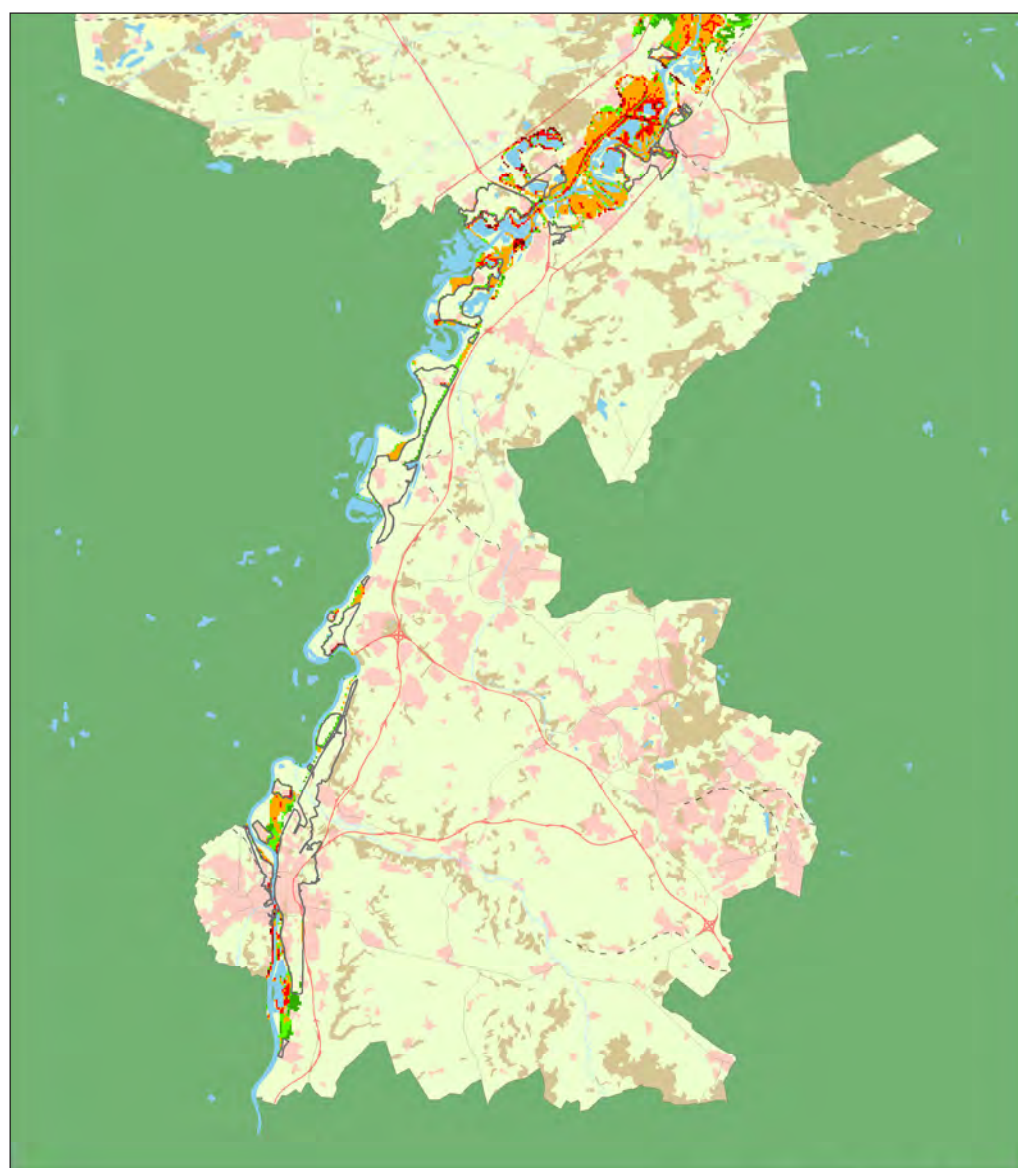
Figuur 25: Economisch risico (dijkring 75 t/m 95)

6.1.1 Economisch risico in buitendijks gebied

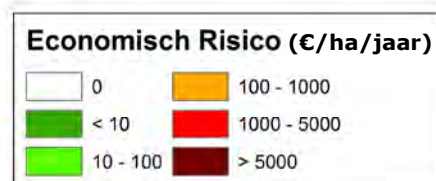
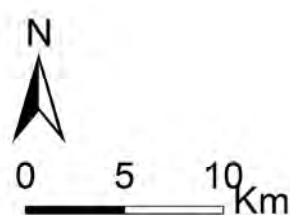
Ook voor de buitendijks gebied is het economisch risico bepaald. In figuur 26 en figuur 27 is het resultaat van deze berekening opgenomen. In Bijlage J en Bijlage K zijn deze figuren in een groter formaat weergegeven.



Figuur 26: Economisch risico in buitendijks gebied (ter hoogte van dijkkring 54 t/m 74)



Dijkkring 75 - 95

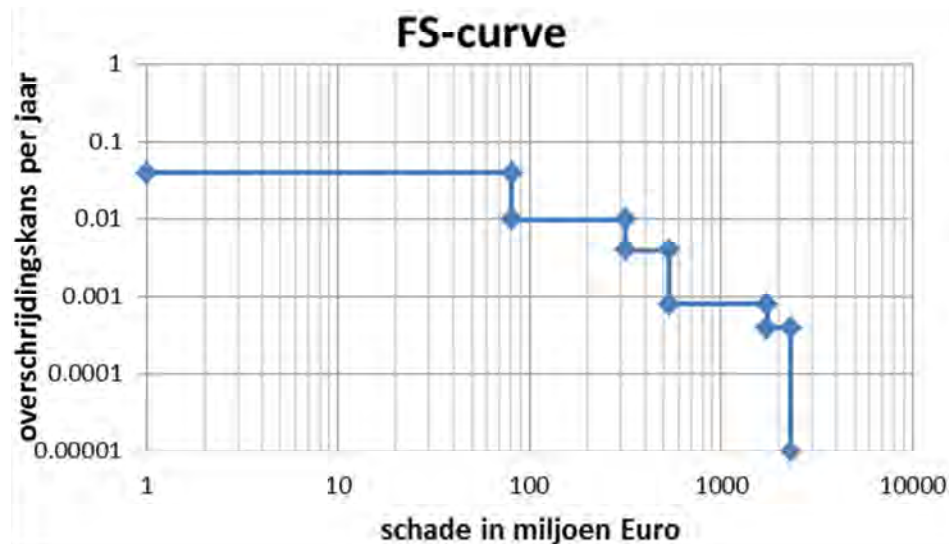


Figuur 27: Economisch risico in buitendijks gebied (ter hoogte van dijkkring 75 t/m 95)

Uit de berekeningen blijkt dat het economisch risico in het buitendijks gebied op de meeste locaties tussen de 100 en 1.000 euro per ha per jaar ligt.

FS-curve

Figuur 28 toont de FS-curve voor het binnendijkse deel van het hele Limburgse Maasdal. De overschrijdingskans van een schade groter dan 100 miljoen Euro is 1/100 per jaar. Voor een schade van meer dan 1.000 miljoen Euro is dit 1/1.250 per jaar.



Figuur 28: FS-curve

6.2 Slachtofferrisico

De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is bepaald per dijkkringgebied. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is het grootst in dijkkring 75, en bedraagt 0,04 slachtoffers per jaar (uitgaande van een stijgsnelheid van 1,0 m/h). Een overzicht van de 10 dijkkringen met de grootste slachtofferrisico's is opgenomen in tabel 29. Voor deze 10 dijkkringgebieden is het slachtofferrisico minimaal 0,01 slachtoffers per jaar. Een compleet overzicht van het slachtofferrisico voor alle dijkkringen in het Maasdal is opgenomen in Bijlage H.

Dijkkring	Dijkkringnaam	Waterschap	Slachtofferrisico [aantal per jaar]
75	Buggenum	WPM	0,04
54	Ottersum-Mook	WPM	0,04
65	Arcen	WPM	0,03
78	Heel	WPM	0,03
90	Maastricht	WRO	0,02
74	Neer	WPM	0,01
91	Itteren	WRO	0,01
60	Well	WPM	0,01
77	Roermond 3	WRO	0,01
94	Maastricht West	WRO	0,01

Tabel 29: Top 10 dijkkringen met de grootste verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers.

Het slachtofferrisico kan ook worden weergegeven in het plaatsgebonden risico (PR) of lokaal individueel risico (LIR) en het groepsrisico (FN-curve).

Het plaatsgebonden risico is de kans dat een persoon die zich gedurende een jaar

continu op dezelfde plek bevindt, ook op die locatie slachtoffer wordt van een overstroming. Het effect van evacuatie wordt bij de berekening van het plaatsgebonden risico niet meegenomen. Het PR is een gebiedseigenschap die wordt bepaald door de waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid die bij een overstroming op de bewuste plek kunnen ontstaan plus de kans dat de locatie wordt getroffen.

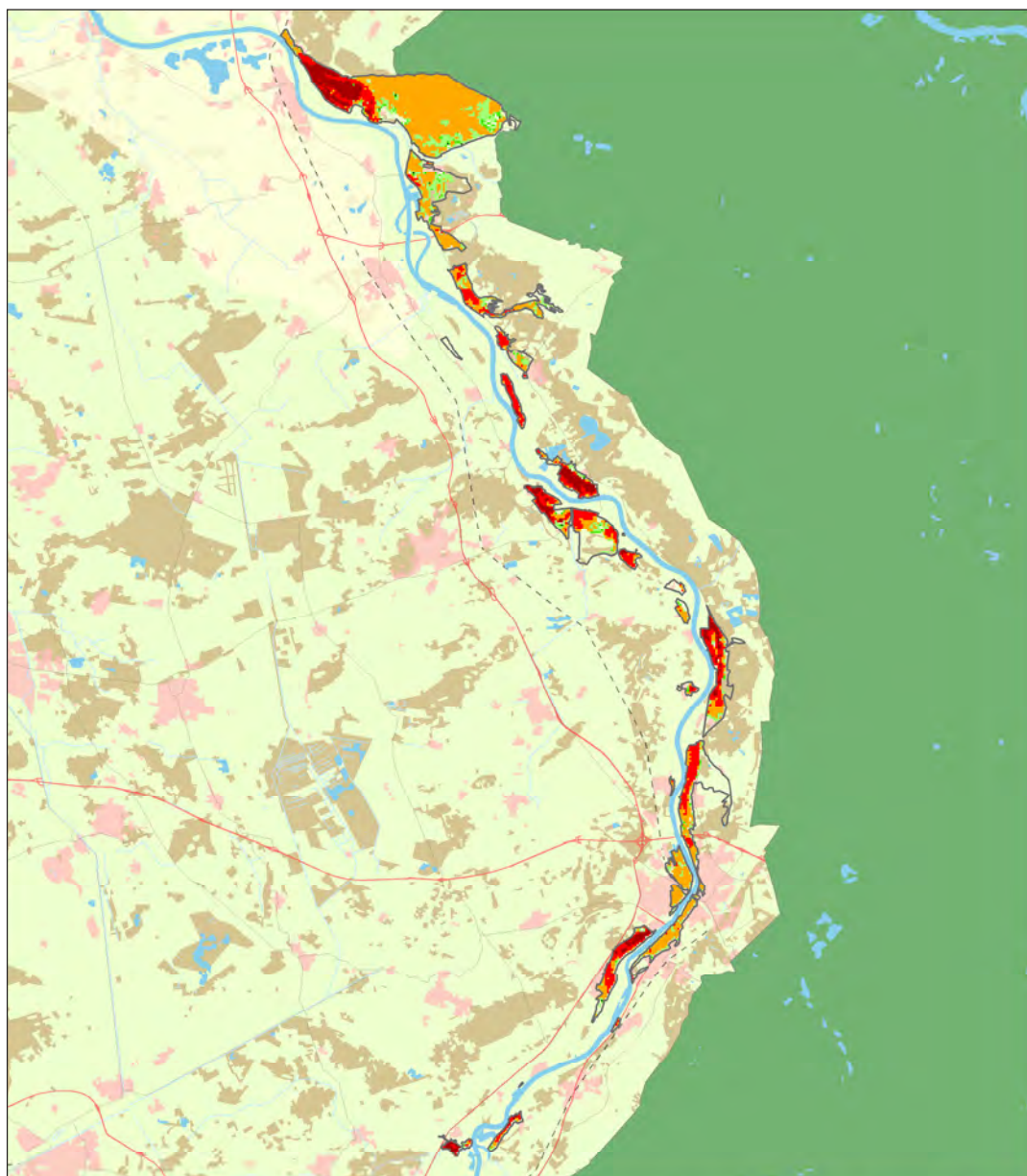
Het Plaatsgebonden risico is in een groot deel van de dijkkringgebieden groter dan 1/100.000 per jaar, op enkele plaatsen is het groter dan 1/10.000 per jaar. figuur 29 en figuur 30 geeft een overzicht van het plaatsgebonden risico in het Limburgse Maasdal.

Het berekende LIR is groter dan 1/100.000 per jaar in de volgende dijkkringgebieden van Waterschap Peel en Maasvallei: 54, 57, 59 t/m 62, 65, 66, 70, 73 t/m 75, 78 en 79. In het beheergebied van Waterschap Roer en Overmaas geldt dit voor de dijkringen 77 en 91. Figuur 29 en figuur 30 geeft een overzicht van het plaatsgebonden risico (boven) en het lokaal individueel risico (onder) in het Limburgse Maasdal. In Bijlage K zijn deze figuren in een groter formaat weergegeven.

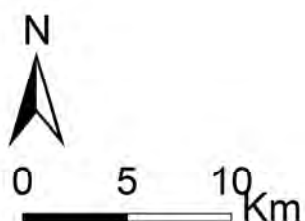
Bij het lokaal individueel risico (LIR) wordt het effect van evacuatie wel meegenomen. Een verwachtingswaarde van de evacuatiefractie van 0,76 (-) is in deze analyse gehanteerd. Dit betekent dat het LIR een factor 4,2 kleiner is dan het plaatsgebonden risico ($1/(1-0,76) = 4,2$). Het effect van evacuatie is dus groot op het berekende LIR.

Opgemerkt wordt dat de toegepaste evacuatiefractie van 0,76 als een conservatieve waarde beschouwd kan worden voor het gehele Maasdal. Vanwege de korte afstand tot de hoge gronden en de relatief geringe overstromingsdiepten kan mogelijk in een aantal dijkringen een grotere evacuatiefractie worden gehaald. Echter in een aantal dijkringen, waaronder de eilanddijkringen Itteren en Borgharen en mogelijk ook de andere dijkringen stroomopwaarts van Stevensweert (Dijkring 81) is het niet de verwachting dat de evacuatiefractie kan worden vergroot en wellicht zelfs zou moeten worden verkleind.

Plaatsgebonden risico in de dijkringen 54 t/m 74



Dijkring 54 - 74



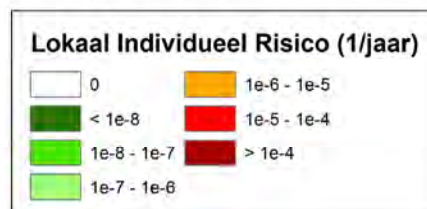
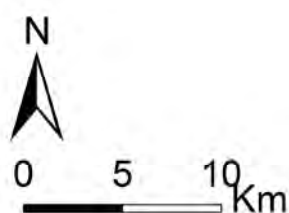
Plaatsgebonden Risico (1/jaar)

0	1e-6 - 1e-5
< 1e-8	1e-5 - 1e-4
1e-8 - 1e-7	> 1e-4
1e-7 - 1e-6	

Lokaal individueel risico in de dijkringen 54 t/m 75

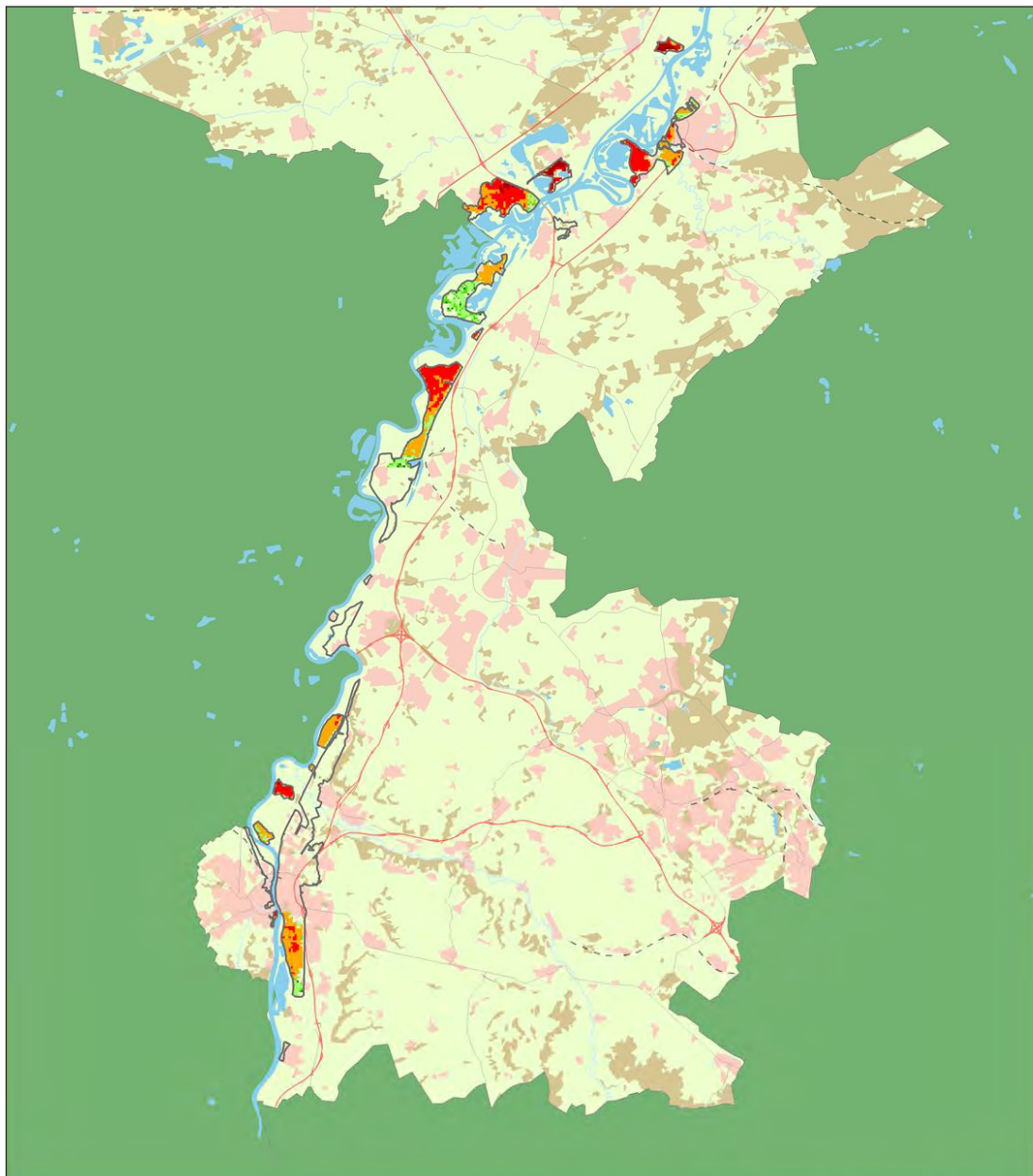


Dijkkring 54 - 74

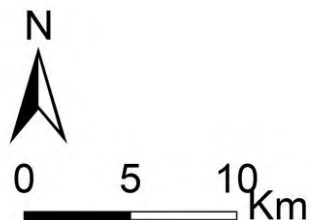


Figuur 29: Plaatsgebonden risico (voorgaande pagina) en Lokaal Individueel Risico (deze pagina) voor dijkkring 54-74

Plaatsgebonden risico in de dijkringen 75 t/m 95



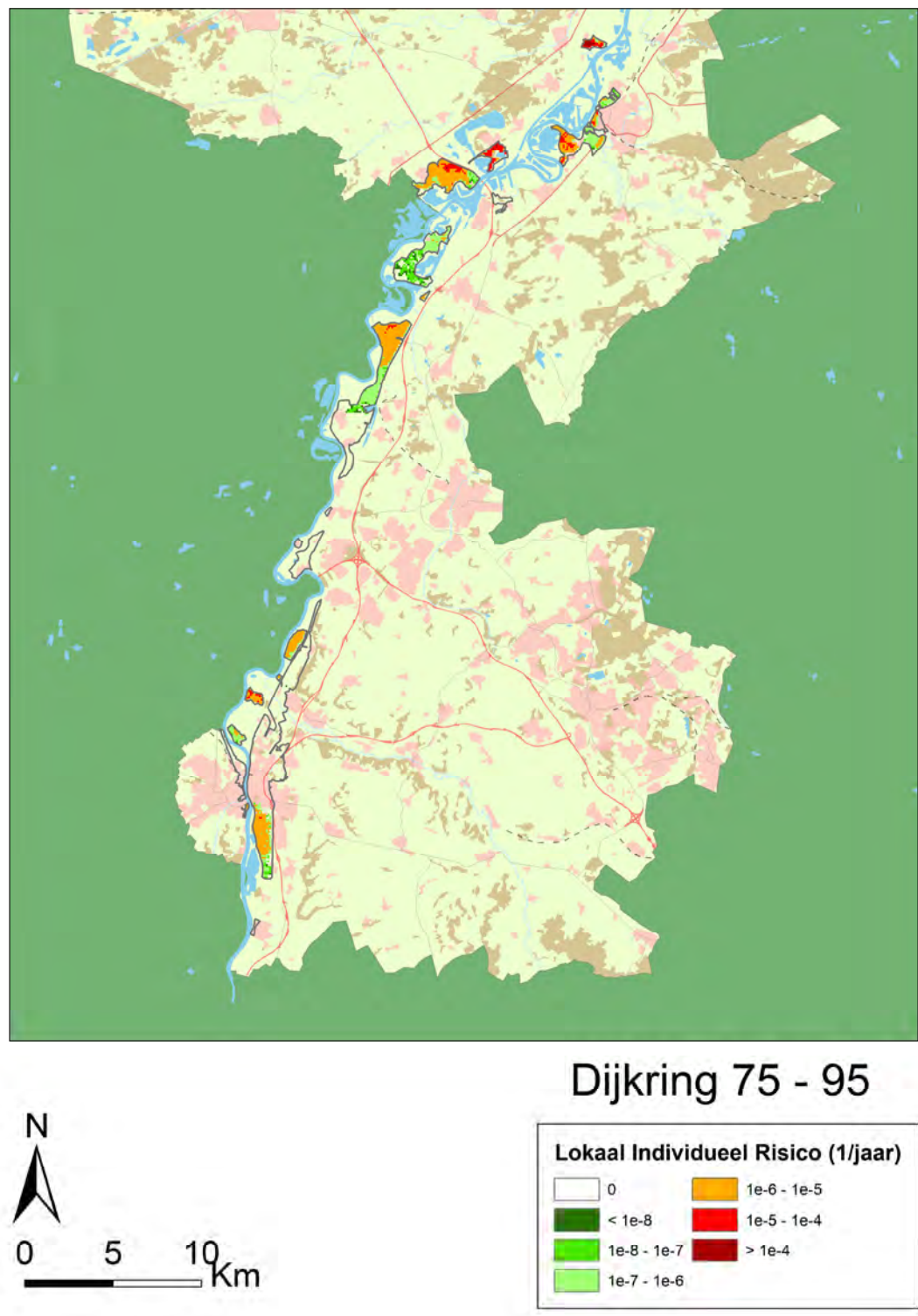
Dijkkring 75 - 95



Plaatsgebonden Risico (1/jaar)

0	1e-6 - 1e-5
< 1e-8	1e-5 - 1e-4
1e-8 - 1e-7	> 1e-4
1e-7 - 1e-6	

Lokaal individueel risico in de dijkringen 75 t/m 95

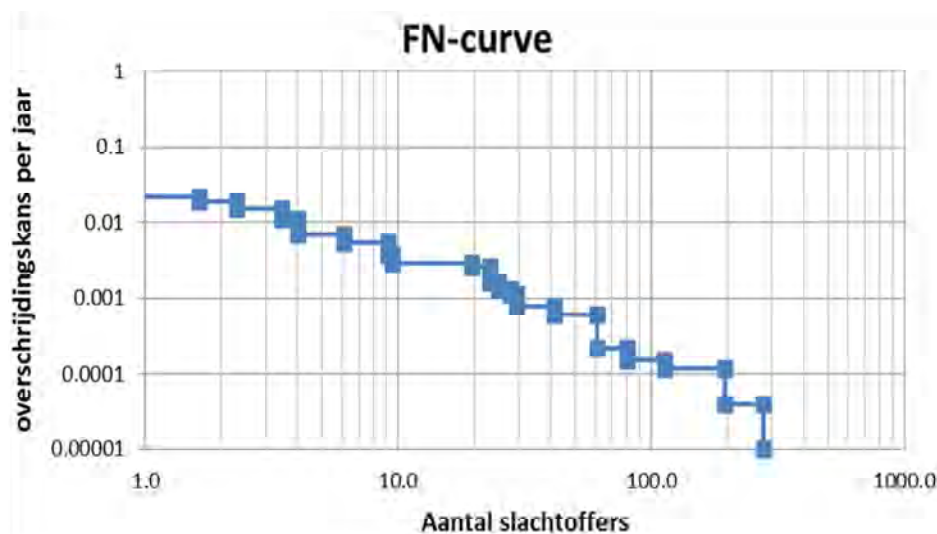


Figuur 30: Plaatsgebonden risico (vorige pagina vorige boven) en Lokaal Individueel Risico (onder) voor dijkkring 75-95

Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de uit te voeren dijkversterkingen, die gepland staan voor de zogenaamde 1/50^e keringen (de keringen die worden versterkt in het kader van de Maaswerken) voor een groot aantal dijkkringgebieden noodzakelijk zijn om aan de toekomstige veiligheidseisen te voldoen

Groepsrisico (FN-curve)

Het groepsrisico geeft de kans op een ongeval met N of meer slachtoffers en wordt vaak weergegeven in een zogenaamde FN-curve. In figuur 31 is de FN-curve van het hele Limburgse Maasdal weergegeven. In de berekening van het groepsrisico is het effect van evacuatie meegenomen. Uit de FN-curve blijkt dat de kans op meer dan 10 slachtoffers gelijk is aan circa 1/250 per jaar.



Figuur 31: Overschrijdingskansen van het aantal slachtoffers (FN-curve)

6.3 Samenvatting van het overstromingsrisico

In *1 in deze slachtofferaantallen is de verwachtingswaarde van de evacuatie meegenomen

tabel 30 is een getalsmatige samenvatting van het overstromingsrisico opgenomen.

Het economische risico is in binnendijkse gebied van het Limburgse Maasdal circa 12 miljoen euro per jaar. In het buitendijkse gebied van het Limburgse Maasdal is het economisch risico circa 67 miljoen euro per jaar. Dit betekent dat het economisch risico in het buitendijkse gebied ongeveer 5 keer groter is dan in het binnendijkse gebied. Dit verschil wordt met name veroorzaakt doordat de berekende overstromingsschade bij kleine Maasafvoeren (waterstanden met een kans van voorkomen van 1/250 per jaar of frequenter) in het buitendijks gebied circa 5 tot 20 keer groter is dan in het binnendijkse gebied.

Bij een Maasafvoer met een kans van voorkomen van 1/1.250 of 1/2.500 per jaar is de binnendijkse schade orde grootte gelijk aan de buitendijkse schade.

Daarbij moet worden opgemerkt dat de schades in het 'buitendijks gebied' in het stroomgebied van de Maas die worden berekend met het HIS-SSM model (v2.5) waarschijnlijk te groot zijn. Vanwege de consistentie met VNK2 zijn echter dezelfde schademodelen toegepast. Aanbevolen wordt om de gevolgen (met name voor het buitendijkse gebied) nader te analyseren.

Het slachtofferrisico is alleen inzichtelijk gemaakt voor het binnendijkse gebied. In het buitendijkse gebied stijgt het water langzaam, waardoor er veel tijd is om preventief te

evacuëren. Het is zeer waarschijnlijk dat meer dan 95% van de inwoners via preventieve of verticale evacuatie een veilige plek kan bereiken. Het slachtoffer risico in het binnendijkse gebied van het Limburgse Maasdal is ongeveer 0,2 slachtoffer per jaar. Deze verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is bepaald onder de aanname dat het water met ongeveer 1,0 m/uur stijgt. Een overstroming bij een afvoer die 1/25 per jaar voorkomt vallen er naar verwachting minder dan 5 slachtoffers, bij een afvoer van 1/250 per jaar zijn dit er circa 15 en bij een afvoer van 1/2.500 per jaar zijn dit circa 65 slachtoffers.

		Binnendijks	Buitendijks
Economisch risico	Verwachtingswaarde economische schade [M€ per jaar]	12,4	67
	Economische schade bij een overstroming 1/25 per jaar [M€]	75	1.570
	Economische schade bij een overstroming 1/250 per jaar [M€]	1.115	2.235
	Economische schade bij een overstroming 1/2.500 per jaar [M€]	2.980	2.975
Slachtoffer-risico	Verwachtingswaarde aantal slachtoffers [per jaar]	0,2	* (niet bepaald)
	Aantal slachtoffers bij een overstroming 1/25 per jaar [per jaar] ^{*1}	< 5	
	Aantal slachtoffers bij een overstroming 1/250 per jaar [per jaar] ^{*1}	15	
	Aantal slachtoffers bij een overstroming 1/2.500 per jaar [per jaar] ^{*1}	65	

^{*1} In deze slachtofferaantallen is de verwachtingswaarde van de evacuatie meegenomen

Tabel 30: Samenvatting van het overstromingsrisico

De overlijdenskans van een individu per locatie, inclusief het effect van preventieve evacuatie (LIR) is groter dan 1/100.000 per jaar in de volgende dijkkringgebieden van Waterschap Peel en Maasvallei: dijkkring 54, 57, 59 t/m 62, 65, 66, 70, 73 t/m 75, 78 en 79. In het beheergebied van Waterschap Roer en Overmaas is dit het geval in dijkkringen 77 en 91.

7 Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk beschrijft de conclusies en aanbevelingen die volgen uit de analyse, waarin de overstromingsrisico's voor het gehele Maasdal in Limburg is beschouwd. De conclusies en aanbevelingen betreffen zowel de beschikbaarheid van gegevens, de gevolgen, als het overstromingsrisico. Ook wordt aangegeven in welke mate deze analyse kan helpen in de prioritering van de verbeteropgaven in de nabije toekomst.

7.1 Conclusies

7.1.1 *Conclusies t.a.v. de berekende faalkansen (vijf dijkkringen)*

- De berekende overstromingskansen voor de vijf berekende dijkkringen, voor zowel dijken als kunstwerken, sluiten in het algemeen goed aan op de resultaten van de veiligheidstoetsing, zoals is uitgevoerd in de derde en verlengde derde toetsronde.
- Voor de berekende dijkkringen is de overstromingskans groter dan 1/100 per jaar. De berekende overstromingskans is de kans dat zich ergens achter de categorie a-kering een overstroming voordoet.

7.1.2 *Conclusies t.a.v. faalkansanalyse demontabele keringen (vijf dijkkringen)*

- Uit de uitgevoerde analyse, na aanleiding van de afgeleide methode voor de bepaling van de faalkansanalyse voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiten, wordt het volgende geconcludeerd:
 - De kans op falen van het deelfaalmechanisme alarmering is verwaarloosbaar klein;
 - De grootste risico's zitten in de deelfaalmechanismen mobilisatie en technisch falen;
 - Het creëren van hersteltijd, verkleint de faalkans van het systeem;
 - De kans op herstel kan vergroot worden door vooraf beheersmaatregelen te treffen.
- De met deze analyse bepaalde faalkansen op kunstwerkniveau zijn beduidend kleiner dan de faalkansen als deze bepaald zouden zijn aan de hand van de scoretabellen uit de Leidraad Kunstwerken [2003]. Hierbij moet bedacht worden dat de kans op herstel van een falende sluiting in de scoretabellen van de Leidraad Kunstwerken niet is meegenomen.
- Hoewel de faalkans voor kunstwerken (demontabele keringen) verlaagd is door de kans op herstel mee te nemen zullen een aantal kunstwerken (en in het bijzonder het totaal aantal kunstwerken per dijkkring) mogelijk niet voldoen aan de nieuwe norm. Mogelijk kan op basis van afhankelijkheden tussen de kunstwerken onderling een optimalisatie van de faalkans worden verkregen. Ook zouden aanpassingen aan de kunstwerken (bv. aanpassing in het OKP en/of reduceren van het aantal demontabele keringen) kunnen leiden tot een optimalisatie van de faalkans.

7.1.3 *Conclusies t.a.v. de gevolgen van overstromingen*

- De schade en vooral het aantal slachtoffers van overstromingen zijn langs de Maas relatief beperkt. Dit komt doordat zich langs de Maas geen relatief diepe polders bevinden, zoals dat in bijvoorbeeld Zuid-Nederland wel het geval is.
- Ook bij zeer extreme afvoeren, waarbij een relatief groot gebied overstroomt, blijft de economische schade in het Maasdal beperkt tot circa 3 miljard euro en vallen maximaal ongeveer 65 slachtoffers.

7.1.4 *Conclusies t.a.v. het overstromingsrisico*

- De verwachtingswaarde van de economische schade is bepaald per dijkkring. Het economisch risico is het grootst in dijkkring 54 en bedraagt ongeveer 1,8 miljoen euro per jaar. Het economisch risico is zeer klein in dijkringen 78a, 80, 85, 86, 87 en 93. Dit wordt veroorzaakt door de relatief kleine overstromingskansen en de relatief kleine gevolgen van overstromingen, onder meer door lokaal forse waterstandsverlagingen door rivierverruiming.
- De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is bepaald per dijkkringgebied. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is het grootst in dijkkring 75, en bedraagt ongeveer 0,04 slachtoffers per jaar.
- Het LIR is groter dan 1/100.000 per jaar in de volgende dijkkringgebieden van Waterschap Peel en Maasvallei: 54, 57, 59 t/m 62, 65, 66, 70, 73 t/m 75, 78 en 79. In het beheergebied van Waterschap Roer en Overmaas is dit het geval in dijkringen 77 en 91. Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat inclusief de in de nabije toekomst uit te voeren dijkversterkingen, conform ontwerpuitgangspunten van Maaswerken, een groot aantal dijkkringgebieden niet aan het vereiste basisveiligheidsniveau zal worden voldaan. Aanvullende maatregelen (bv. dijkverbetering of inzetten op evacuatie) zijn hiervoor benodigd.

7.2 **Aanbevelingen**

7.2.1 *Aanbevelingen t.a.v. de prioritering van maatregelen*

- Indien maatregelen in het Limburgse Maasdal worden geprioriteerd op basis van het economisch risico, verdient dijkkring 54 de hoogste prioriteit. Indien vanuit het oogpunt van het LIR verdienen dijkringen 54, 57, 59 t/m 62, 65, 66, 70, 73 t/m 75, 78 en 79 (voor WPM) en de dijkringen 77 en 91 (voor WRO) prioriteit. Hier wordt het basisveiligheidsniveau van een LIR van 10^{-5} per jaar (met het uitgangspunt van een evacuatiefractie van 76%) namelijk overschreden. Het LIR van 10^{-5} kan worden bereikt door het uitvoeren van verbetermaatregelen, maar ook door aandacht aan evacuatie te besteden. Zo wordt bij het realiseren van een evacuatiefractie van 88% het LIR met een factor 2 gereduceerd.
- Aanbevolen wordt om een versterking vooraf te laten gaan van een verkenningsfase waarin de opgave beter in beeld wordt gebracht, mede op basis van nader grondonderzoek.

7.2.2 *Aanbevelingen t.a.v. gegevensinwinning*

- Aanbevolen wordt om op basis van bijvoorbeeld een groot aantal sonderingen met kleefmeting de verschillende grondlagen in beeld te brengen bij de dijkvakken waar de macrostabiliteit een aandachtspunt vormt. Op basis van deze sonderingen kan meer inzicht verkregen worden in het materiaal van de kern van de waterkeringen en de deklagen. In het geval de dijk uit zand of overwegend zandig materiaal bestaat, is nader onderzoek wellicht niet nodig, omdat de sterkte-eigenschappen hiervan relatief goed bekend zijn. Indien de kern uit homogene klei en/of humeuze lagen bestaat is het zinvol om daarvan middels boringen monsters van te nemen en deze te beproeven in het laboratorium. Gezien de ontwikkelingen in het WTI2017 verdient het de aanbeveling om van deze grondlagen ongedraineerde sterkteparameters in het laboratorium te bepalen. Met deze waarden kan aansluiting bereikt worden met de in het WTI2017 voorgestelde werkwijze om op basis van het Critical State Soil Model (CSSM) de stabiliteit van dergelijke dijken te beoordelen.

-
- Voor de dijkvakken die gevoelig zijn voor het faalmechanisme opbarsten en piping verdient het aanbeveling om de ondergrond (onder de dijk, het voor- en achterland) beter in beeld te krijgen door het uitvoeren van sonderingen en/of boringen. Vermoedelijk is op diverse locaties sprake van een zogenaamde zand-op-zand-situatie, waarbij het mechanisme niet kan optreden. Is dit niet het geval, dan kan op basis het uitgevoerde onderzoek een beeld worden verkregen van de aanwezig intrede- en uittredepunten en de dikte van de aanwezige deklagen. Ook kan op basis van een aantal uit te voeren zeefanalyses een beeld van de doorlatendheden en de kenmerkende korreldiameter (d_{70}) worden verkregen.

7.2.3 Aanbeveling t.a.v. demontabele keringen

- Het belangrijkste risico dat uit de verschillende sessies, die gehouden zijn rondom de faalkansanalyse van demontabele keringen, naar voren is gekomen, is het risico van diefstal van een reeds geplaatste kering. Echter dit risico valt buiten de betrouwbaarheid van de sluiting, immers de kering is al succesvol gesloten. Het risico is als significant bestempeld door beide waterschappen. Aanbevolen wordt dan ook om hiervoor passende beheersmaatregelen te treffen.
- Methode voorleggen aan andere waterschappen, welke ook demontabele wanden en/of een groot aantal coupures hebben.

7.2.4 Aanbevelingen t.a.v. de modellering

- In deze studie zijn de gevolgen berekend met het programma HIS-SSM (versie 2.5). Met deze versie worden de schades en slachtoffers in gebieden met zeer beperkte overstromingsdiepten, die veelvuldig voorkomen in het Maasdal, mogelijk overschat. Er zijn andere modellen in ontwikkeling, waarmee mogelijke passendere schattingen van schades en slachtoffers verkregen kunnen worden. Aanbevolen wordt om deze dan aanvullend te beschouwen. Daarnaast wordt het aanbevolen om een vergelijking te maken met HIS-Maas (schadefunctie ontwikkeld op basis van de gevolgen na het hoogwater in 1993 en 1995). Voor de prioritering van maatregelen heeft niet noodzakelijkerwijs consequenties, wanneer de gevolgen in de verschillende dijkkringen in gelijk mate zouden wijzigen.
- Uit de afgeleide hydraulische randvoorwaarden op basis van het WTI-model is voor vijf terugkeertijden de waterstand per rivierkilometer afgeleid. Opgemerkt wordt dat er in het kader van het WTI2017 mogelijk nog wijzigingen in dit model worden doorgevoerd. Deze wijzigingen hebben mogelijk effect op de waterstanden. Daarom wordt aanbevolen om na het uitkomen van de officiële databases een vergelijking te maken met de databases die in deze studie zijn gebruikt.

Bijlage A Literatuur

- [1] Agtersloot, 2015, VNK Limburg, overstromingsmodellering Maas – WAQUA-simulaties van overstromingsscenario's, P0107.2, Agtersloot Hydraulisch Advies, 19 augustus 2015
- [2] VNK2, 2015-01: Deel A: Achtergrondrapport – rapportage faalkansen WPM, Veiligheid van Nederland in Kaart 2, 28-06-2015, definitief.
- [3] VNK2, 2015-02: Deel B: Achtergrondrapport – rapportage faalkansen WRO, Veiligheid van Nederland in Kaart 2, 22-04-2015, definitief.
- [4] VNK2, 2015-03: Deel C: memo: Demontabele keringen Limburg – faalkansen VNK en opmaat WT1207, Veiligheid van Nederland in Kaart 2, M2014-03-03-4, 25-06-2015.
- [5] VNK2, 2015-04: Deel D-1: Verkenningnotitie kunstwerken dijkkring 54 – inschatting risico's kunstwerken dijkkring 54, Veiligheid Nederland in Kaart 2, 17-09-2015, definitief-02.
- [6] VNK2, 2015-05: Deel D-2: Verkenningnotitie kunstwerken dijkkring 55 – inschatting risico's kunstwerken dijkkring 55, Veiligheid Nederland in Kaart 2, 17-09-2015, definitief-02.
- [7] VNK2, 2015-06: Deel D-3: Verkenningnotitie kunstwerken dijkkring 69 – inschatting risico's kunstwerken dijkkring 69, Veiligheid Nederland in Kaart 2, 17-09-2015, definitief-02.
- [8] VNK2, 2015-07: Deel D-4: Verkenningnotitie kunstwerken dijkkring 77 – inschatting risico's kunstwerken dijkkring 77, Veiligheid Nederland in Kaart 2, 17-09-2015, definitief-02.
- [9] VNK2, 2015-08: Deel D-5: Verkenningnotitie kunstwerken dijkkring 90 – inschatting risico's kunstwerken dijkkring 90, Veiligheid Nederland in kaart 2, 17-09-2015, definitief-02.
- [10] VNK2, 2012, Overstromingsrisico Dijkkring 65 Arcen, Veiligheid Nederland in kaart 2, HB 1838755, 29-11-2012, definitief
- [11] VNK2, 2014, Overstromingsrisico Dijkkring 68 Venlo, Velden, Veiligheid Nederland in Kaart 2, HB 2622447, oktober 2014, definitief
- [12] VNK2, 2013, Overstromingsrisico Dijkkring 87: Meers, Veiligheid Nederland in Kaart 2, HB 1838758, 07-12-2012, definitief
- [13] Rijkswaterstaat-Waterdienst, 2010, Van Ruwe Data tot Overstromingsrisico. HB-nummer: RWS-858538, 25 november 2010.
- [14] Steenbergen, H.M.G.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M., Koster, T., 2008, Theoriehandleiding PC-Ring versie 5.0. Deel A: Mechanisatiebeschrijvingen, 29-02-2008, TNO.
- [15] Steenbergen, H.M.G.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M., 2003, Theoriehandleiding PC-Ring, Versie 4.0, Deel B: Statistische modellen, april 2003, TNO.

-
- [16] Steenberg, H.M.G.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M., 2003, Theoriehandleiding PC-Ring, Versie 4.0, Deel C: Rekentechnieken, april 2003, TNO.
- [17] Maaskant, B. et al. 2009, Evacuatieschattingen Nederland. PR1718.10. HKV LIJN IN WATER, juli 2009.
- [18] VNK2, 2009, Conditionele kansen en evacuatiefracties binnen VNK2 Memorandum, oktober 2009.
- [19] ENW. 2010, Piping. Realiteit of rekenfout?, januari 2010.
- [20] Kok, M., et al., 2004, Standaardmethode2004 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen, DWW-2005-005, HKV LIJN IN WATER, november 2004.
- [21] RWS, 1994, De Maas slaat toe ... - Verslag hoogwater Maas december 1993; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, directie Limburg, 1994
- [22] Agtersloot / Bouwmeester, 2014, 5^e generatie Baseline-schematisaties en WAQUA-modellen Maas 2014, Agtersloot Hydraulisch Advies, Anneke de Joode – rivierkundig advies, GeoSpace, Rura-Arnhem, P0040.14, 8 september 2014, definitief, versie 2.3
- [23] HKV, 2013, Evacuatieschattingen Nederland – addendum, HKV-lijn in water, i.o.v. Rijkswaterstaat WVL, PR2753.10, december 2013

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 waterkeringbeheerders wordt beheerd.

Bekleding

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

Belasting

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

Benedenrivierengebied

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

Berm

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

Binnentalud

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

BKL

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

Bovenrivierengebied

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

Bres

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

Buitentalud

Hellend vlak van het dijklichaam aan de kerende zijde.

Buitenwater

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

Decimeringhoogte

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

Dijkkring

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

Dijkkringgebied

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

Dijkkringsegment

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

Dijkvak

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

Duin

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

Duinafslag

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

Faalmechanisme

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

Falen

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

Gemiddelde waarde van een stochast

De verwachtingswaarde (μ) van een stochast.

Gevolgenmatrix

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

Golfoploop

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

Golfoverslag

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

Grensprofiel

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

Grenstoestand

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

Groepsrisico

Het groepsrisico beschrijft de kansen op overschrijding van bepaalde slachtofferaantallen.

JARKUS

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

Kansdichtheidfunctie

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

Karakteristieke waarde

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

Kruin

De strook tussen buitenkruinlijn en binnenkruinlijn.

Kruinhoogte

De hoogte van de buitenkruinlijn.

Kwel

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

Kwelsloot

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

Kwelweg

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

Lengte-effect

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

Lokaal individueel risico (LIR)

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

Macrostabiliteit

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

Marsroute

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

MKL

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

Modelfactor

Een factor die onzekerheden in de modellering tot uitdrukking brengt.

NAP

Normaal Amsterdams Peil.

Ontwerppunt

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

Opbarsten

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

Opdrijven

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

Overloop

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

Overschrijdingsfrequentie

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

Overschrijdingskans

De kans dat het toetspeil wordt bereikt of overschreden.

Overstromingskans

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

Overstromingsrisico

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

Overstromingsberekening

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

Overstromingsscenario

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

PC-Ring

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

PC-ViNK

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

Plaatsgebonden risico (PR)

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

Piping

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

Primaire waterkering

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

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

Reststerkte

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

Ringdeel

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

RisicoTool

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

Scenariokans

De kans op een overstromingsscenario.

Strijklengthe

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 de reguliere VNK2-analyse. Door toepassing van het WAQUA-model en de modellering van bressen in dat in de risicoanalyse Maasdal Limburg wel meegenomen.

Teen

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

Variatiecoëfficiënt (V)

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

Veiligheidsnorm

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

Verhang

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

Verval

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

Verwachtingswaarde van een stochast

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

Voorland

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

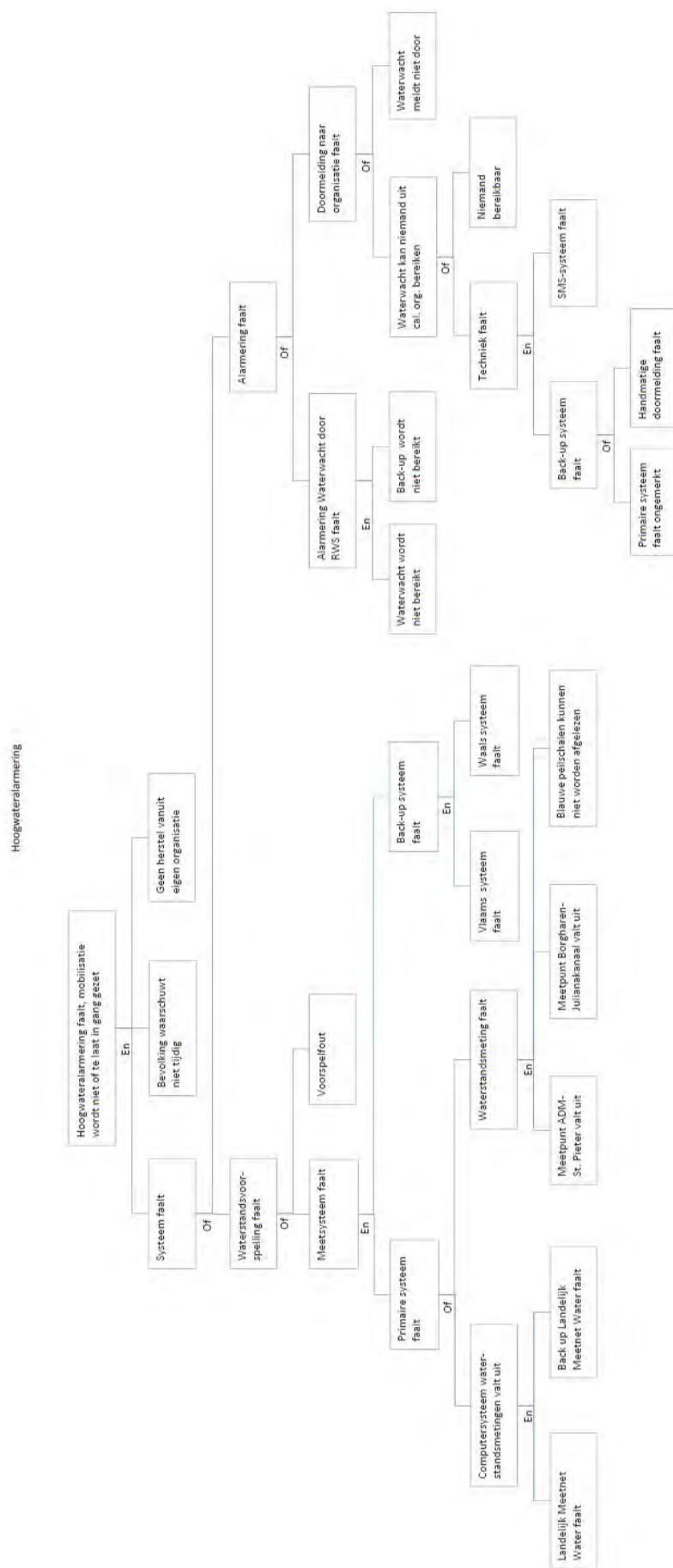
Werklijn

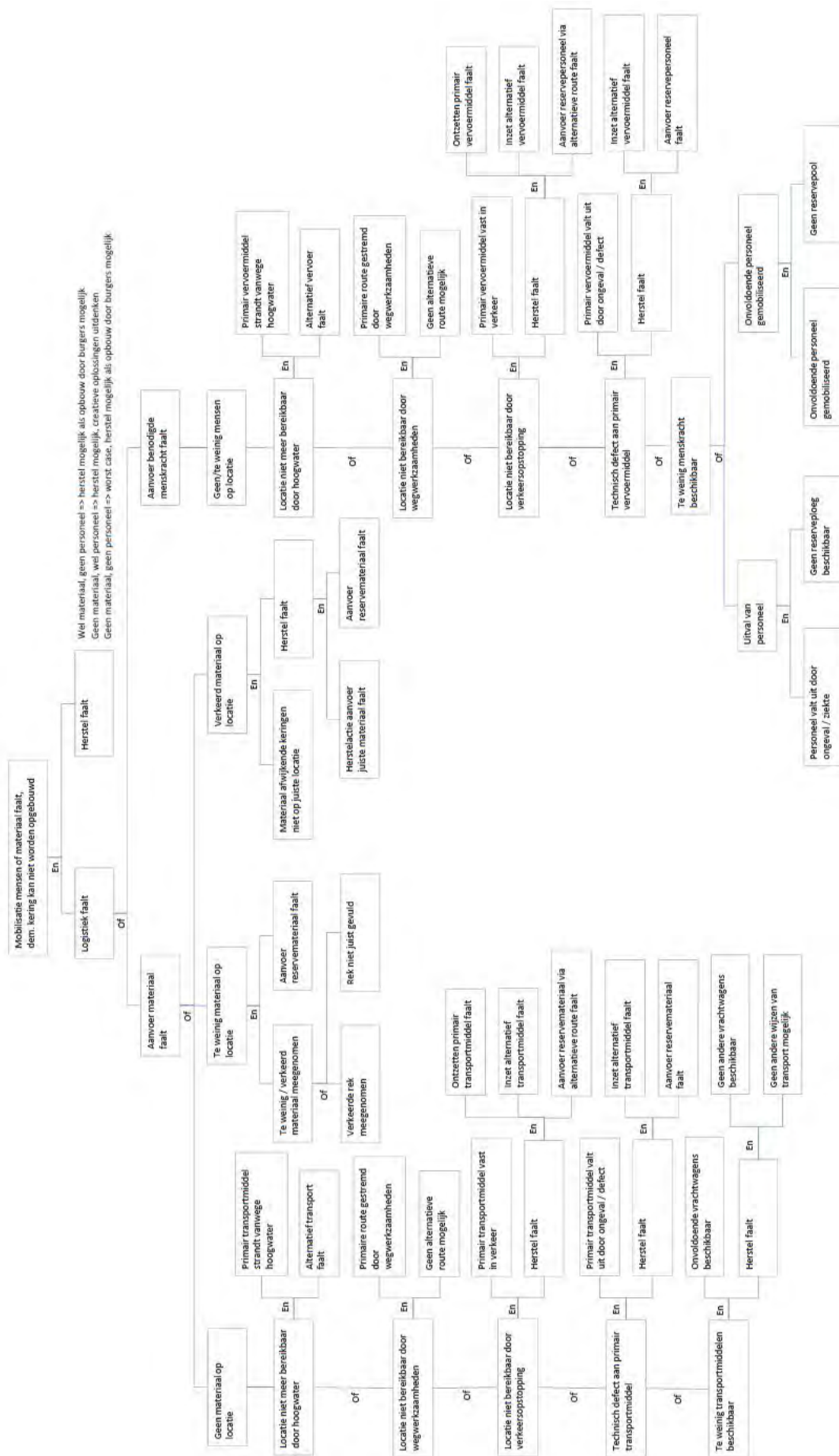
De relatie tussen de rivierafvoer en de statistisch bepaalde overschrijdingsfrequentie van de rivierafvoer, zoals deze door de Minister van Verkeer en Waterstaat wordt gehanteerd voor het bepalen van de ontwerpafvoer voor de versterking van dijken.

Zandmeevoerende wel

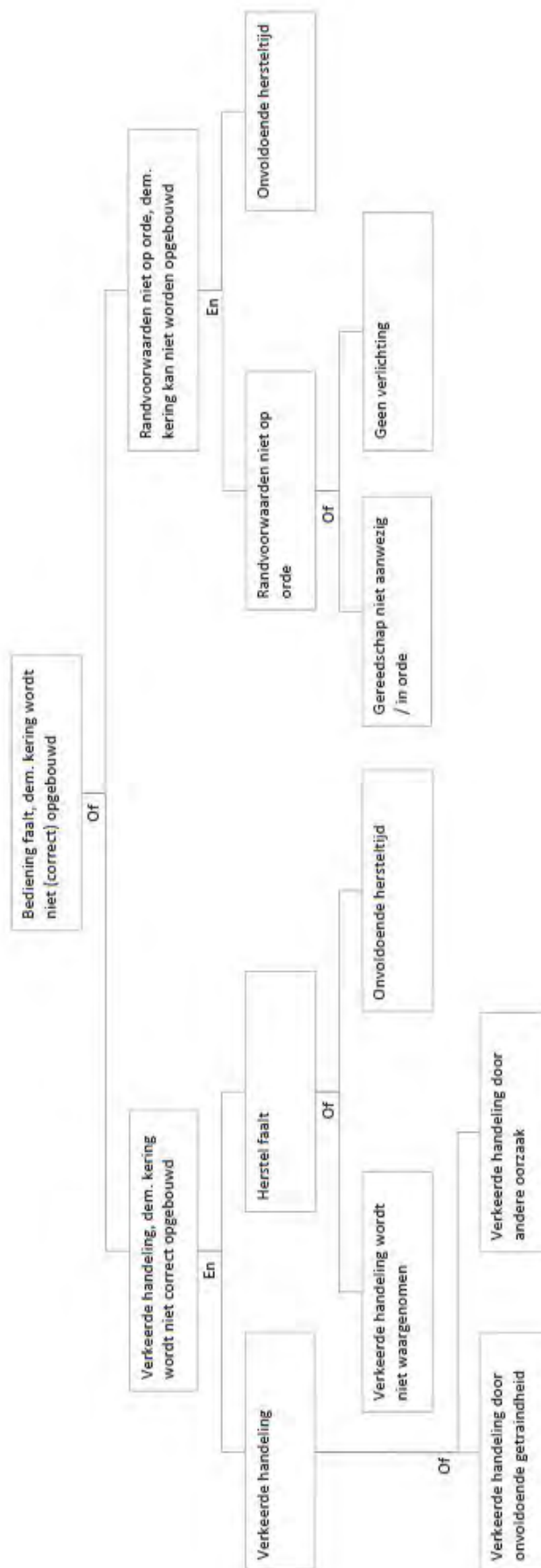
Een wel die zand meevoert uit de ondergrond.

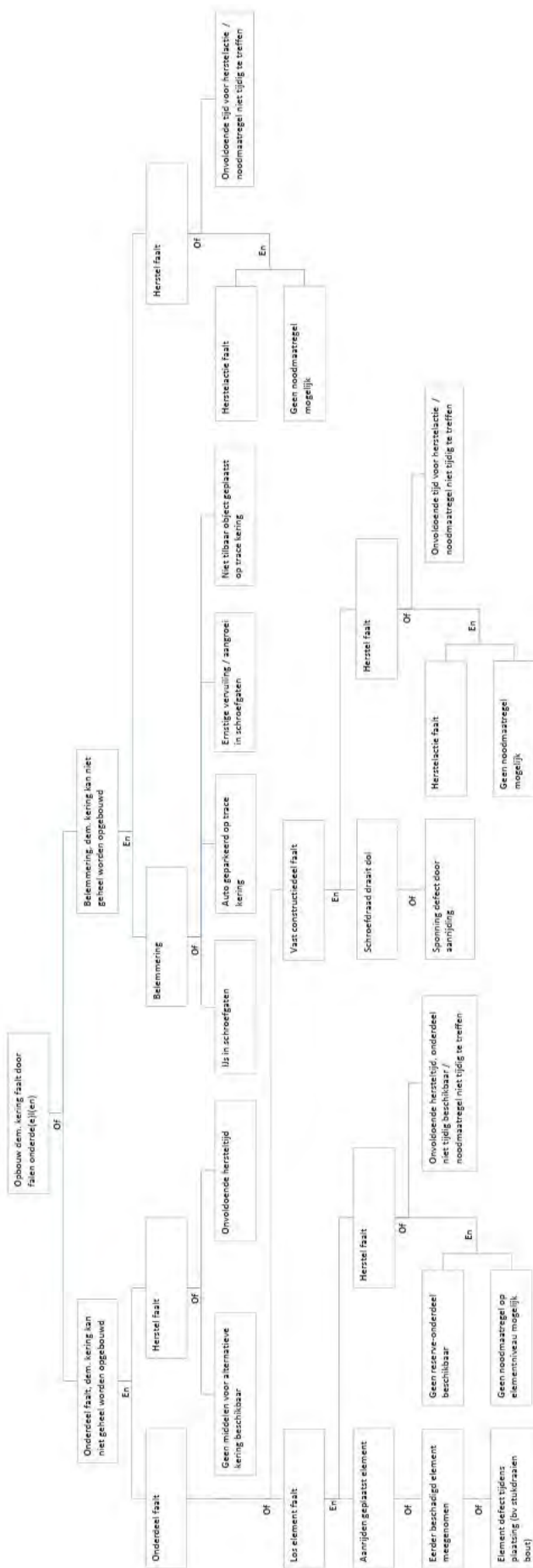
Bijlage C Foutenbomen deelfaalmechanisme Betrouwbaarheid Sluiten – demontabele keringen





Bediening





Bijlage D VNK Limburg, overstromingsmodellering Maas [1]

VNK Limburg, overstromingsmodellering Maas
WAQUA-simulaties van overstromingsscenario's



Aan	Cor Bisschop, Jakolien Leenders (projectbureau VNK)
Van	Ron Agtersloot
Kopie	Rinus Potter, John Tholen (Waterschap Roer en Overmaas) William van Ruiten (Waterschap Peel en Maasvallei) Marit Zethof (HKV Lijn in Water), Deon Slagter (Rijkswaterstaat WVL)
Datum	19 augustus 2015
Project	P0107.2: VNK Limburg, overstromingsmodellering Maas
Betreft	Beschrijving WAQUA-simulaties van overstromingsscenario's

1 Inleiding

Projectbureau VNK (VNK) maakt in samenwerking met de waterschappen Roer en Overmaas (WRO) en Peel en Maasvallei (WPM) een beoordeling van de overstromingsrisico's voor de door dijken beschermde gebieden (dijkkringen) langs de Maas. Overstroming van dijkkringen treedt op als de dijk 'faalt'. Falen van de dijk komt in het algemeen neer op:

- waterstanden die hoger worden dan de kruinhoogte van de dijk; of
- het bezwijken van een dijk (bijvoorbeeld als gevolg van piping of verlies van stabiliteit) voordat de dijk overstroomd raakt.

Op verzoek van VNK zijn voor beide vormen van falen WAQUA-simulaties uitgevoerd om de gevolgen van het falen in beeld te brengen. Bij de gevolgen wordt onder andere gekeken naar de optredende stroomsnelheden en de stijgsnelheid in de dijkkring. Hierbij speelt zowel de locatie van falen als de specifieke bodemhoogte in het gebied een grote rol.

Bij het beoordelen van de verschillende dijkkringen is geconstateerd dat sommige dijkkringen niet/deels in het WAQUA-model voorkomen. Het gaat hier specifiek om de dijkkringen 54, 55, 69 en 77. Voor deze dijkkringen kan het WAQUA-model nooit een goed beeld geven van de overstroming in het gebied. Voor deze gebieden zal VNK daarom zelf een bakjes-model gebruiken om een benadering te krijgen van de gevolgen van een overstroming.

Voorliggende notitie beschrijft de uitgevoerde werkzaamheden. De uitgangspunten die ten grondslag hebben gelegen aan de WAQUA-simulaties en de bezwijkmechanismes worden beschreven in Hoofdstuk 2. De WAQUA-simulaties die zijn uitgevoerd voor beide vormen van falen worden beschreven in Hoofdstuk3 (de gevolgen van overstroming) respectievelijk in Hoofdstuk 4 (de gevolgen van bezwijken).

Aan	Cor Bisschop, Jakolien Leenders (projectbureau VNK)
Van	Ron Agtersloot
Kopie	Rinus Potter, John Tholen (Waterschap Roer en Overmaas) William van Ruiten (Waterschap Peel en Maasvallei) Marit Zethof (HKV Lijn in Water), Deon Slagter (Rijkswaterstaat WVL)
Datum	19 augustus 2015
Project	P0107.2: VNK Limburg, overstromingsmodellering Maas
Betreft	Beschrijving WAQUA-simulaties van overstromingsscenario's

1 Inleiding

Projectbureau VNK (VNK) maakt in samenwerking met de waterschappen Roer en Overmaas (WRO) en Peel en Maasvallei (WPM) een beoordeling van de overstromingsrisico's voor de door dijken beschermde gebieden (dijkringen) langs de Maas. Overstroming van dijkringen treedt op als de dijk 'faalt'. Falen van de dijk komt in het algemeen neer op:

- waterstanden die hoger worden dan de kruinhoogte van de dijk; of
- het bezwijken van een dijk (bijvoorbeeld als gevolg van piping of verlies van stabiliteit) voordat de dijk overstroomd raakt.

Op verzoek van VNK zijn voor beide vormen van falen WAQUA-simulaties uitgevoerd om de gevolgen van het falen in beeld te brengen. Bij de gevolgen wordt onder andere gekeken naar de optredende stroomsnelheden en de stijgsnelheid in de dijkkring. Hierbij speelt zowel de locatie van falen als de specifieke bodemhoogte in het gebied een grote rol.

Bij het beoordelen van de verschillende dijkringen is geconstateerd dat sommige dijkringen niet/deels in het WAQUA-model voorkomen. Het gaat hier specifiek om de dijkringen 54, 55, 69 en 77. Voor deze dijkringen kan het WAQUA-model nooit een goed beeld geven van de overstroming in het gebied. Voor deze gebieden zal VNK daarom zelf een bakjes-model gebruiken om een benadering te krijgen van de gevolgen van een overstroming.

Voorliggende notitie beschrijft de uitgevoerde werkzaamheden. De uitgangspunten die ten grondslag hebben gelegen aan de WAQUA-simulaties en de bezwijkmechanismes worden beschreven in Hoofdstuk 2. De WAQUA-simulaties die zijn uitgevoerd voor beide vormen van falen worden beschreven in Hoofdstuk 3 (de gevolgen van overstroming) respectievelijk in Hoofdstuk 4 (de gevolgen van bezwijken).

2 Uitgangspunten bij de simulaties

2.1 Basisgegevens Baseline en WAQUA

In overleg met Rijkswaterstaat Zuid-Nederland (RWS ZN) en Deltares is vastgesteld dat de te gebruiken basisgegevens *hr2017_5-v2* moet zijn. De basisgegevens van *hr2017_5-v2* zijn gelijk aan die van *hr2017_5-v1* (= *beno14_5-v2*, zie (Agtersloot e.a., 2014)), op de uitvoerlocaties na. Een korte beschrijving (afkomstig van Deltares) van de Baseline-schematisaties en WAQUA-modellen *hr2017_5-v2* is hieronder opgenomen.

“baseline-maas-hr2017_5-v2”

In deze schematisatie zijn een aantal uitvoerlocaties verbeterd die niet voldeden aan de WTI-specificaties en zijn de uitvoerlocaties langs de verbeterde niet-overstroombare dijken bij Ooijen-Wanssum herzien. Voor het overige is deze schematisatie gelijk aan *baseline-maas-hr2017_5-v1*.

“baseline-maas-hr2017_mknov_5-v2”

In deze versie zijn de kades rond Ooijen-Wanssum niet-overstroombaar gemaakt met behulp van hoogwatervrije-lijnen, zijn een aantal uitvoerlocaties verbeterd die niet voldeden aan de WTI-specificaties en zijn de uitvoerlocaties langs de verbeterde niet-overstroombare dijken bij Ooijen-Wanssum herzien. Voor het overige is deze schematisatie gelijk aan *baseline-maas-hr2017_mknov_5-v1*.

“waqua-maas-hr2017_5-v2”

De uitvoerlocaties zijn op het WAQUA-rooster geprojecteerd en er is een nieuw WAQUA-uitvoerlocaties-bestand aangemaakt. De Qh-relatie bij Keizersveer is verder lineair doorgetrokken (dit was ook gedaan bij de benedenranden van de Rijntakken).

“waqua-maas-hr2017_mknov_5-v2”

De uitvoerlocaties zijn op het WAQUA-rooster geprojecteerd en er is een nieuw WAQUA-uitvoerlocaties-bestand aangemaakt. Verder is een nieuwe projectie gemaakt van de hoogwatervrije-lijnen. De Qh-relatie bij Keizersveer is verder lineair doorgetrokken (dit was ook gedaan bij de benedenranden van de Rijntakken).

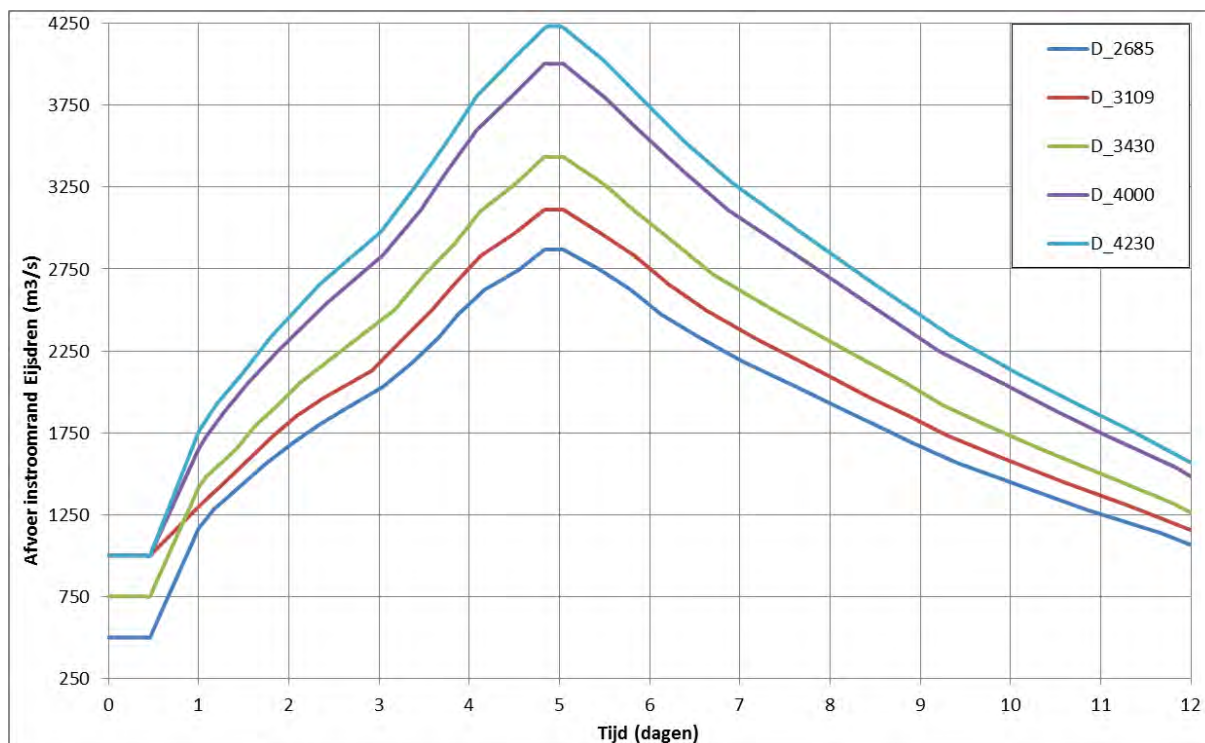
2.2 Randvoorwaarden simulaties

De simulaties worden uitgevoerd bij verschillende vijf terugkeertijden: T=25, T=100, T=250, T=1250 en T=2500, waarbij zowel de afvoerstatistiek als de golfvorm zijn gebruikt conform de TMR2006 (Rijkswaterstaat, 2006).

Tabel 2-1 Overzicht afvoergolven overstromingsmodellering

Afvoergolf	Terugkeertijd (1/jaar)	Piekafvoer Borgharen (m ³ /s)
D_2685	10	2685
D_3109	100	3109
D_3430	250	3430
D_4000	1250	4000
D_4230	2400	4230

In Figuur 2-1 is de vorm van de verschillende afvoergolven zichtbaar zoals deze is opgelegd bij Eijsden, de instroomrand van het WAQUA-model. De opgelegde afvoer bij Eijsden wijkt af van de in Tabel 2-1 genoemde piekafvoer bij Borgharen als gevolg van toestromingen, onttrekkingen en piekvervlakking op het traject tussen Eijsden en Borgharen.



Figuur 2-1 VNK-simulaties met afvoergolven en statistiek conform TMR2006

Op de Maas spelen tegelijkertijd verschillende processen die zowel afvoerverhogend als afvoerverlagend (kunnen) werken. Het eerste proces zijn de lateralen. Lateralen langs de Maas zijn vrijwel altijd afvoerverhogend, m.u.v. enkele onttrekkingen naar kanalen. Tijdens MHW-condities wordt er 600 tot 800 m³/s bijgedragen door de laterale toestromingen.

Het tweede proces is piekvervlakking. Op de Maas is vaak sprake van relatief steile hoogwatergolven die op het bovenstroomse traject (tot circa rkm 65) min of meer intact blijven. Daarna komt de Plassenmaas (Roermond en omgeving) en daar zakt een piek vrij snel in. De mate van inzakking wordt enerzijds bepaald door de golfvorm (in principe: hoe steiler, hoe meer inzakking), anderzijds door de geometrie (wel/niet geïndeerd winterbed, hoogte van waterkeringen etc.). Het inzakken van een piek kan tot enkele honderden m³/s verlaging van de top betekenen (waarbij de golf natuurlijk wel breder wordt).

Het derde proces is retentie. Langs de Maas is sprake van natuurlijke retentie (winterbed achter zomerkaden, grote plassen etc.), menselijke retentie (de retentiegebieden Lateraalkanaal-West en Lob van Gennep) en ongewenste retentie (overstroming van door dijken beschermde gebieden). Natuurlijke retentie komt terug in de piekvervlakking en dat is hierboven al aan de orde geweest. Menselijke retentie verlaagd de piekafvoer met 100 á 200 m³/s, afhankelijk van de inrichting van het retentiegebied, golfvorm etc. De grootste bijdrage wordt geleverd door de inundatie van de bedijkte gebieden. In het WTI2017-model kunnen dijkringen inunderen vanaf een piekafvoer tussen de 3800 en 4000 m³/s. Het effect van deze inundatie is zeer groot en bedraagt ook enkele honderden m³/s.

Het totale effect van deze drie processen is in het algemeen afvoerverlagend. In simulaties waar overstroming van dijken wordt uitgesloten is de balans min of meer neutraal. In de notitie (Agtersloot, 2011) is voor de Maas onderzocht wat enkele gevoeligheden zijn en daar komen enkele van de bovengenoemde aspecten aan de orde.

Op de benedenrand bij Keizersveer is een Qh-relatie opgelegd die is bepaald met het model *waqua-rmm-j12_5*. De waterstand voor de extreme afvoer (5500 m³/s) is een extrapolatie vanuit de twee waardes eronder. De extrapolatie is nog verder doorgetrokken (6500 m³/s) in het kader van WTI2017. In Tabel 2-2 is de Qh-relatie opgenomen.

Tabel 2-2 Overzicht Qh-relatie Keizersveer

Q (m ³ /s)	H (m+NAP)
18	0.469
351	0.748
905	0.919
1448	1.315
1987	1.670
2528	1.990
3342	2.489
3832	2.784
4713	3.268
5500	3.700
6500	4.249

2.3 Uitgangspunten systeemanalyse

De systeemanalyse is gebaseerd op de basisgegevens hr2017_5-v2. Standaard zijn in de schematisatie de dijktracés opgenomen met de daadwerkelijke (ontwerp) kruinhoogte. Dit betekent dat de dijken of,

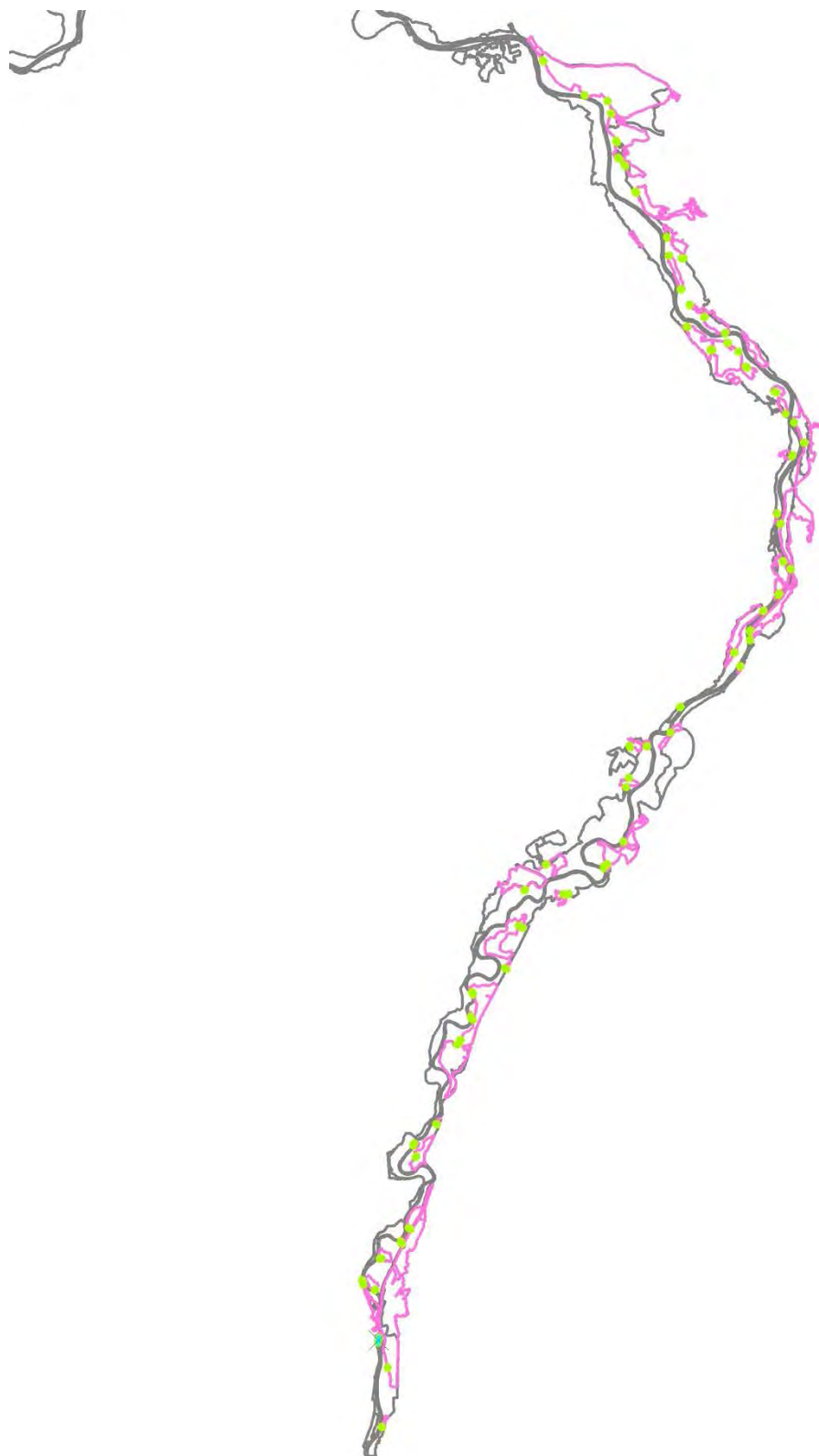
- een waakhogte van 50 cm hebben gekregen ten opzichte van de 1/250 ontwerpwaterstand zoals deze door Rijkswaterstaat Maaswerken wordt gehanteerd (Folkertsma, 2012), of
- een hoogte hebben gekregen conform de daadwerkelijk aangelegde dijken (Roermond, Venlo, Gennep etc.).

Daarnaast is een variant beschikbare waarin de dijken zijn vervangen door niet-overstroombare schotjes. Deze variant wordt gebruikt om het effect van inundatie op de waterstanden in beeld te brengen.

De modelschematisatie met daadwerkelijke (ontwerp) kruinhoogte wordt ook gebruikt voor de simulaties ten behoeve van de doorbraakscenario's.

2.4 Locaties en faalwaterstanden van de bressen

Door WRO en WPM zijn voor alle Limburgse dijkringen locaties aangegeven waar het risico en/of de gevolgen van een dijkdoorbraak in beeld moeten worden gebracht, zie Figuur 2-2 en Tabel 2-3.



Figuur 2-2 Doorbraaklocaties (groen) in de Limburgse dijkringen (roze)

Bij iedere breslocatie hoort een kritische waterstand die (zodra deze waterstand wordt overschreden) het moment aangeeft waarop de bres daadwerkelijk ontstaat. In paragraaf 2.5 worden de formules beschreven voor de snelheid van de bresgroei; paragraaf 2.6 beschrijft de modellering van de bresgroei in WAQUA. Vanwege de beperkte afmetingen in het WAQUA-model van de dijkringen 55 en 56 zijn deze niet meegenomen als breslocatie.

Tabel 2-3 Overzicht breslocaties overstromingsmodellering en kritische waterstand

Breslocatie	Dijkkring (nr)	Waterstand (m+NAP)	Breslocatie	Dijkkring (nr)	Waterstand (m+NAP)
Mook-Ottersum, Middelaar	54	11.80	Blerick, haven	69	17.72
Mook-Ottersum, Milsbeek	54	12.50	Blerick, Staiweg	69	18.80
Mook-Ottersum, Lob van Gennep	54	13.23	Baarlo, Romeinenweg	70	18.15
Gennep-Heijen, noord	55	12.40	Baarlo, Roffart	70	18.76
Gennep-Heijen, Smele	55	13.75	Belfeld, Belfeld	71	18.83
Gennep-Heijen, Paesplasweg	55	13.75	Kessel, Karreweg noord	72	19.43
Gennep-Heijen, Kasteelstraat	55	13.81	Beesel, Ouddorp	73	19.68
Afferden, Afferden	56	13.41	Neer, Hanssum	74	19.90
Nieuw Bergen, Heukelom	57	13.84	Neer, Neer	74	20.00
Nieuw Bergen, Nieuw Bergen	57	14.07	Buggenum, Molenweg	75	20.06
Aijen-Bergen, Bergen	59	14.07	Buggenum, Afleidingskanaal	75	20.11
Aijen-Bergen, Aijen	59	14.40	Roermond, Voorstad St. Jacob	76	21.40
Well, Elsteren	60	14.50	Roermond, Merum	77	20.78
Well, Kamp	60	14.59	Heel, huize St. Anna	78	22.60
Well, Well-dorp	60	14.95	Thorn-Wessem, Groeskamp	79	22.63
Wanssum-west, Geysteren	61	14.40	Clauscentrale, Brachterbeek	80	23.20
Wanssum-west, haven	61	14.70	Stevensweert, Eilandbrug	81	25.10
Wanssum-oost, haven	62	14.95	Aasterberg, zuid	82	28.02
Wanssum-oost, Brugstraat	62	14.80	Visserweert, Visserweert	83	31.40
Ooijen, Blitterswijk	63	15.15	Roosteren, Kokkelert	84	30.80
Ooijen, Wijnhoverhof	63	15.15	Grevenbicht, Ruitersdijk	84	32.00
Ooijen, Ooijen	63	15.85	Urmond, Urweg	85	37.05
Broekhuizenvorst, Broekstraat	64	16.23	Maasband, Maasdijkweg	86	38.19
Arcen, bierbrouwerij	65	16.33	Meers, Veldjensweg	87	38.44
Arcen, Maasstraat	65	16.53	Geulle aan de Maas, Molenweg	88	43.70
Lottum, Borggraaf	66	16.62	Voulwames, Voulwamesweg	89	43.63
Grubbenvorst, Grubbenhove	67	17.27	Maastricht-oost, Hoge Weerd	90	49.27
Venlo-Velden, Velden	68	17.83	Itteren, Stuijkensweg	91	43.36
Venlo-Velden, Genooyerbergen	68	18.25	Borgharen, Schutkolkweg	92	44.85
Venlo-Velden, Steyl klooster	68	19.88	Maastricht NW, Bosscherweg	93	45.53
Venlo-Velden, Steyl botanische tuin	68	17.70	Sint Pieter, Sint Pietersluisweg	94	47.90
			Eijsden, Diepstraat	95	49.00

2.5 Bresgroei formules

Vanaf het moment dat de kritische waterstand wordt bereikt (zie Tabel 2-3) ontstaat de bres. De bres groeit uit tot de hoogte van het achterliggende maaiveld (binnenzijde). In 10 minuten na het optreden van de bres (t_0) groeit de bres in verticale richting tot het maaiveld-niveau. De initiële bresbreedte is 10 meter.

Na 10 minuten groeit de bres in horizontale richting tot een breedte van ongeveer 50 meter. De bresbreedte is een functie van het verval over de waterkering en de tijd en is als volgt gedefinieerd volgens de Verheij-vd Knaap bresgroei-formule:

$$B = 1.3 \frac{g^{0.5} H^{1.5}}{u_c} \log \left(1 + \frac{0.04 g}{u_c} t \right)$$

Hierin is

- H het verval over de waterkering ($h_{\text{buiten}} - h_{\text{binnen}}$)
- u_c is 0.2 m/s
- g is 9.81 m/s²
- t de verstreken tijd sinds het begin van de bresgroei

Deze formule heeft aan de basis gestaan voor de modellering van de bresgroei in WAQUA, zie paragraaf 2.6.

2.6 Modellering in WAQUA van de bressen

De Verheij-vd Knaap bresgroeiformule (zie paragraaf 2.5) is verwerkt in een spreadsheet waarbij het verval (H) en de verstreken tijd (t) de variabelen zijn. Deze verwerking heeft geleid tot onderstaande tabel.

Tabel 2-4 Verwerking van de Verheij-vd Knaap bresgroeiformule

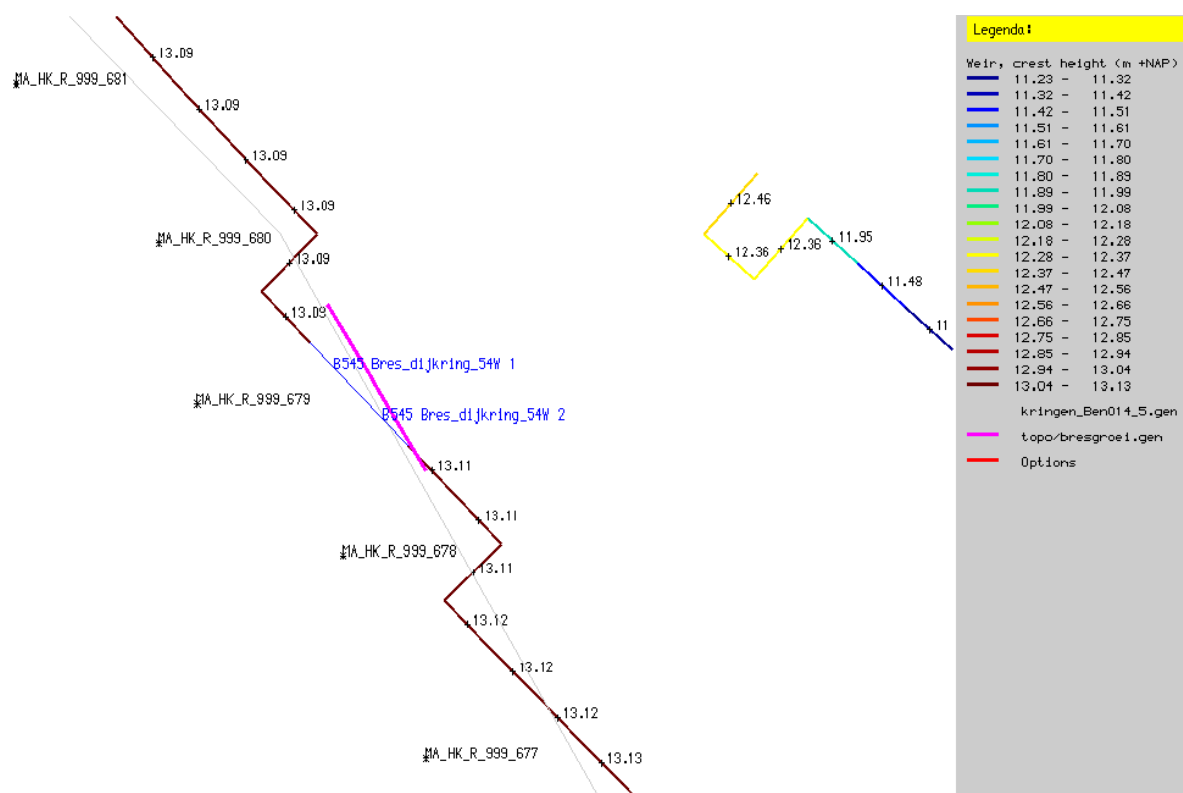
Verval H (m)	Tijd t na begin bresgroei (sec)								
	2	4	10	20	50	100	250	500	1250
0.08	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6
0.16	0.9	1.2	1.7	2.1	2.6	3.0	3.5	3.9	4.4
0.4	3.6	4.9	6.8	8.3	10.3	11.8	13.9	15.4	17.5
0.8	10.1	13.8	19.1	23.4	29.1	33.4	39.2	43.6	49.4
2	39.9	54.5	75.7	92.4	114.9	132.1	155.0	172.3	195.2

De basisgegevens uit het begin van paragraaf 2.5 (initieel 10 meter brede bres, uiteindelijk 50 meter breed) sluiten goed aan bij de grijs gemarkeerde regel die uitgaat van een initieel verval van 0.8 Met deze gegevens zijn dan ook de simulaties uitgevoerd. In de eerste 10 minuten groeit de bres enkel in de verticale richting, aanslag groeit de bres in horizontale richting tussen 10 en 20 minuten. Na 20 minuten is de bresbreedte 50 meter en deze bres blijft gedurende de rest van de simulatie gehandhaafd.

Ter plaatse van de breslocaties zijn de dijken in het WAQUA-model vervangen door een 'barrier'. Een barrier heeft de mogelijkheid om vanaf een willekeurig moment (bijvoorbeeld bij het overschrijden van een vooraf bepaalde waterstand op een vooraf bepaalde locatie) een reeks van vooraf bepaalde posities in te nemen. Voor de breslocatie 'Middelaar' in dijkkring 54 (zie de eerste regel in Tabel 2-3) wordt de modellering in WAQUA uitgewerkt.

Allereerst is de breslocatie opgezocht in het WAQUA-model, zie Figuur 2-3. De paarse lijn geeft de locatie aan waar de bres zal ontstaan. In het WAQUA-model lag hier oorspronkelijk een overlaat met een hoogte van circa 13.10 m+NAP. De overlaat is vervangen door een barrier met het nummer B545. (n.b. in de naamgeving geeft de 'B' aan dat het een barrier is; de eerste twee cijfers geven de dijkkring '54' aan en het laatste cijfer '5' geeft aan dat dit de vijfde barrier in deze dijkkring is. De andere breslocaties/barriers in deze dijkkring liggen bij Milsbeek en de Lob van Gennep, zie Tabel 2-3.)

De hoogte van de dijk ter plaatse van de bres is 13.10 m+NAP. Zodra de waterstand bij de dijk 11.80 m+NAP wordt zal de bres ontstaan. De WAQUA-code voor de beschrijving van deze barrier staat onder Figuur 2-3.



Figuur 2-3 WAQUA-modellering breslocatie Middelbaar in dijkkring 54

```
# Middelbaar, barrier B545
B545: SILL_DEPTH  INITIAL = 13.10
      GATE_HEIGHT  INITIAL = 99.00
      BARRIER_WIDTH INITIAL = 0.00
      CONDITION
      IF (LEVEL P25288 GT 11.80) THEN
        TS545
      ENDIF
```

De barrier is in het WAQUA-model circa 76 m breed. De initiële bres is 10 meter breed, overeenkomend met circa 13% van de breedte van de barrier in het WAQUA-model. Uiteindelijk wordt de bres 50 meter breed, overeenkomend met circa 66% van de breedte in het WAQUA-model. De bres groeit tot een diepte van circa 9 m+NAP, overeenkomend met de hoogte van het achterliggende maaiveld. De WAQUA-code voor de sturing van deze barrier is:

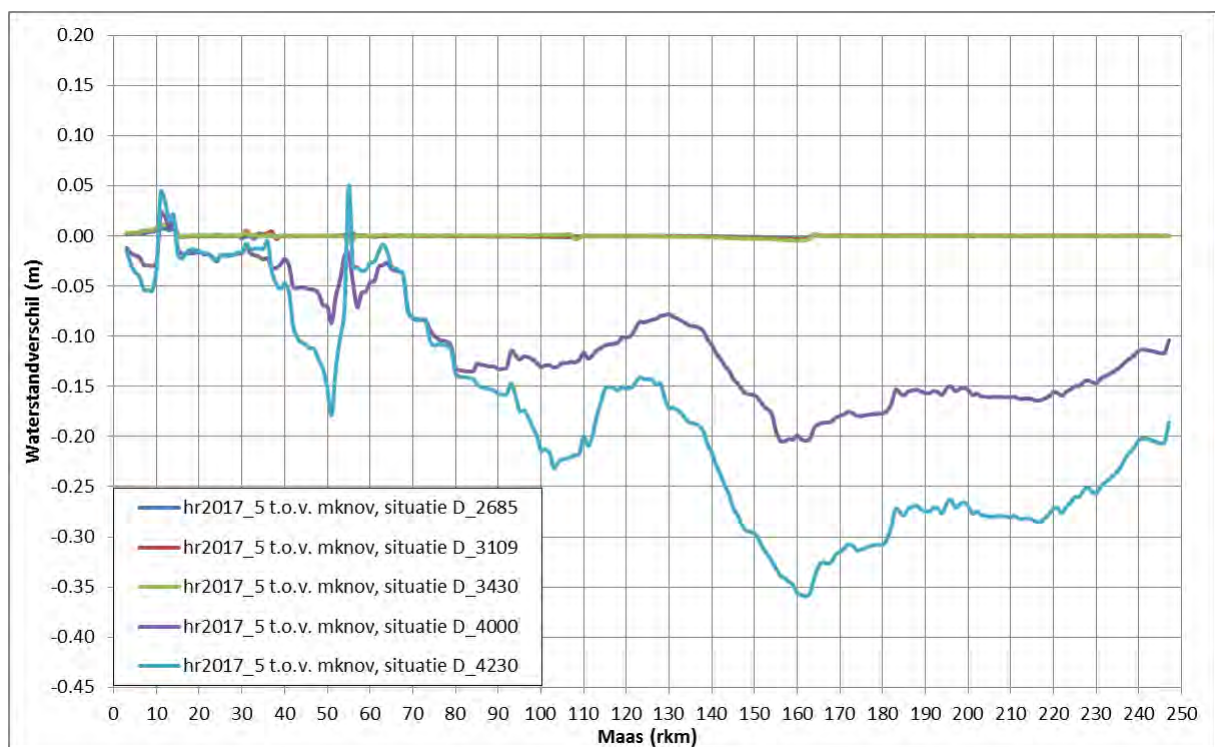
```
# Middelbaar, barrier B545
#      sturing van zowel SILL als WIDTH
TS545:
  SILL, WIDTH
  SERIES = 'irregular'
  TIME_AND_VALUE = 0.0 0.0 0.0 13.10 0.00
  TIME_AND_VALUE = 0.0 0.0 10.0 9.00 0.13
  TIME_AND_VALUE = 0.0 0.0 20.0 9.00 0.66
```

3 WAQUA-simulaties, overstroming van de waterkeringen

3.1 Simulaties

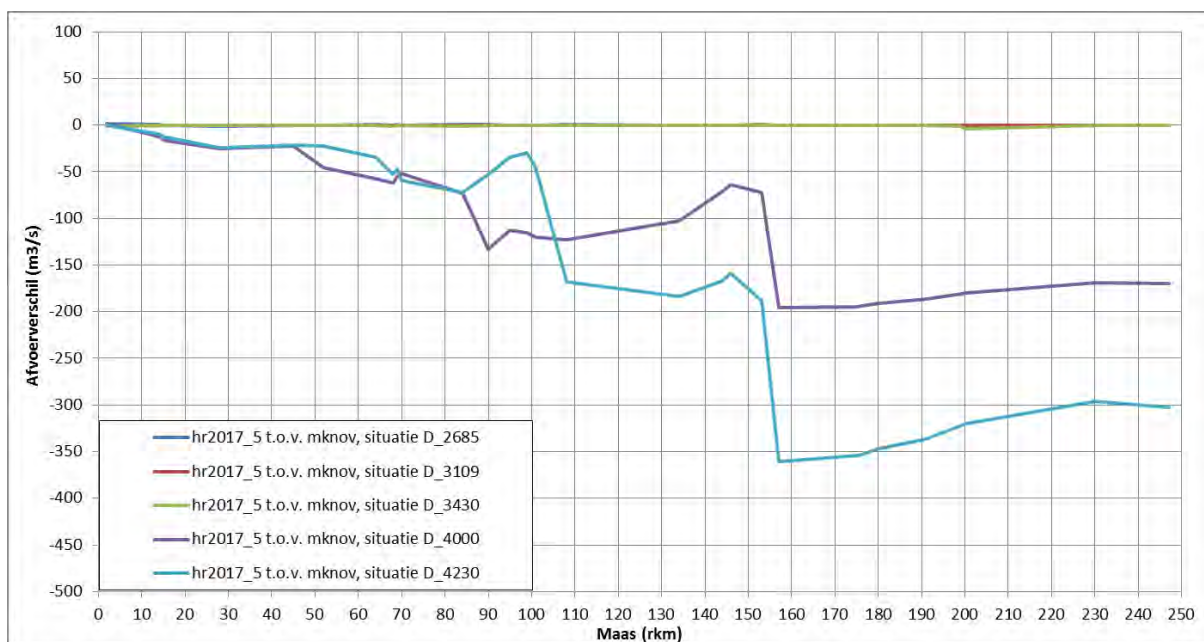
Met de vijf verschillende ontwerphoogwatergolven (zie paragraaf 2.2) zijn de simulaties uitgevoerd voor zowel de overstroombare als de niet-overstroombare waterkeringen (zie paragraaf 2.1). De simulaties worden beoordeeld op de waterstand- en afvoereffecten als gevolg van overstroming van de waterkeringen.

3.2 Beoordeling resultaten



Figuur 3-1 Waterstandeffecten overstroming waterkeringen

Zowel in Figuur 3-1 als Figuur 3-2 is zichtbaar dat er geen verschil is in resultaten tussen wel- en niet-overstroombare waterkeringen bij de laagste drie afvoeren. Bij de hogere afvoeren is het effect van overstroming van de waterkeringen zichtbaar in lagere waterstanden en lagere afvoeren als gevolg van de inundatie. Bij de hoogste afvoer (D_4230) is het effect het grootst; dat wil zeggen dat er meer inundatie optreedt dan in de situatie met de een-na-hoogste afvoer.



Figuur 3-2 Afvoereffecten overstroming waterkeringen

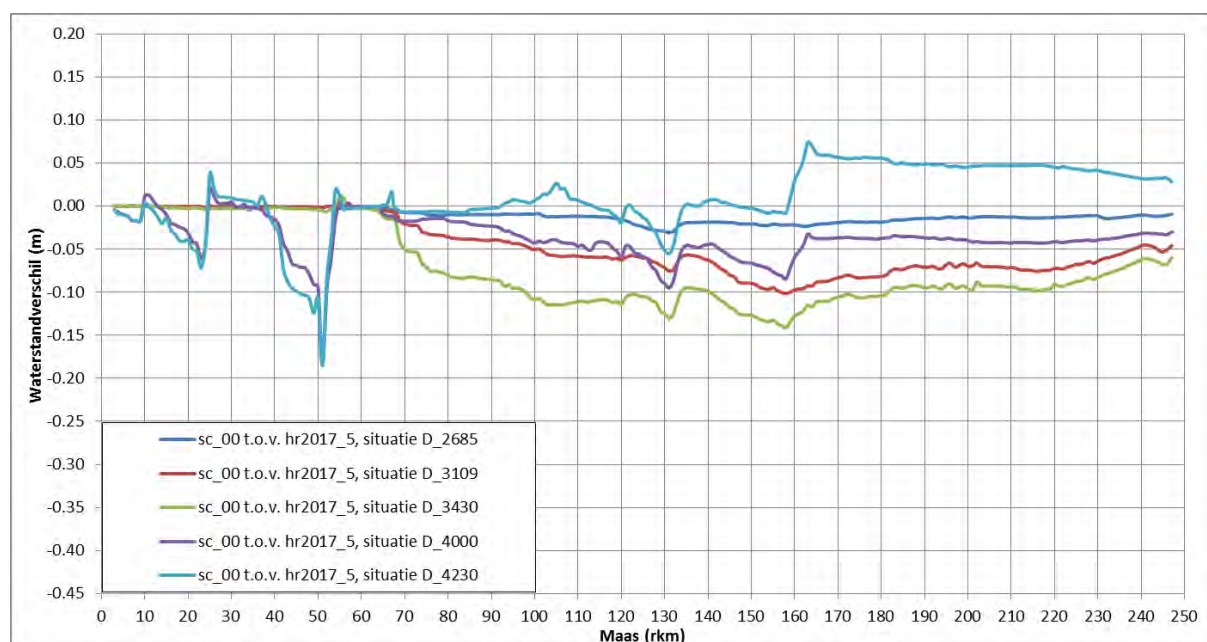
4 WAQUA-simulaties, falen van de dijk

4.1 Simulaties

Met de vijf verschillende ontwerphoogwatergolven (zie paragraaf 2.2) zijn de simulaties uitgevoerd voor zowel de overstroombare waterkeringen als de doorbraakscenario's (zie paragraaf 2.4). Omdat de doorbraakscenario's zijn gemodelleerd in het model met overstroombare waterkeringen kan het effect van de doorbraak worden gepresenteerd als een 'surplus' ten opzichte van een 'gewone' overstroming. De simulaties worden beoordeeld op de waterstand- en afvoereffecten als gevolg van het ontstaan van een bres in de waterkering. Voor drie waterkeringen wordt het effect getoond van het falen van de waterkering als gevolg van de bres, zie paragraaf 4.3.

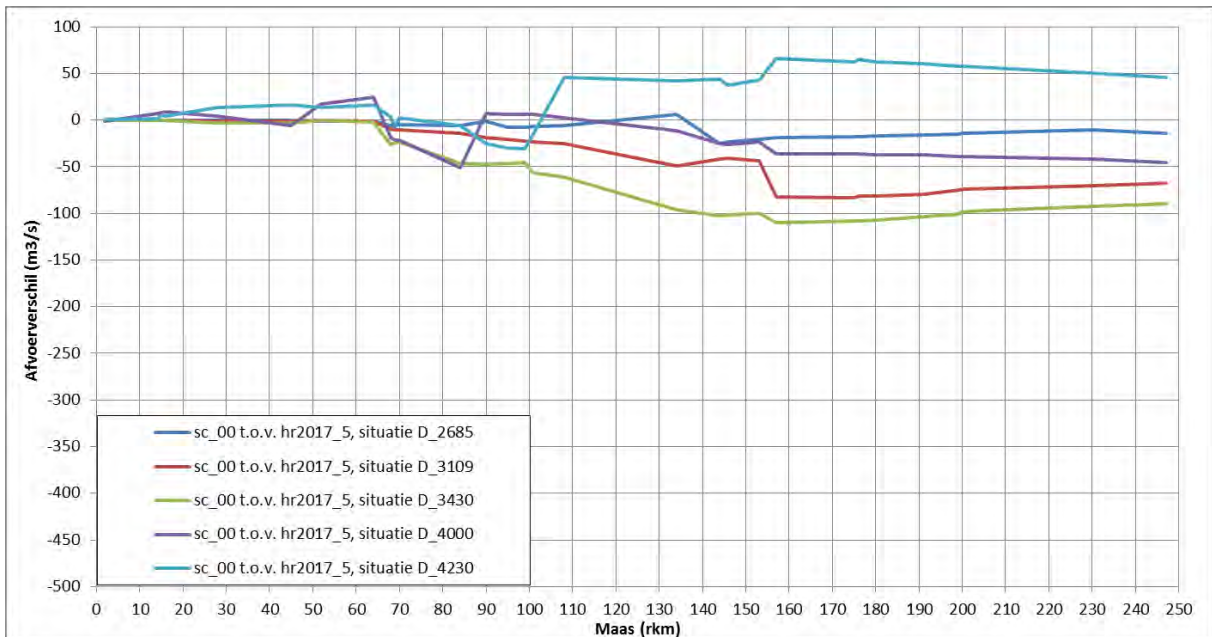
4.2 Beoordeling resultaten

Zowel Figuur 4-1 en Figuur 4-2 is zichtbaar dat de bressen op de Grensmaas (tot rkm 65) bij de laagste drie afvoeren niet leiden tot inundatie. Op de Zandmaas (van rkm 65 tot rkm 160) hebben de bressen invloed op de waterstanden en afvoeren bij alle afvoeren.



Figuur 4-1 Waterstandeffecten bressen in de waterkeringen

Een opvallend verschil met de situatie met enkel overstromingen (zie Hoofdstuk 3) is dat er bij hogere afvoeren sprake is van een vermindering van het waterstandverlagend effect, en bij de hoogste afvoer (D_4230) leiden de bressen zelfs tot een hogere waterstand en afvoer vanaf rkm 160. De reden is dat als gevolg van de bressen de bedijkte gebieden al zover zijn geïnundeerd dat er bij een overstroming nog maar beperkt water kan worden geborgen.



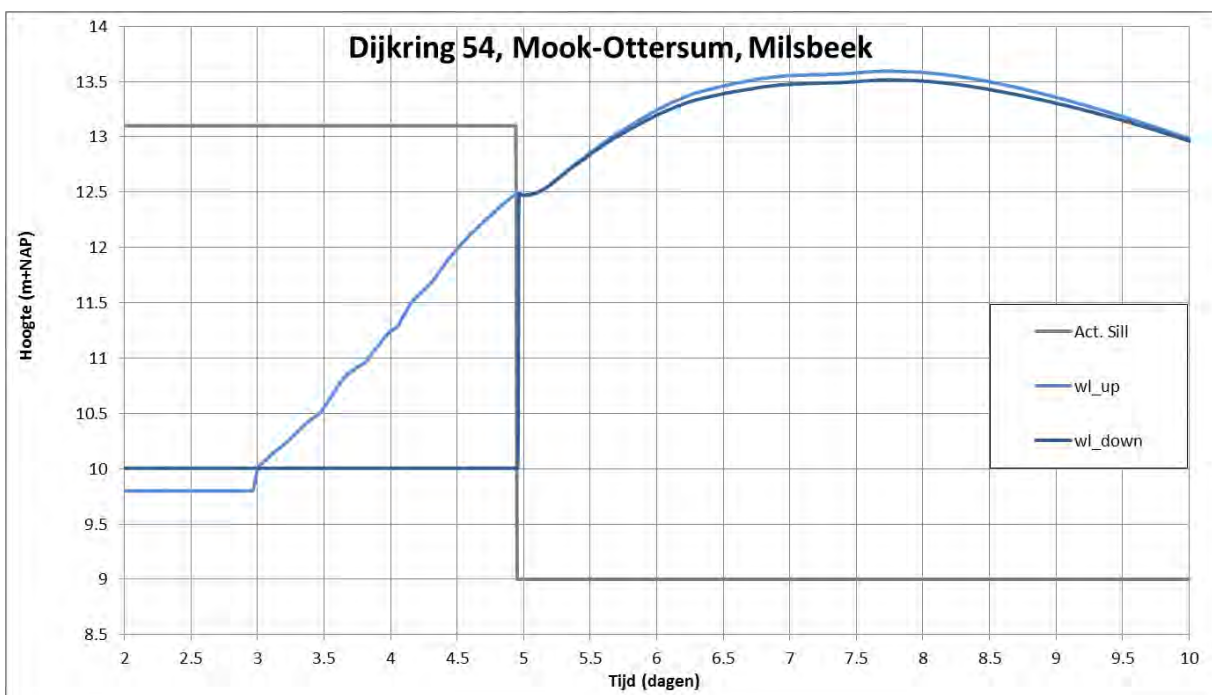
Figuur 4-2 Afvoereffecten bressen in de waterkeringen

4.3 Voorbeeld resultaat modellering bressen

Het resultaat van de modellering van de bressen (zie paragraaf 2.6) wordt voor drie locaties getoond.

4.3.1 Bres in dijkkring 54, locatie Milsbeek

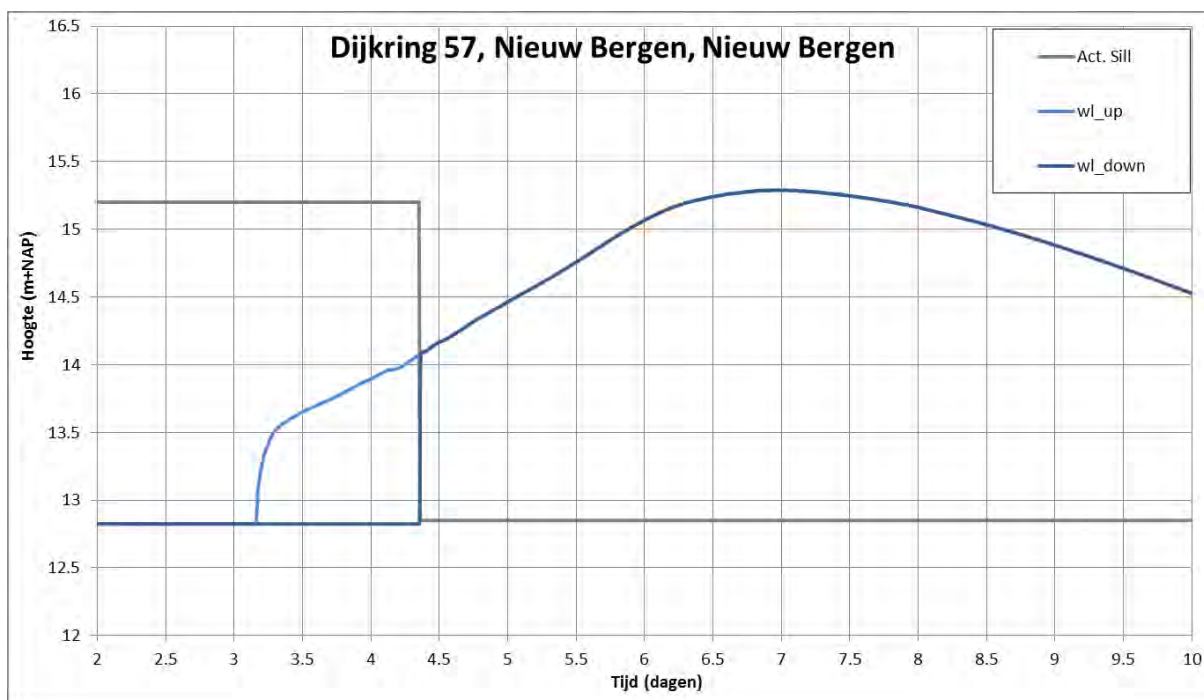
In Figuur 4-2 worden de waterstanden buiten (wl_up) en binnen (wl_down) getoond van Dijkkring 54. De waterkering (Act. Sill) is zichtbaar als de grijze lijn. Op het moment dat de waterstand 12.50 m+NAP wordt (zie Tabel 2-3) zakt de waterkering van 13.10 naar 9.00 m+NAP en loopt het gebied achter de waterkering snel vol.



Figuur 4-3 Voorbeeld bres in een waterkering, Dijkkring 54, locatie Milsbeek

4.3.2 Bres in dijkkring 57, locatie Nieuw Bergen

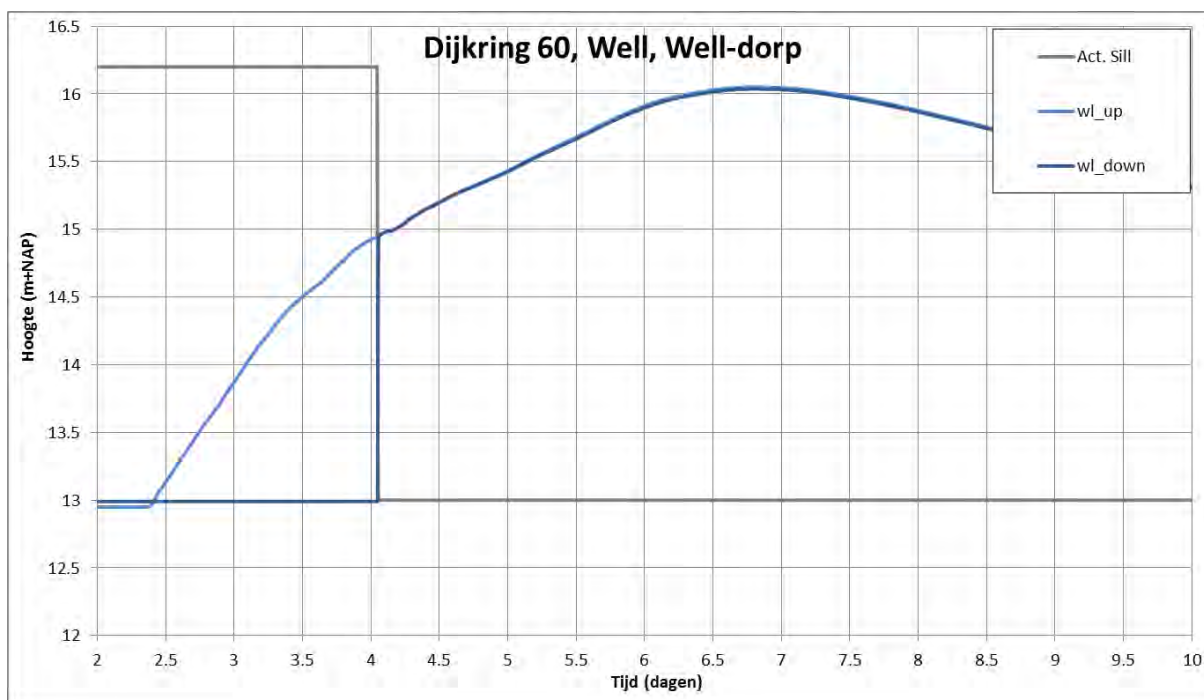
In Figuur 4-2 worden de waterstanden buiten (wl_{up}) en binnen (wl_{down}) getoond van Dijkkring 57. De waterkering (Act. Sill) is zichtbaar als de grijze lijn. Op het moment dat de waterstand 14.07 m+NAP wordt (zie Tabel 2-3) zakt de waterkering van 15.20 naar 12.85 m+NAP en loopt het gebied achter de waterkering snel vol.



Figuur 4-4 Voorbeeld bres in een waterkering, Dijkkring 57, locatie Nieuw Bergen

4.3.3 Bres in dijkkring 60, locatie Well-dorp

In Figuur 4-2 worden de waterstanden buiten (wl_up) en binnen (wl_down) getoond van Dijkkring 60. De waterkering (Act. Sill) is zichtbaar als de grijze lijn. Op het moment dat de waterstand 14.95 m+NAP wordt (zie Tabel 2-3) zakt de waterkering van 16.20 naar 13.00 m+NAP en loopt het gebied achter de waterkering snel vol.



Figuur 4-5 Voorbeeld bres in een waterkering, Dijkkring 60, locatie Well-dorp

5 Conclusies

5.1 Conclusies m.b.t. modellering bressen

Het WAQUA-model kan een beeld geven van de gevolgen van een bres in een waterkering wanneer zowel de locatie van de bres als de faalwaterstand gegeven zijn. De modellering van de bressen als barrier (met alle daar bij behorende invoerbestanden en andere aanpassingen in het WAQUA-model) is relatief arbeidsintensief. Nu alle bressen gemodelleerd zijn is het relatief eenvoudig om de effecten te modelleren van bijvoorbeeld een andere faalwaterstand en/of minder bressen die gelijktijdig ontstaan.

5.2 Conclusies m.b.t. overstroming dijkringen

Uit het WAQUA-model volgt dat de waterkeringen niet overstromen in een 1/250 situatie (D_3430), zie Figuur 3-1. Dit is in overeenstemming met de uitgangspunten van het WAQUA-model, waarin de waterkeringen een waakhogte hebben van 50 cm ten opzichte van de 1/250 ontwerpwaterstand. Bij hogere afvoeren is wel sprake van overstroming van de waterkeringen.

5.3 Conclusies m.b.t. bezwijken dijkringen

Uit het WAQUA-model volgt dat op de Grensmaas de bressen niet/nauwelijks leiden tot overstromingen in de situaties 1/10, 1/100 en 1/250. Op de Zandmaas is ook in de laagste situatie (1/10) al een effect zichtbaar als gevolg van de bressen. Het gevolg van de bressen is dat in de 1/1250 situatie de meeste waterkeringen al geïnundeerd zijn waardoor het effect van berging als gevolg van overstroming niet meer optreedt. Hierdoor is in de 1/1250 situatie sprake van een hogere afvoer in de situatie met overstroming en bressen dan in de situatie met enkel overstroming.

6 Referenties

Agtersloot, R.C., 2011: "Gevoeligheidsanalyse Maas", Versie 3.0, definitief, opdrachtgevers RWS Limburg en RWS Waterdienst, 5 april 2011

Agtersloot, R.C. en H. Bouwmeester, 2014: "5^e generatie Baseline-schematisaties en WAQUA-modellen Maas 2014", definitief, versie 2.3, project P0040.14, opdrachtgevers Deltares en RWS Zuid-Nederland, 8 september 2014

Deltares, 2013: "WAQUA-model Maas_beno13_5-v1", december 2013

Velzen, E.H. van, M.J.M. Scholten, D. Beyer, C. Stolker, 2007: "Achtergrondrapport HR 2006 voor de Maas Thermometerrandvoorwaarden 2006", Rijkswaterstaat RIZA Rapport 2007.022, 2007

Bijlage E Overzicht faalkansen dijken

In deze bijlagen zijn de berekende faalkansen weergegeven, zoals zijn bepaald voor de dijken voor de vijf dijkringen, te weten:

Dijkkring 54: Mook, Middelaar	– ws. Peel en Maasvallei
Dijkkring 55: Gennep	– ws. Peel en Maasvallei
Dijkkring 69: Venlo, Blerick	– ws. Peel en Maasvallei
Dijkkring 77: Herten, Ool, Merum	– ws. Roer en Overmaas
Dijkkring 90: Geulle Maastricht	– ws. Roer en Overmaas

De faalkansen zijn gerapporteerd in de twee achtergrondrapporten [2] en [3].

Dijkvak	Omschrijving	Faalkansen mechanisme [per jaar]		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	stabiliteit
DV01_54.173-54.177	Kern Mook, keermuur, 1/50 p.j.	1/770		
DV02_54.169-54.171	Mook, groene dijk, 1/50 p.j.	1/5.900		
DV03_54.160-54.168	Groene dijk, 1/250 p.j.		1/130	
DV04_54.136+50-54.142	Fuikstraat, groene dijk, 1/250 p.j.	1/2.500	1/610	
DV05_54.106-54.110	Steenfabriek, groene dijk, 1/250 p.j.		1/280	1/950
DV06_54.82-54.91	Inlaat Lob van Gennep, 1/250 p.j.	1/370		
DV07_54.76-54.79+50	Henakker, groene dijk, 1/250 p.j.		1/1.700	

Tabel 31 : Berekende faalkansen voor de dijken van dijkkring 54

Dijkvak	Omschrijving	Faalkansen mechanisme [per jaar]		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	stabiliteit
DV08_55.105-55.112	Groene dijk, 1/250 p.j.		1/690	
DV09_55.97+50-55.100	Gennepershuisweg, groene dijk, 1/250 p.j.		1/140	1/60
DV10_55.84-55.85	Oeffeltsebrug, Groene dijk, 1/250 p.j.		1/1.100	

Tabel 32 : Berekende faalkansen voor de dijken van dijkkring 55

Dijkvak	Omschrijving	Faalkansen mechanisme [per jaar]		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	Stabiliteit
DV12_69.62G+29-69H+25-69.62H+25.112	Groene dijk, 1/250 p.j.		1/4.500	
DV13_69.41-69.42	Te korte damwandplank		1/32.750	
DV14_69.39-69.40+15	Te korte damwand		1/18.450	
DV15_69.34-69.36+20	Gieterijweggetje, foliedijk, 1/250		1/1.400	<10 ⁻⁶

Tabel 33 : Berekende faalkansen voor de dijken van dijkkring 69

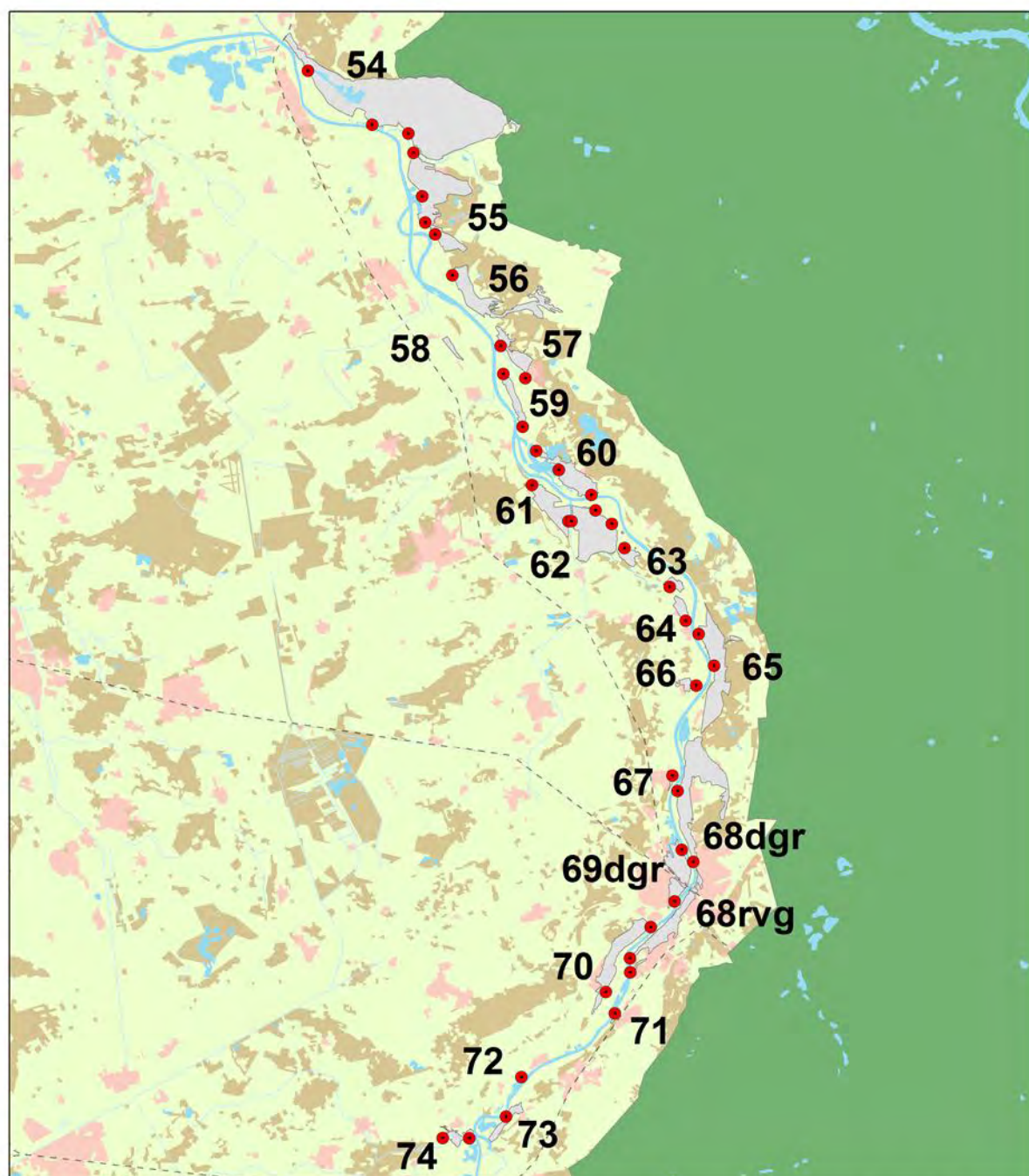
Dijkvak	Omschrijving	Faalkansen mechanisme [per jaar]		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	stabiliteit
DV22_50.740.15	Groene dijk, nabij Rosslag, 1/250 p.j.			1/2.580

Tabel 34 : Berekende faalkansen voor de dijken van dijkkring 77

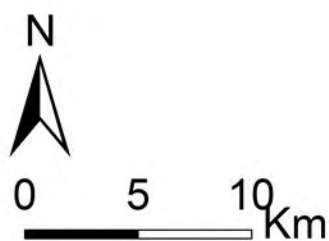
Dijkvak	Omschrijving	Faalkansen mechanisme [per jaar]		
		Overloop / overslag	Opbarsten / piping	stabiliteit
DV01, Habitatsingel	Recent verbeterd, 1/250 p.j.	1/540		1/3.000
DV02, Pietersplas	1/250 p.j.	1/960		
DV03, Pietersplas	Tot aan camping, 1/250 p.j.	1/660		
DV04, Pietersplas	Vanaf camping, 1/250 p.j.	1/1.200		
DV05, Maastricht centrum	Tot aan Kennedybrug, 1/250 p.j.	1/2.000		
DV06, Maastricht centrum	Vanaf Kennedybrug, 1/250 p.j.	1/2.200		
DV07, Maastricht noord	Tot aan sluis Limmel, 1/250 p.j.	1/2.900		

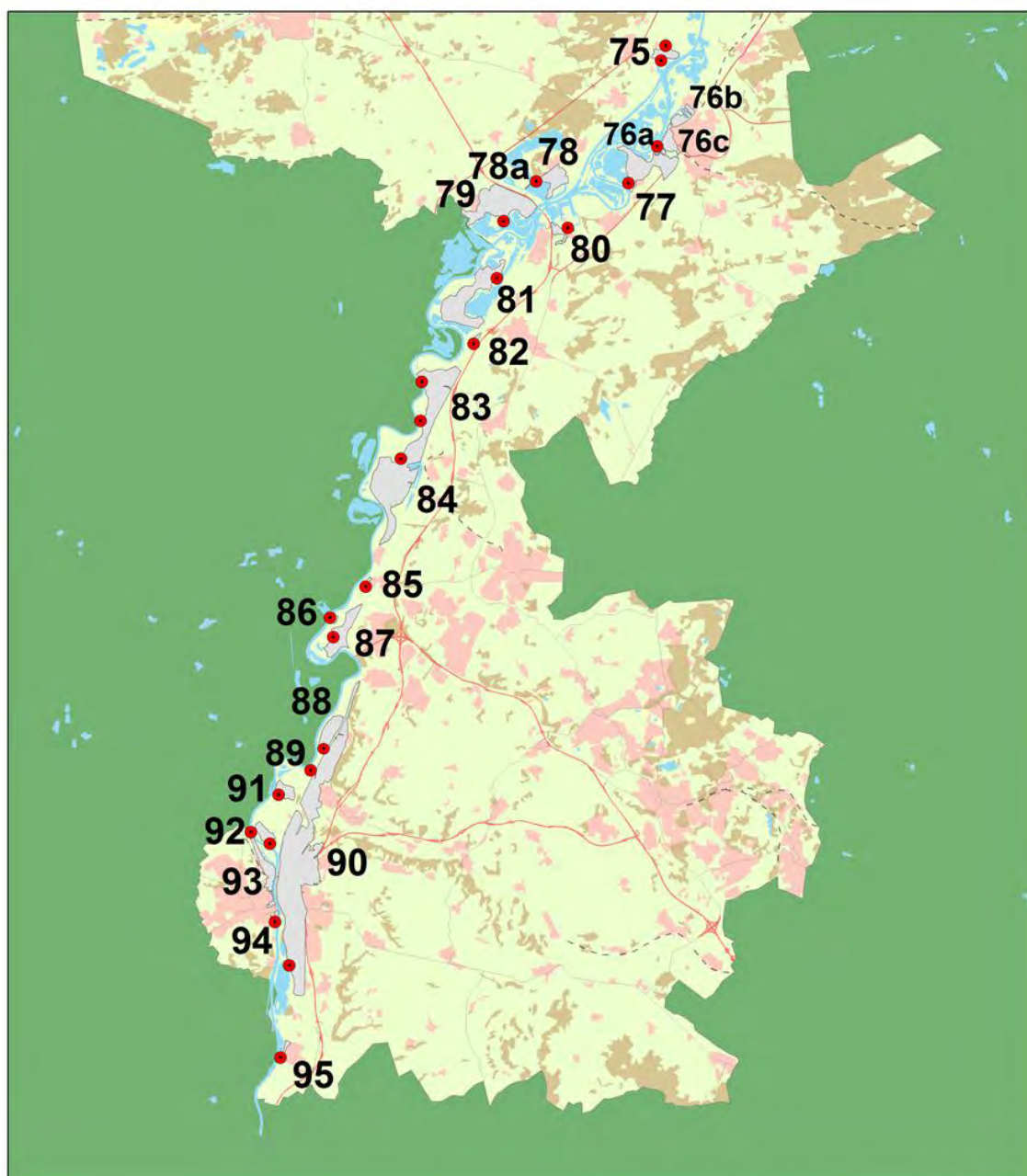
Tabel 35: Berekende faalkansen voor de dijken van dijkkring 90

Bijlage F Overzicht breslocaties dijkringen Limburg

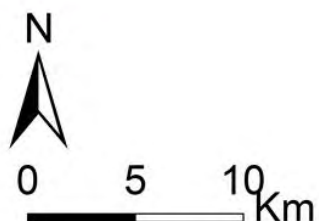


Dijkkring 54 - 74





Dijkkring 75 - 95



Bijlage G Kritieke waterstanden voor de breslocaties

Dijkkring	Rivier- km		Locatie	Kritieke waterstand	Beheerder: WPM/WRO	Ingeschatte Overstroming- Kans	Bron / keuze
				[m tov NAP]		[per jaar]	
54	163,5	Ottersum-Mook	DP54.164 Mook/Middelaar	11,8	WPM	> 1/100	waterstand in het ontwerp punt, VNK- analyse opbarsten en piping
54	158,1	Ottersum-Mook	DP54.110 (DV05)	12,5	WPM	jan-50	waterstand in het ontwerp punt, VNK- analyse
54	156,7	Ottersum-Mook	DP54.089 / DV06	13,23	WPM	> 1/100	waterstand in het ontwerp punt, VNK- analyse overloop en golfoverslag
55	156,0	Gennep	DV09 Gennep	12,4	WPM	> 1/100	waterstand in het ontwerp punt, VNK- analyse opbarsten en piping
55	153,7	Gennep	Heijen, Paesplasweg	13,75	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM (uit de sessie van WPM en Ron Agtersloot)
55	152,4	Gennep	Heijen, Kasteelstraat	13,81	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM (uit de sessie van WPM en Ron)

									Agtersloot)
55	151,9	Gennep		Gennep zuid		13,75	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM (uit de sessie van WPM en Ron Agtersloot)
56	147,1	Afferden		DP 56.058		13,41	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhoogte van 0,5 m
57	142,7	Nieuw Bergen		DP 57.055		13,84	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhoogte van 0,5 m
59	141,2	Bergen		DP 59.027		14,07	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als

57	141,0	Nieuw Bergen	DP 57.030	14,07	WPM	> 1/100	ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhoogte van 0,5 m
							waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhoogte van 0,5 m
59	138,2	Bergen	DP 59.059	14,4	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhoogte van 0,5 m
							waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand op basis van piping en macrostabiliteit binnenwaarts
60	136,8	Well	DP60.90	14,59	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand op basis van piping en macrostabiliteit binnenwaarts
							waterstand bepaald door WPM:
61	135,3	Wanssum	DP 61.075	14,4	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM:

60	134,5	Well			DP 60.070	14,5		WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand op basis van piping en macrostabiliteit binnenwaarts
61	133,0	Wanssum			DP 61.040	14,7		WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand op basis van piping en macrostabiliteit binnenwaarts
62	133,0	Wanssum			DP 62.057	14,95		WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand op basis van piping en macrostabiliteit binnenwaarts
62	132,0	Wanssum			DP 62.035	14,8		WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand op basis van piping en macrostabiliteit binnenwaarts
60	131,9	Well			DP 60.040	14,95		WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand op basis van piping en

63	129,5	Blitterswijk	DP 63.093	15,15	WPM	> 1/100	macrostabiliteit binnenwaarts waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand op basis van piping en macrostabiliteit binnenwaarts
63	128,1	Blitterswijk	DP 63.073	15,15	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand op basis van piping en macrostabiliteit binnenwaarts
63	125,9	Blitterswijk	DP 63.042	15,85	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhogte van 0,5 m
64	122,7	Broekhuizenvorst	DP 64.030	16,23	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per

65	122,0	Arcen	DP 65.065	16,33	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhogte van 0,5 m
65	120,2	Arcen	DP 65.043	16,53	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhogte van 0,5 m
66	119,0	Lottum	DP 66.037	16,62	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhogte van 0,5 m

67	113,9	Grubbenvorst	DP 67.035	17,27	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhoogte van 0,5 m
68	112,0	Venlo-Velden		19	WPM	1/200	waterstand bepaald door WPM (uit de sessie van WPM en Ron Agtersloot)
68	110,5	Venlo-Velden zuid	Dijkkring 68	17,65	WPM	1/130	waterstand in het ontwerppunt, VNK-analyse overloop en golfoverslag
69	110,0	Blerick Noord	DP 69.067	17,72	WPM	1/200	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhoogte van 0,5 m

68	109,2	Venlo-Velden	DP68.115 Venlo Velden	18,25	WPM	1/200	waterstand in het ontwerppunt, VNK- analyse
69	106,8	Blerick Noord	DR69 DV15	18,8	WPM	1/200	waterstand in het ontwerppunt, VNK- analyse opbarsten en piping
70	105,0	Baarlo	DP 70.075	18,15	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand op basis van piping
68dgr	102,2	Venlo-Velden noord	DP 68.34	17,7	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhogte van 0,5 m
70	100,8	Baarlo	DP 70.031	18,76	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhogte van 0,5 m

71	100,0	Belfeld	DP 71.036	18,83	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhogte van 0,5 m
72	94,1	Kessel	DP 72.031	19,43	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhogte van 0,5 m
73	92,0	Beesel	DP 73.032	19,68	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhogte van 0,5 m

74	89,0	Neer	DP 74.050	19,9	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand 0,5m beneden kruinhoogte, waarbij kruinhoogte is gedefinieerd als ontwerpwaterstand Maaswerken (1/250 per jaar) + waakhoogte van 0,5 m
74	88,5	Neer	DP 74.030	20	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM (uit de sessie van WPM en Ron Agtersloot)
75	85,3	Buggenum	DP75.50	20,06	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM (uit de sessie van WPM en Ron Agtersloot)
75	84,9	Buggenum	DP75.031	20,11	WPM	> 1/100	waterstand bepaald door WPM (uit de sessie van WPM en Ron Agtersloot)
76	78,3	Roermond	50.770.1	21,4	WRO	1/1250	waterstand bepaald door WRO op basis van de calamiteitwaterstanden, rekening houdend met een verbetering in de huidige zwakke vakken bij Alexanderhaven
77	72,0	Roermond 3	50.740.1	20,78	WRO	1/150	waterstand bepaald door WRO op basis van

78	68Z	Panheel				22,6		WPM		< 1/2500	calamiteitwaterstanden (opbarsten en piping) waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand op basis van macro-stabiliteit binnenwaarts
80	67,9	Maasbracht			50.660.1 Brachterbeek	23,2		WRO		< 1/2500	waterstand bepaald door WRO op basis van de calamiteitwaterstanden (diverse faalmechanismen), rekening houdend met een verbetering in vak 50.660.2
79	64,4	Thorn-Wessem			DP 79.60	22,63		WPM		> 1/100	waterstand bepaald door WPM: faalwaterstand op basis van piping
81	62,0	Stevensweert			50.630.1 Ohe en Laak / Stevensweert	25,1		WRO		1/820	waterstand bepaald door WRO, 50.630.33 wordt verbeterd, 50.630.1 wordt dan het zwakste vak
82	55,5	Aasterberg			50.620.1 Aasterberg	28,02		WRO		1/190	waterstand bepaald door WRO op basis van calamiteitwaterstanden (overloop en golfoverslag)
83	51,0	Grevenbicht_Visserweert			50.540.7 Visserweert	31,4		WRO		1/310	waterstand bepaald door WRO op basis van

								calamiteitwaterstanden
84	48,8	Grevenbicht_Visserweert	50.550.6 Ilikhoven – Roosteren	30,8	WRO	1/310		waterstand bepaald door WRO, ontwerpwaterstand dijkverbetering + 0,3m
84Z	45,0	Grevenbicht_Visserweert	50.530.6 Grevenbicht – Ilikhoven	32	WRO	1/310		waterstand bepaald door WRO, ontwerpwaterstand dijkverbetering + 0,3m
85	37,1	Urmond	50.420.1 Urmond	37,05	WRO	<1/2500		waterstand bepaald door WRO op basis van calamiteitwaterstanden
86	34,6	Meers-Maasband	50.410.14 Meers - Maasband	38,19	WRO	<1/2500		waterstand bepaald door WRO, ontwerpwaterstand dijkverbetering + 0,3m
87	33,9	Meers-Maasband	50.410.10 Meers - Maasband	38,44	WRO	<1/2500		waterstand bepaald door WRO, ontwerpwaterstand dijkverbetering + 0,3m
88	24,0	Aan de Maas	50.320.1 Geulle aan de Maas	43,7	WRO	1/930		waterstand bepaald door WRO op basis van calamiteitwaterstanden (macro-stabiliteit binnenwaarts)
89	22,7	Voulwames	50.310.1 Voulwames	43,63	WRO	1/150		waterstand bepaald door WRO op basis van calamiteitwaterstanden (overloop en golfoverslag)

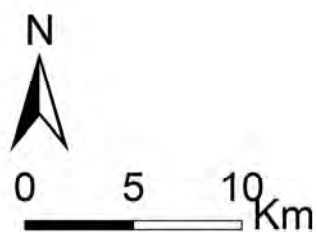
91	19,3	Itteren	50.240.17 Itteren	43,36	WRO	> 1/100	waterstand bepaald door WRO op basis van calamiteitwaterstanden (opbarsten en piping)
93	17,0	Bossherveld	50.210.7 Bossherveld / Bossherpoort	45,53	WRO	< 1/2500	waterstand bepaald door WRO op basis van calamiteitwaterstanden / kerende hoogte minus 0,2m
92	16,0	Borgharen	50.230.12 Borgharen	44,85	WRO	> 1/100	waterstand bepaald door WRO op basis van calamiteitwaterstanden (overloop en golfoverslag)
94	11,8	Maastricht-West	50.130.1 St. Pieter	47,9	WRO	1/320	waterstand bepaald door WRO op basis van calamiteitwaterstanden / kerende hoogte minus 0,2m
90	9,0	Geulle Maastricht	DV01 DWP61	49,27	WRO	1/490	waterstand in het ontwerppunt, VNK- analyse overloop en golfoverslag
95	5,0	Eijsden	50.110.1 Eijsden	49	WRO	> 1/100	waterstand bepaald door WRO op basis van calamiteitwaterstanden / kerende hoogte minus 0,2m

Bijlage H Resultaten overstromingsberekeningen

Waterdiepten: Afvoerdebiet van 2685 m³/s (1/25 per jaar) – DR54 t/m 74

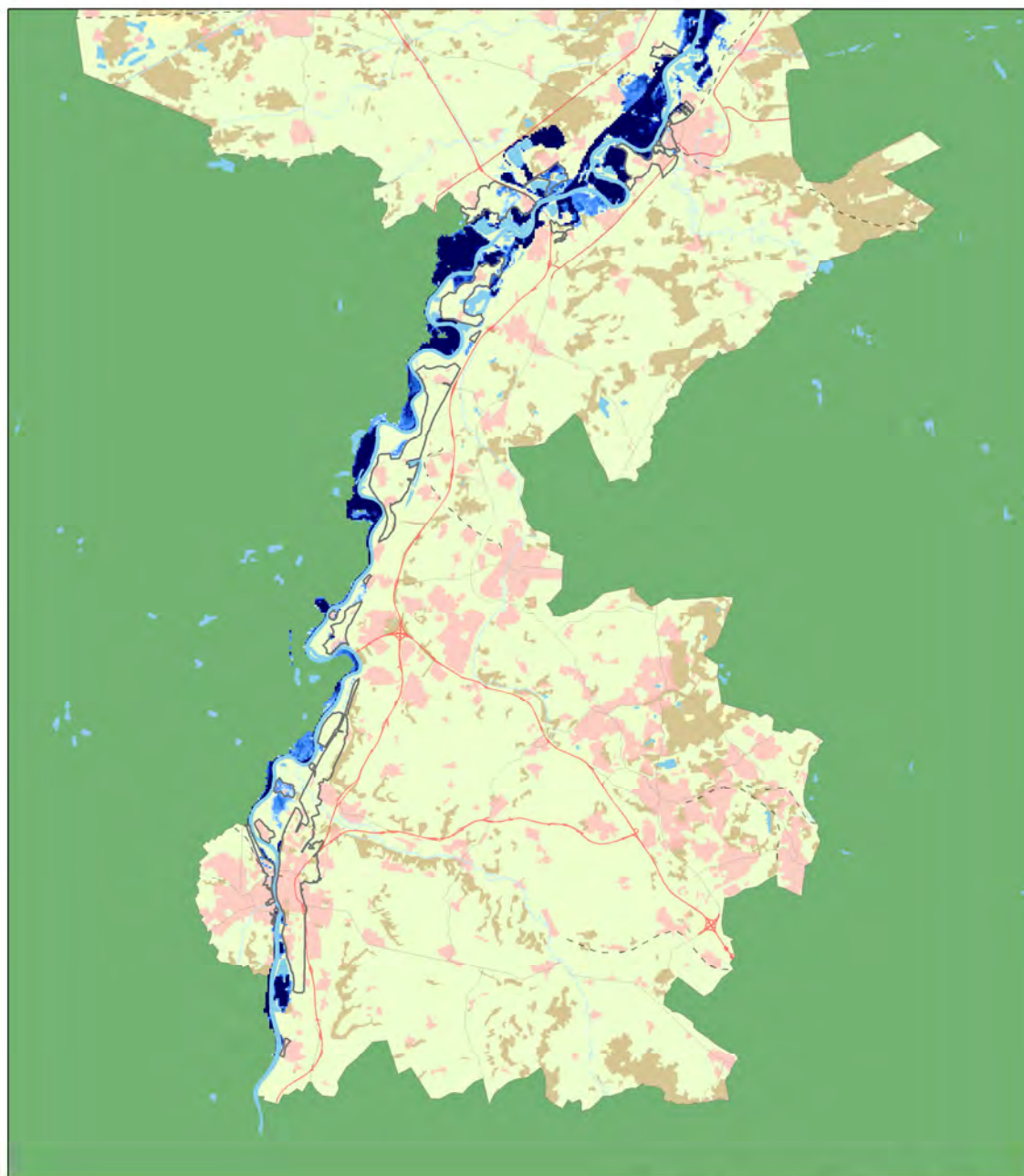


Dijkkring 54 - 74

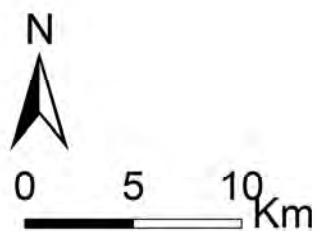


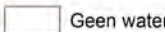
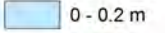
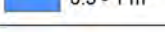
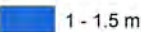
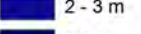
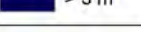
Max. waterdiepte (m)	
Geen water	1 - 1.5 m
0 - 0.2 m	1.5 - 2 m
0.2 - 0.5 m	2 - 3 m
0.5 - 1 m	> 3 m

Waterdiepten: Afvoerdebiet van 2685 m³/s (1/25 per jaar) – DR54 t/m 74



Dijkring 75 - 95

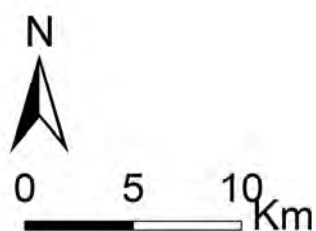


Max. waterdiepte (m)	
	Geen water
	0 - 0.2 m
	0.2 - 0.5 m
	0.5 - 1 m
	1 - 1.5 m
	1.5 - 2 m
	2 - 3 m
	> 3 m

Waterdiepten: Afvoerdebiet van 3109 m³/s (1/100 per jaar) – DR54 t/m 74

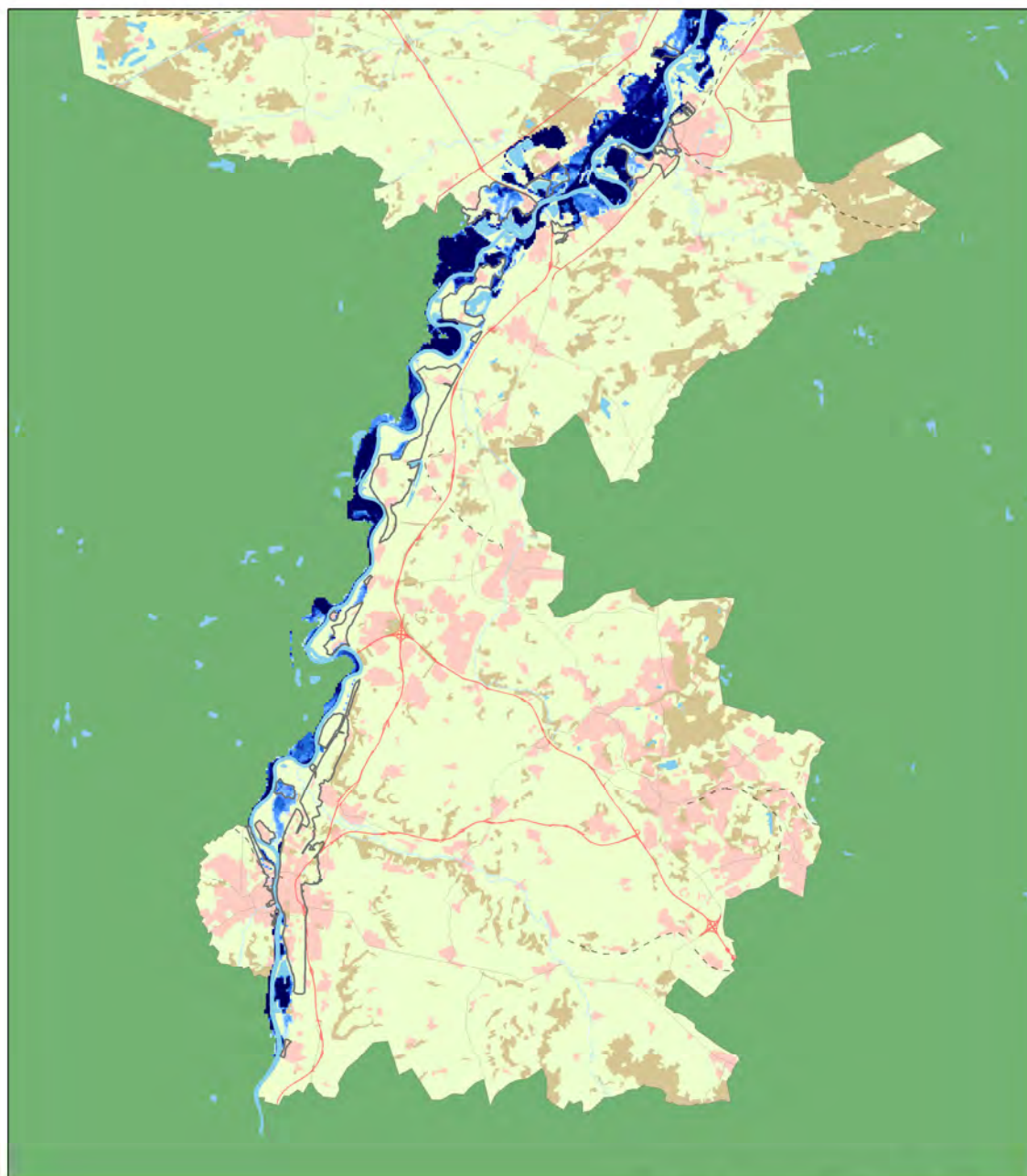


Dijkkring 54 - 74

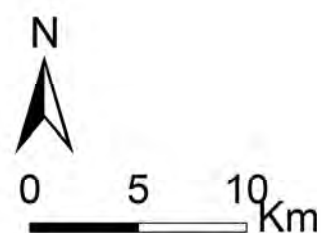


Max. waterdiepte (m)			
	Geen water		1 - 1.5 m
	0 - 0.2 m		1.5 - 2 m
	0.2 - 0.5 m		2 - 3 m
	0.5 - 1 m		> 3 m

Waterdiepten: Afvoerdebiet van 3109 m³/s (1/100 per jaar) – DR54 t/m 74



Dijkkring 75 - 95

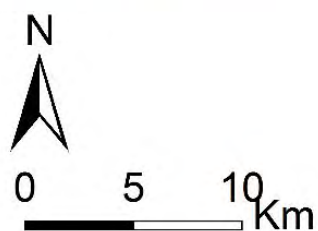


Max. waterdiepte (m)	
Geen water	1 - 1.5 m
0 - 0.2 m	1.5 - 2 m
0.2 - 0.5 m	2 - 3 m
0.5 - 1 m	> 3 m

Waterdiepten: Afvoerdebiet van 3430 m³/s (1/250 per jaar) – DR54 t/m 74

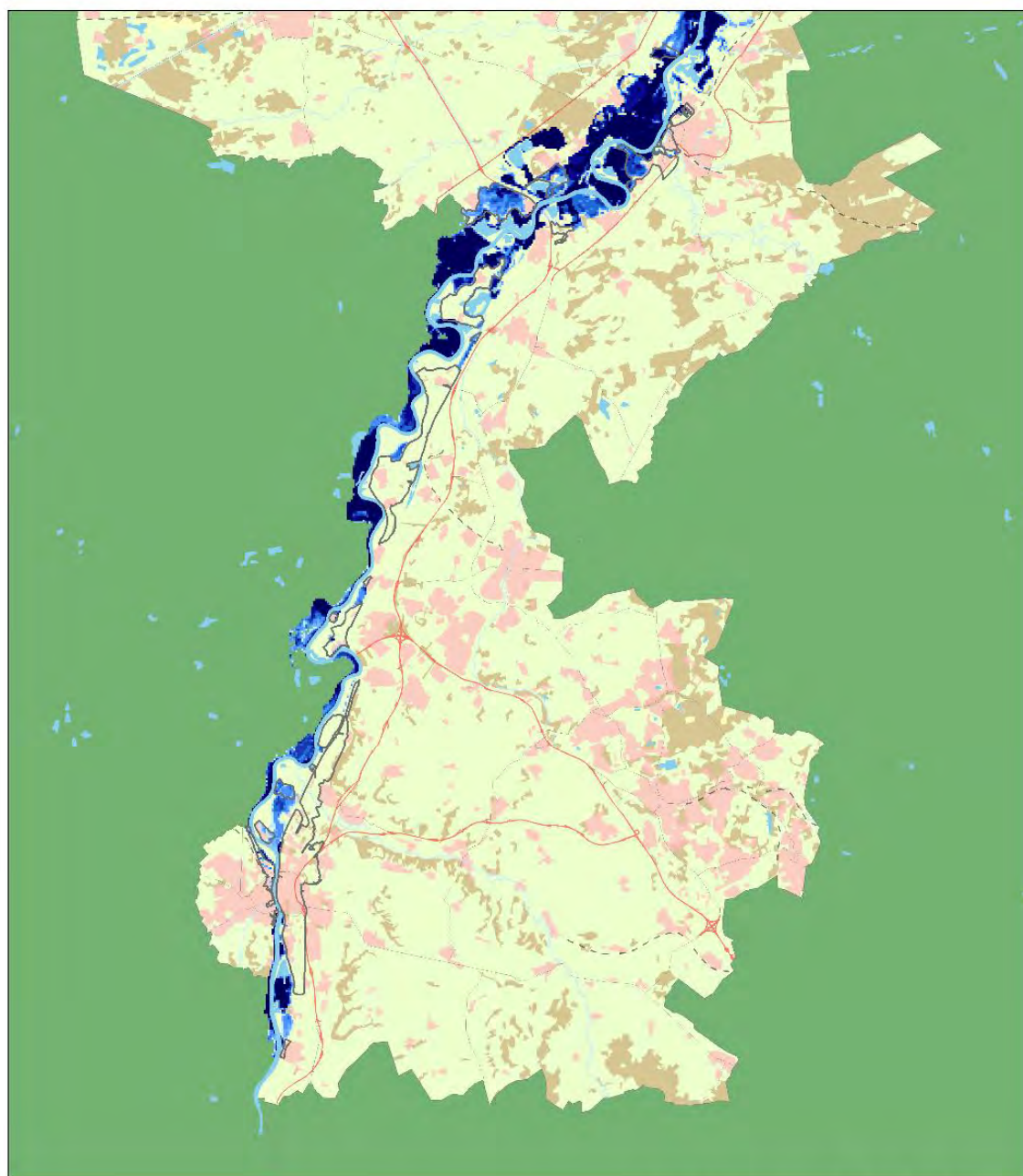


Dijkring 54 - 74

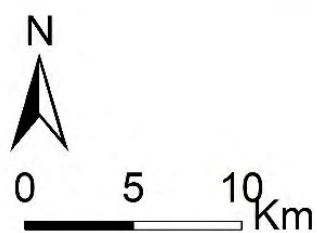


Max. waterdiepte (m)	
Geen water	1 - 1.5 m
0 - 0.2 m	1.5 - 2 m
0.2 - 0.5 m	2 - 3 m
0.5 - 1 m	> 3 m

Waterdiepten: Afvoerdebiet van 3430 m³/s (1/250 per jaar) – DR54 t/m 74

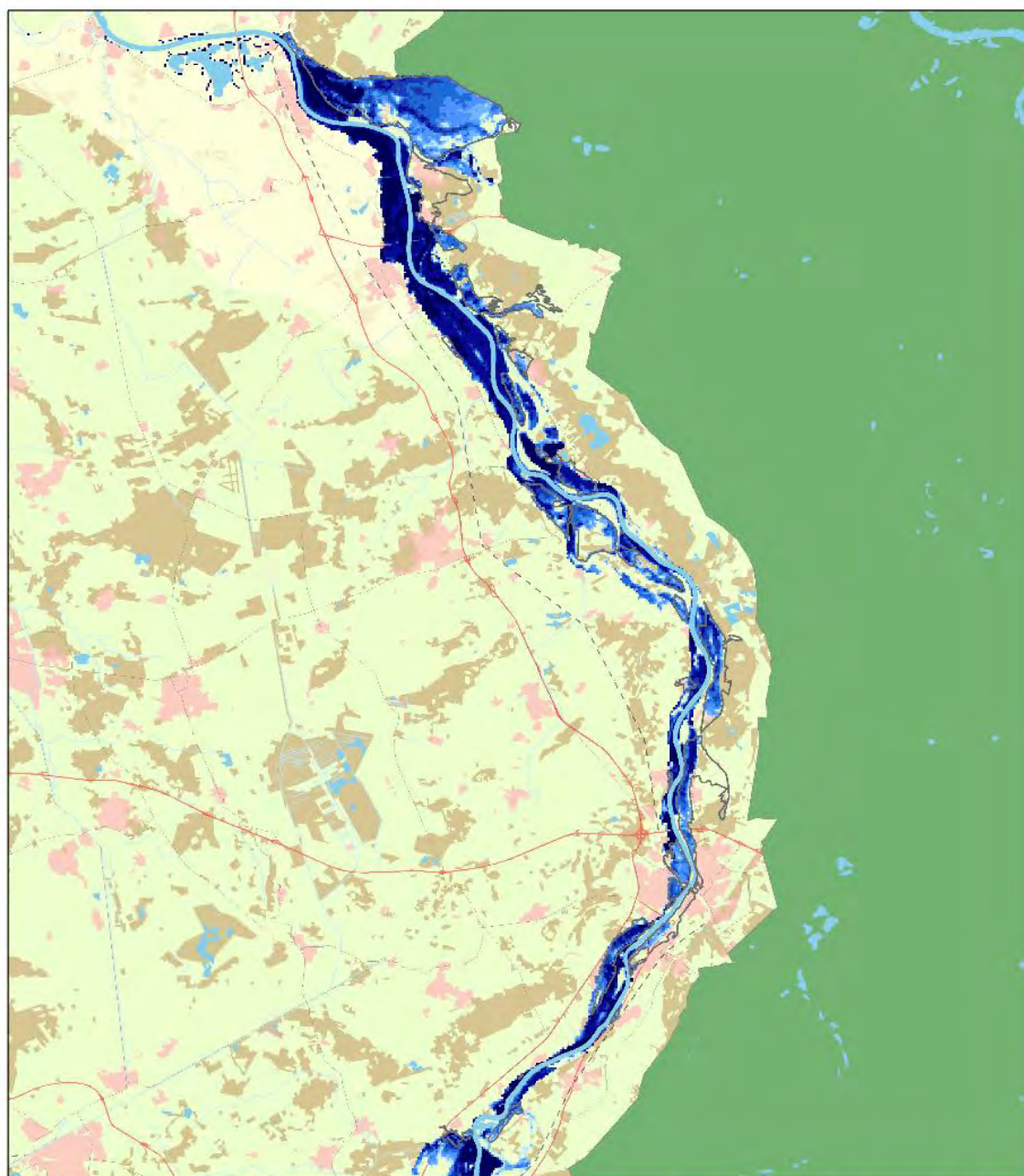


Dijkkring 75 - 95

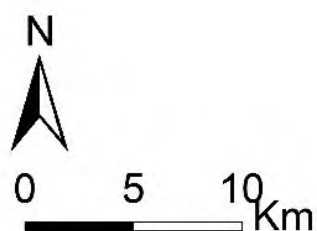


Max. waterdiepte (m)	
	Geen water
	0 - 0.2 m
	0.2 - 0.5 m
	0.5 - 1 m
	1 - 1.5 m
	1.5 - 2 m
	2 - 3 m
	> 3 m

Waterdiepten: Afvoerdebiet van 4000 m³/s (1/1250 per jaar) – DR54 t/m 74

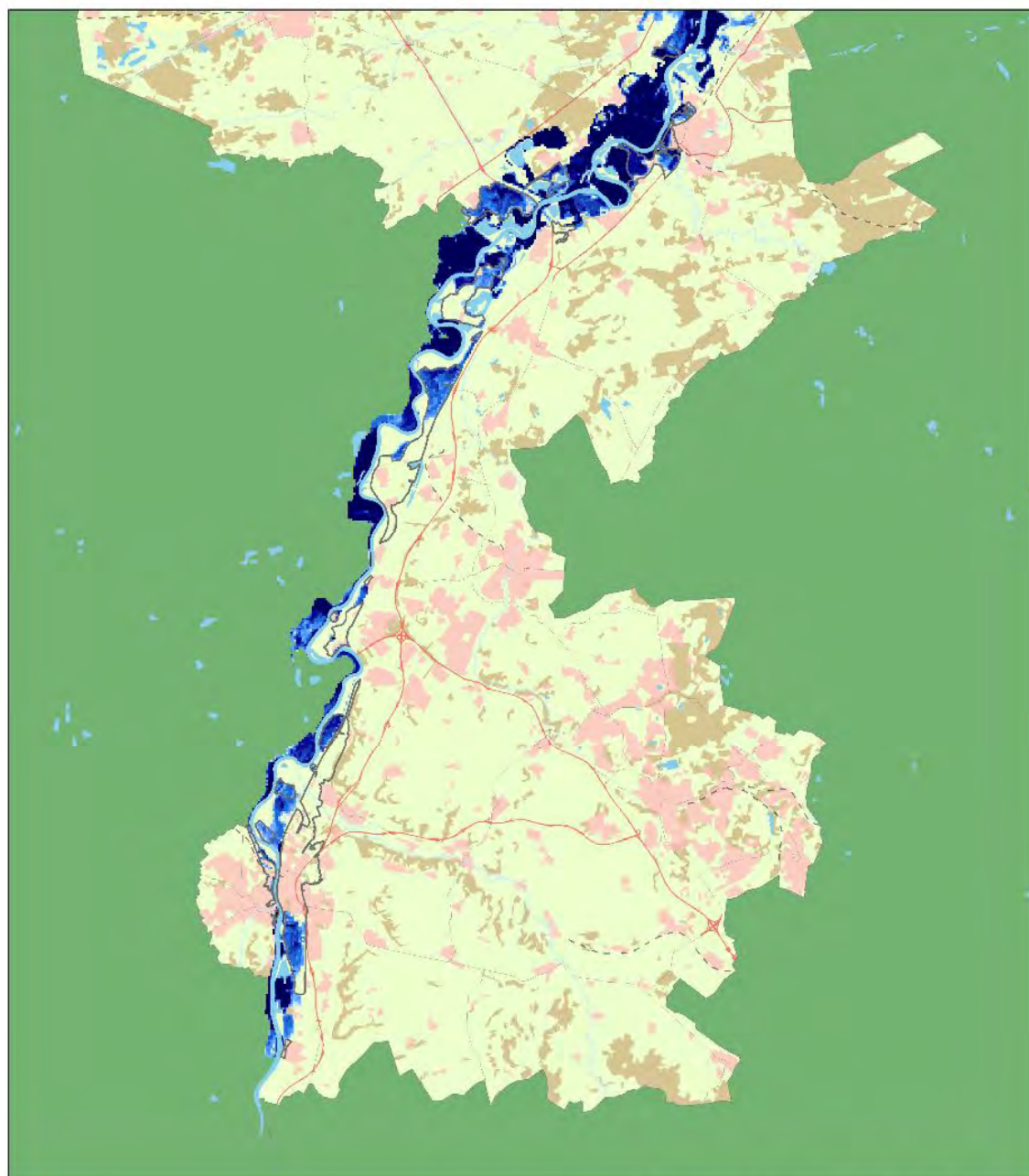


Dijkkring 54 - 74

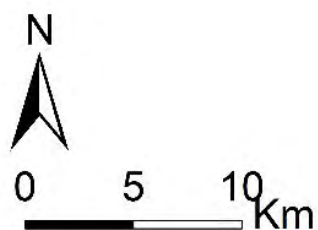


Max. waterdiepte (m)	
Geen water	1 - 1.5 m
0 - 0.2 m	1.5 - 2 m
0.2 - 0.5 m	2 - 3 m
0.5 - 1 m	> 3 m

Waterdiepten: Afvoerdebiet van 4000 m³/s (1/1250 per jaar) – DR54 t/m 74

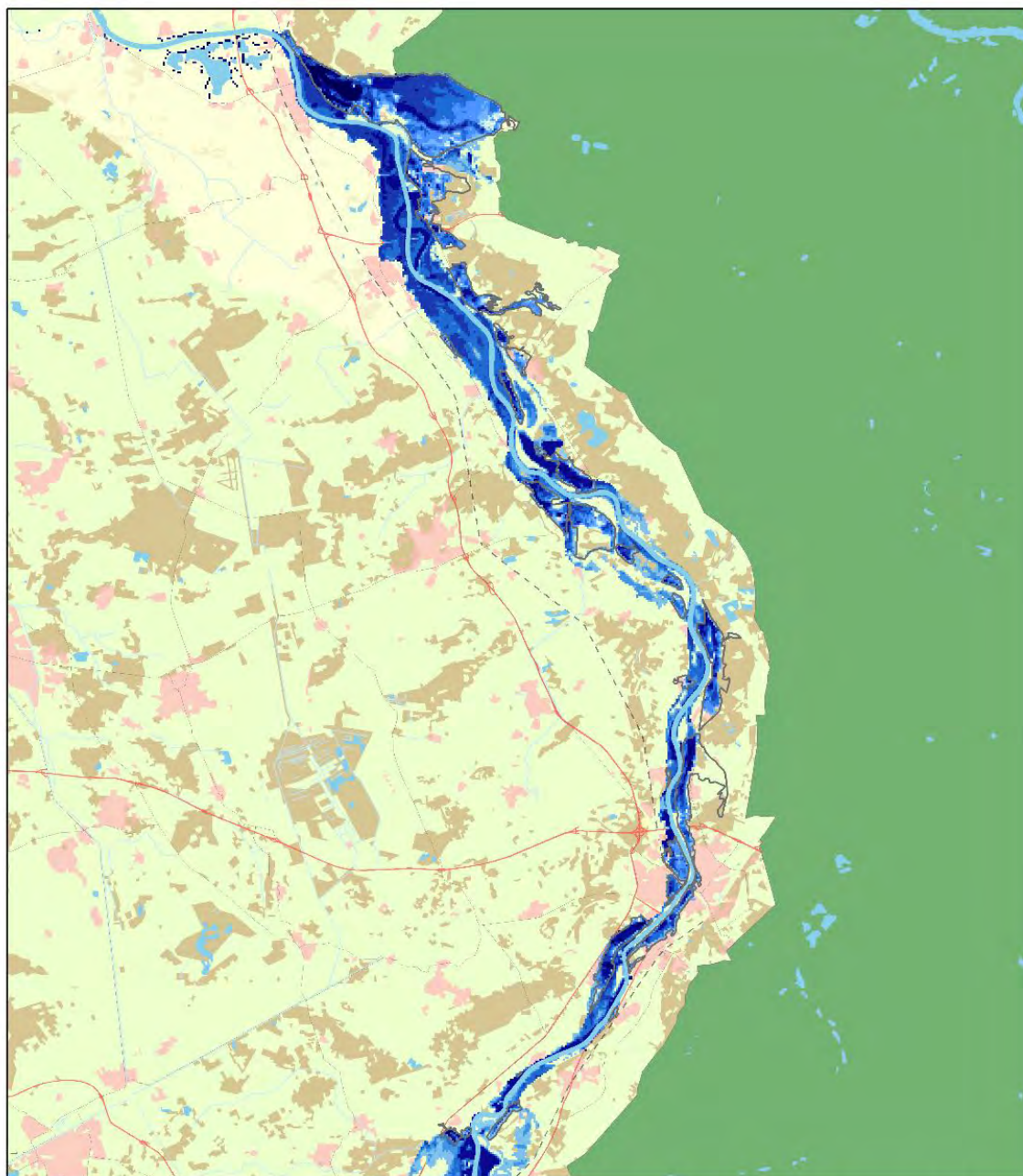


Dijkkring 75 - 95

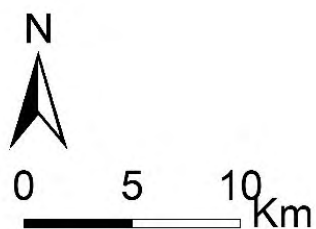


Max. waterdiepte (m)	
Geen water	1 - 1.5 m
0 - 0.2 m	1.5 - 2 m
0.2 - 0.5 m	2 - 3 m
0.5 - 1 m	> 3 m

Waterdiepten: Afvoerdebiet van 4230 m³/s (1/2500 per jaar) – DR54 t/m 74

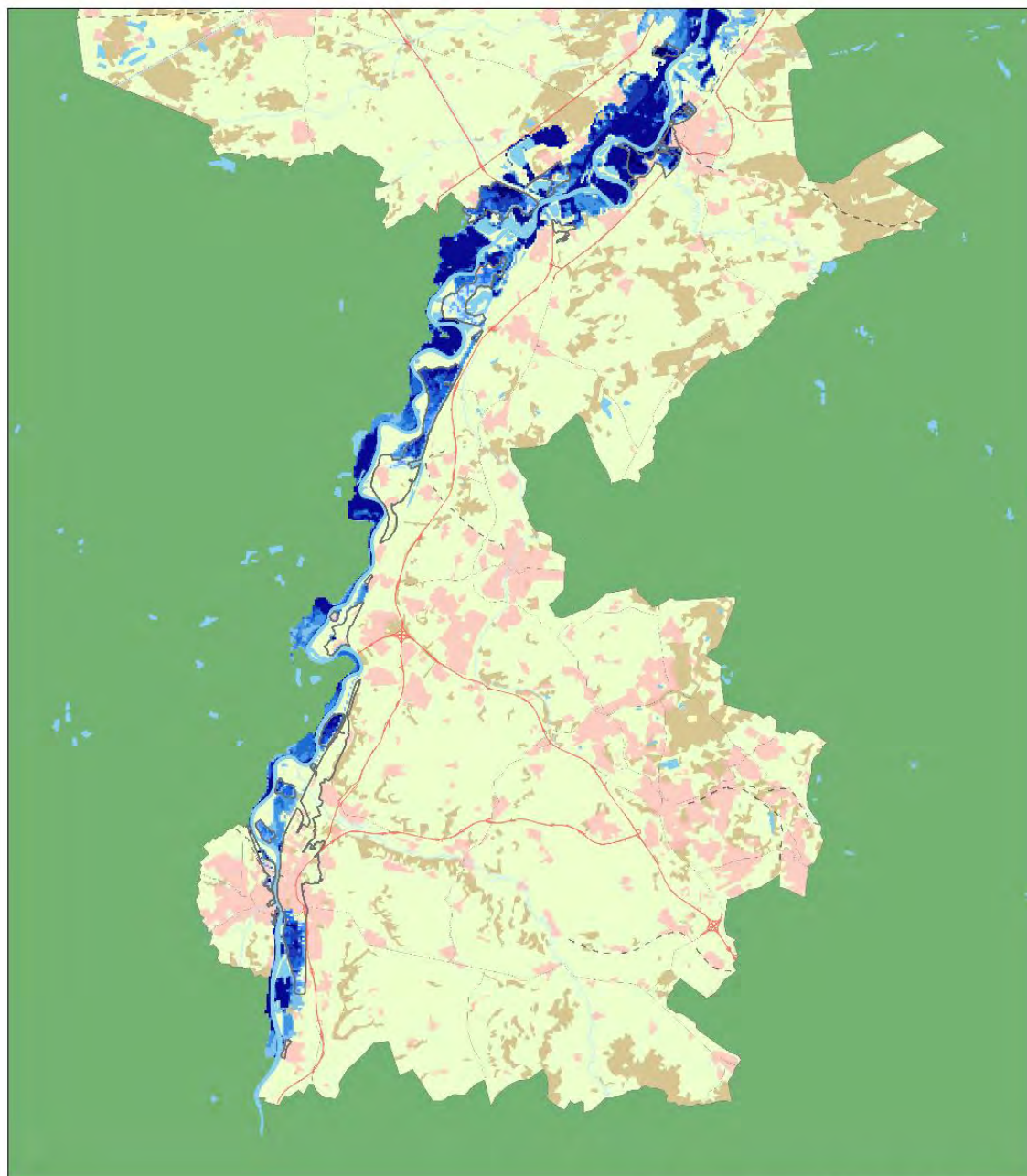


Dijkkring 54 - 74

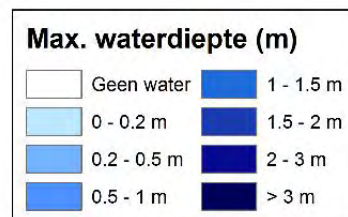
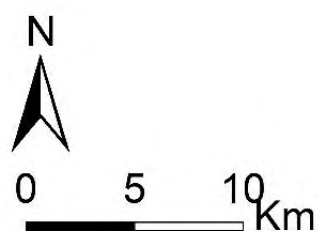


Max. waterdiepte (m)	
Geen water	1 - 1.5 m
0 - 0.2 m	1.5 - 2 m
0.2 - 0.5 m	2 - 3 m
0.5 - 1 m	> 3 m

Waterdiepten: Afvoerdebiet van 4230 m³/s (1/2500 per jaar) – DR54 t/m 74



Dijkkring 75 - 95



Bijlage I Economische risico en slachtofferisico per dijkkring

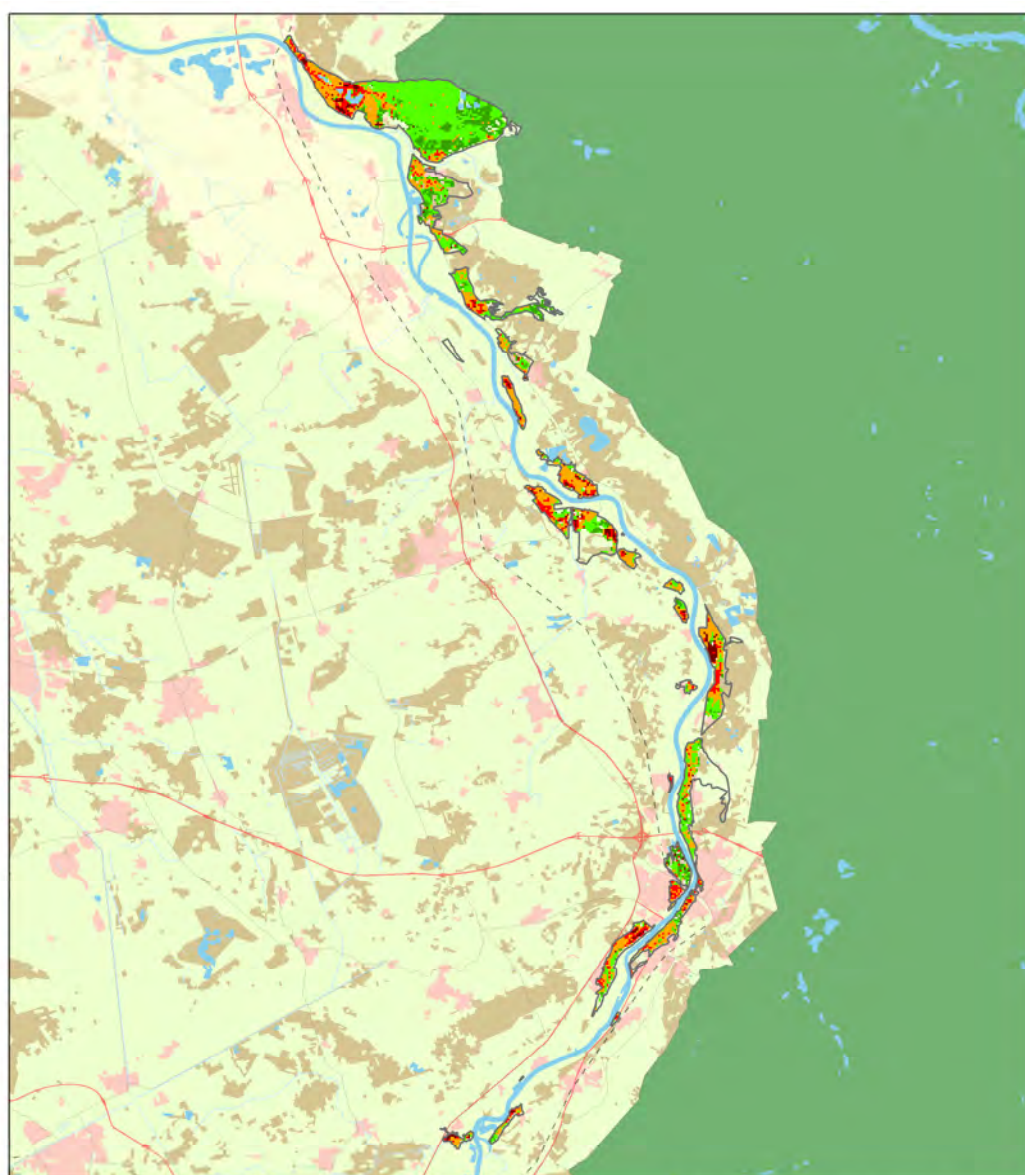
Dijkkringnr:	Waterschap	Dijkkring	Economisch risico [miljoen euro per jaar]	Slachtofferisico [aantal per jaar]
54	WPM	Ottersum-Mook	1,78	0,04
55	WPM	Gennep	0,14	0,00
56	WPM	Afferden	0,13	~ 0
57	WPM	Nieuw Bergen	0,07	~ 0
58	WPM	Groeningen	*1	*1
59	WPM	Bergen	0,14	~ 0
60	WPM	Well	0,45	0,01
61	WPM	Wanssum	0,33	~ 0
62	WPM	Wanssum	0,64	0,01
63N	WPM	Blitterswijck Noord	0,07	~ 0
63Z	WPM	Blitterswijck Zuid	0,03	~ 0
64	WPM	Broekhuizervorst	0,07	0,0
65	WPM	Arcen	1,46	0,03
66	WPM	Lottum	0,01	~ 0
67	WPM	Grubbenvorst	0,03	~ 0
68dgr	WPM	Venlo-Velden Noord	0,11	~ 0
68rvg	WPM	Venlo-Velden Zuid	0,12	~ 0
69dgr	WPM	Blerick Noord	0,16	~ 0
70	WPM	Baarlo	0,38	~ 0
71	WPM	Belfeld	0,02	~ 0
72	WPM	Kessel	0,01	~ 0
73	WPM	Beesel	0,10	~ 0
74	WPM	Neer	0,68	0,01
75	WPM	Buggenum	0,84	0,05
76a	WRO	Roermond 2	0,01	~ 0
76b	WRO	Roermond 5	0,01	~ 0
76c	WRO	Roermond 4	0,06	0,01
77	WRO	Roermond 3	0,40	0,01
78	WPM	Heel	1,10	0,03
78a	WPM	Panheel	~ 0	~ 0
79	WPM	Thorn-Wessem	0,21	~ 0
80	WRO	Maasbracht	~ 0	~ 0
81	WRO	Stevensweert	0,05	~ 0
82	WRO	Aasterberg	0,01	~ 0
83+84	WRO	Grevenbicht_Visserweert	0,16	0,00
85	WRO	Urmond	~ 0	~ 0
86	WRO	Meers_Maasband	~ 0	~ 0
87	WRO	Meers_Maasband	~ 0	~ 0

Dijkkringnr:	Waterschap	Dijkkring	Economisch risico [miljoen euro per jaar]	Slachtoffer risico [aantal per jaar]
88	WRO	Aan de Maas	0,01	~ 0
89	WRO	Voulwames	~ 0	~ 0
90	WRO	Maastricht	0,67	0,02
91	WRO	Itteren	0,74	0,01
92	WRO	Borgharen	0,06	~ 0
93	WRO	Bosscherveld	~ 0	~ 0
94	WRO	Maastricht west	1,15	0,01
95	WRO	Eijsden	~ 0	~ 0
		Totaal binnendijs	12,4	0,24

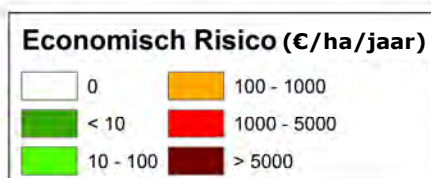
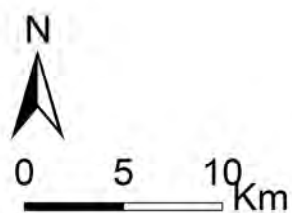
^{*1} *Dijkkring 58 (Groeningen) ligt in het beheergebied van Waterschap Aa en Maas en is in deze studie niet beschouwd.*

Bijlage J Economische risico in Maasdal

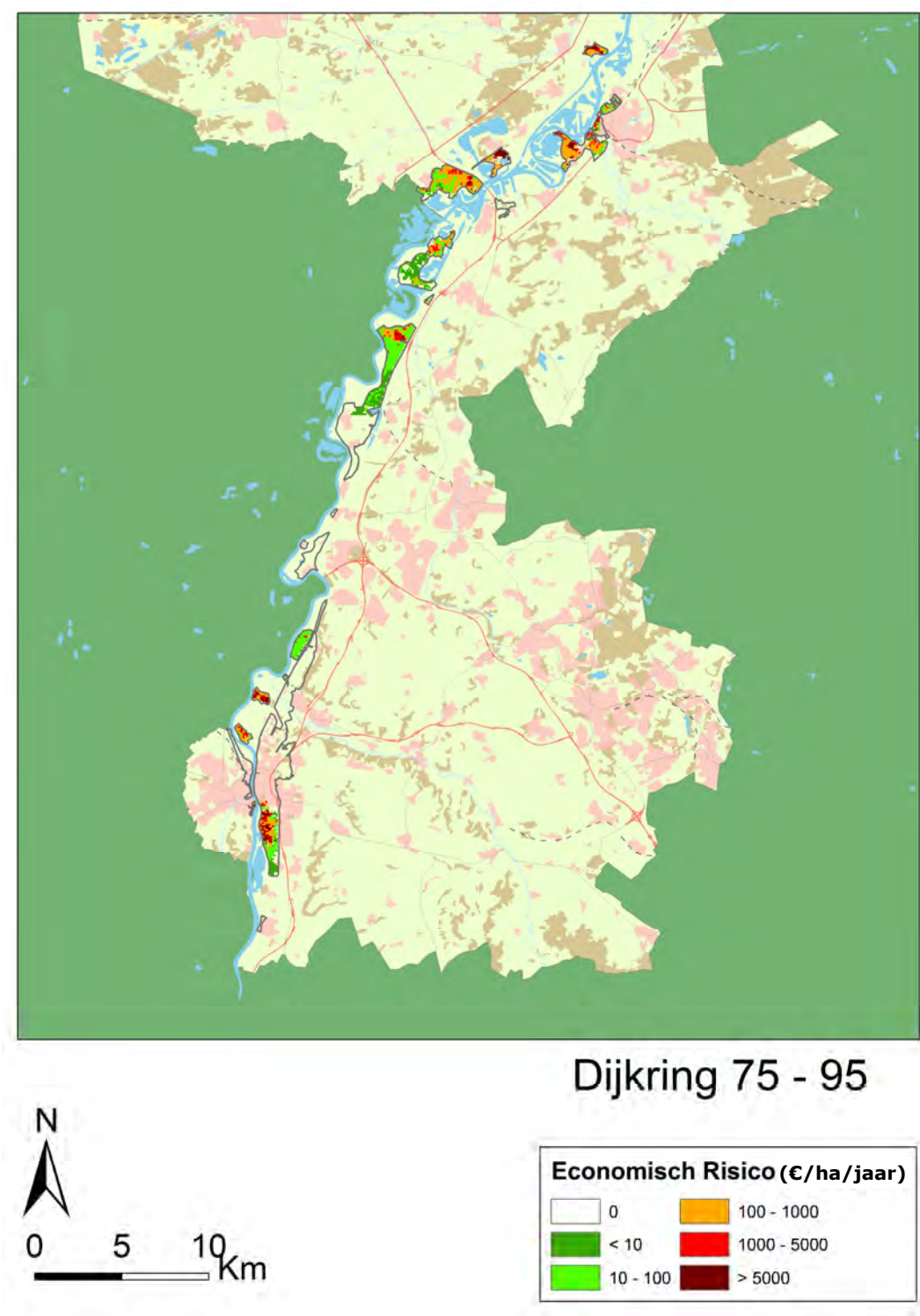
Economisch risico binnen de dijkkringen gebieden 54 t/m 74



Dijkkring 54 - 74



Economisch risico binnen de dijkringen gebieden 75 t/m 95

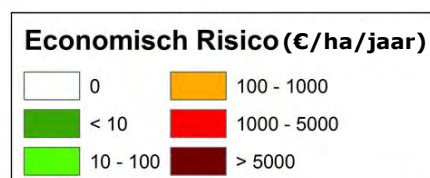
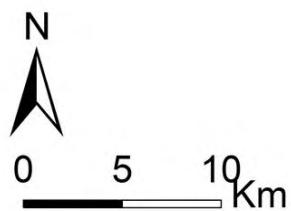


(€/ha/jaar)

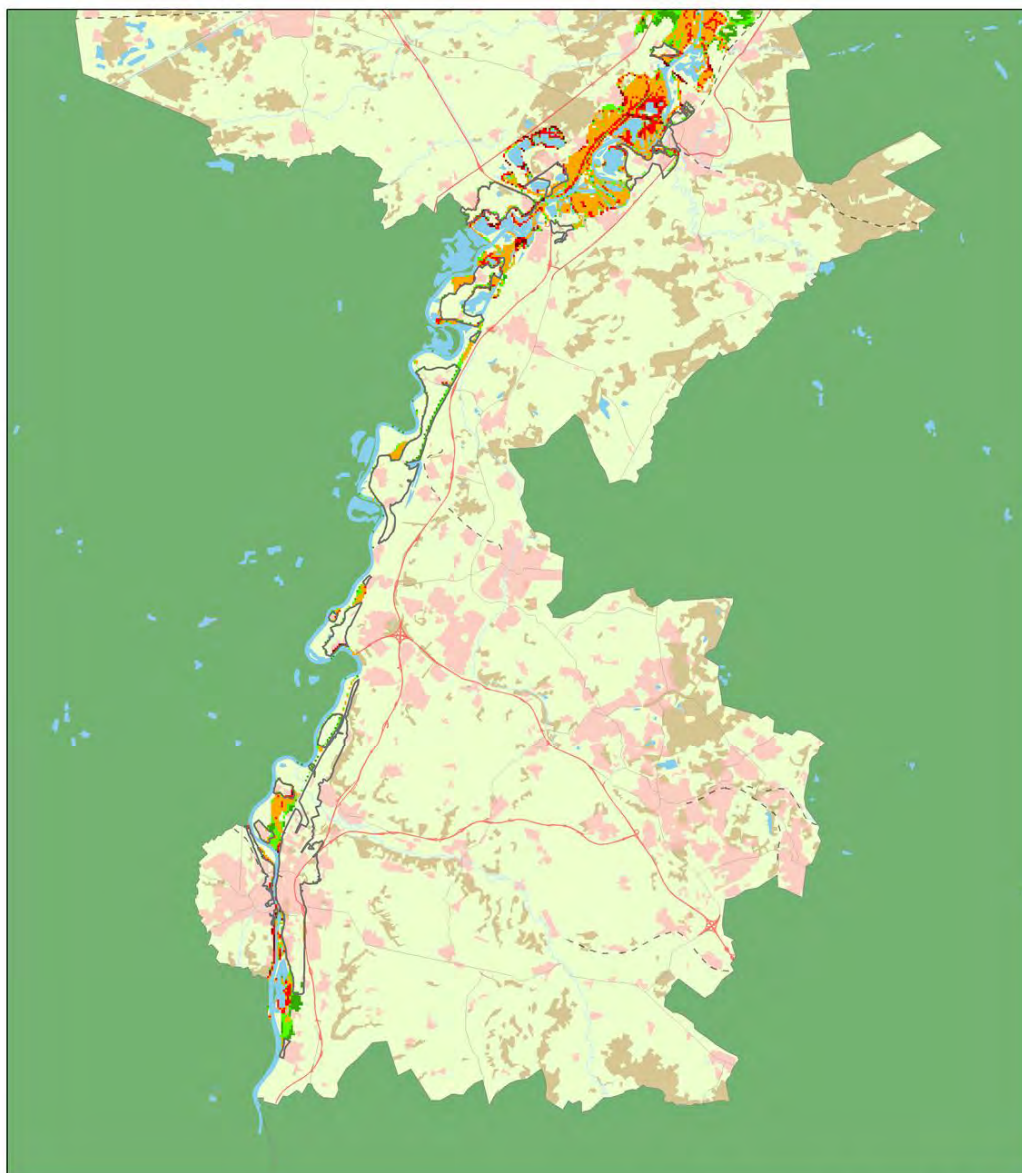
Economisch risico buiten de dijkkringgebieden (t.h.v. dijkkring 54 t/m 74)



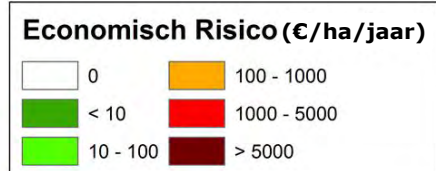
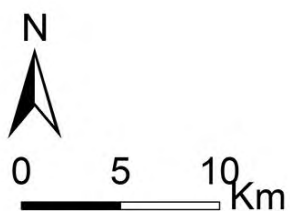
Dijkkring 54 - 74



Economisch risico buiten de dijkringgebieden (thv dijkkring 75 t/m 95)

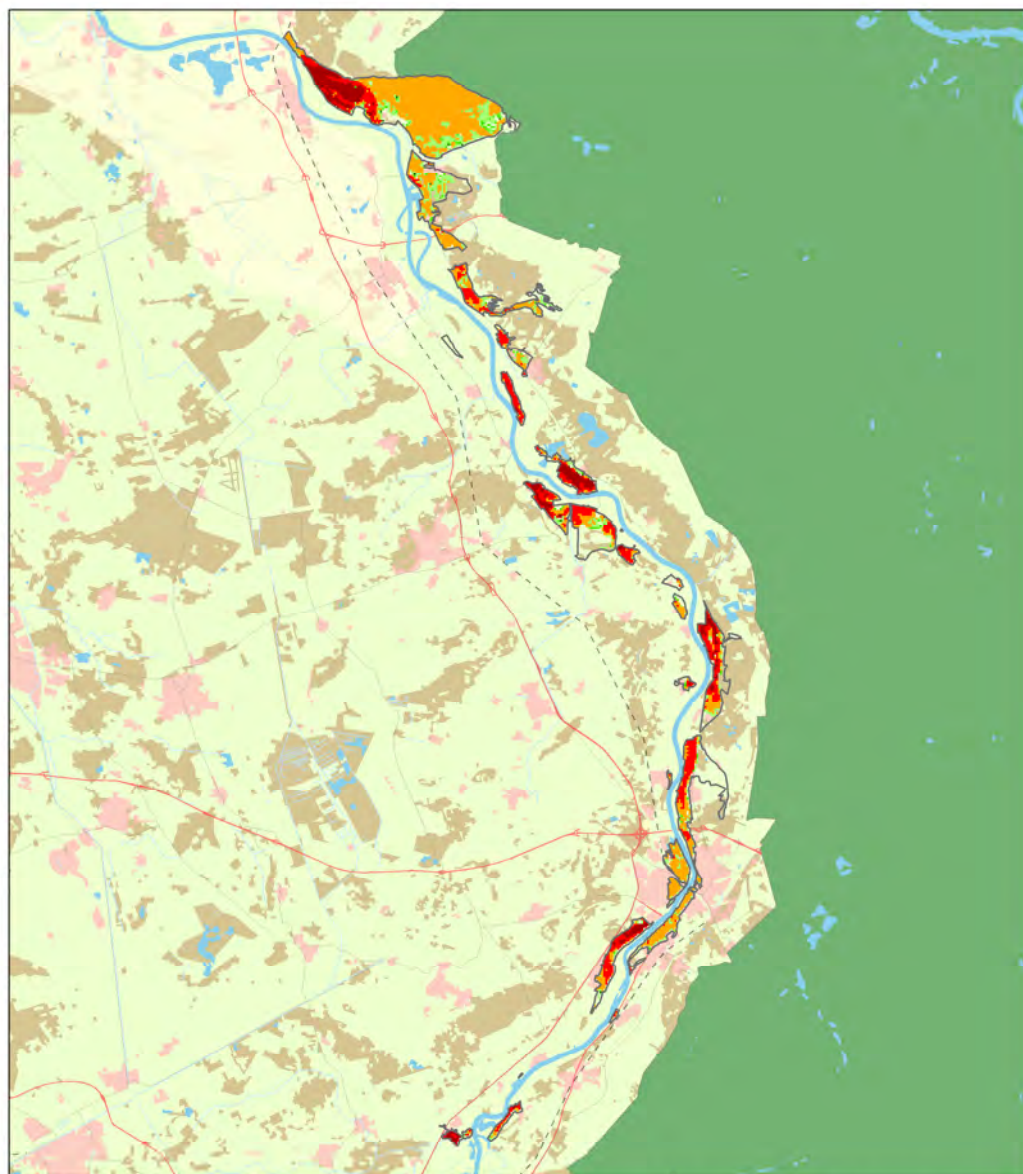


Dijkkring 75 - 95

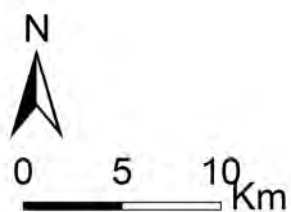


**Bijlage K Plaatsgebonden risico (PR) en Lokaal
individueel risico (LIR) in Maasdal**

Plaatsgebonden risico in de dijkringen 54 t/m 74



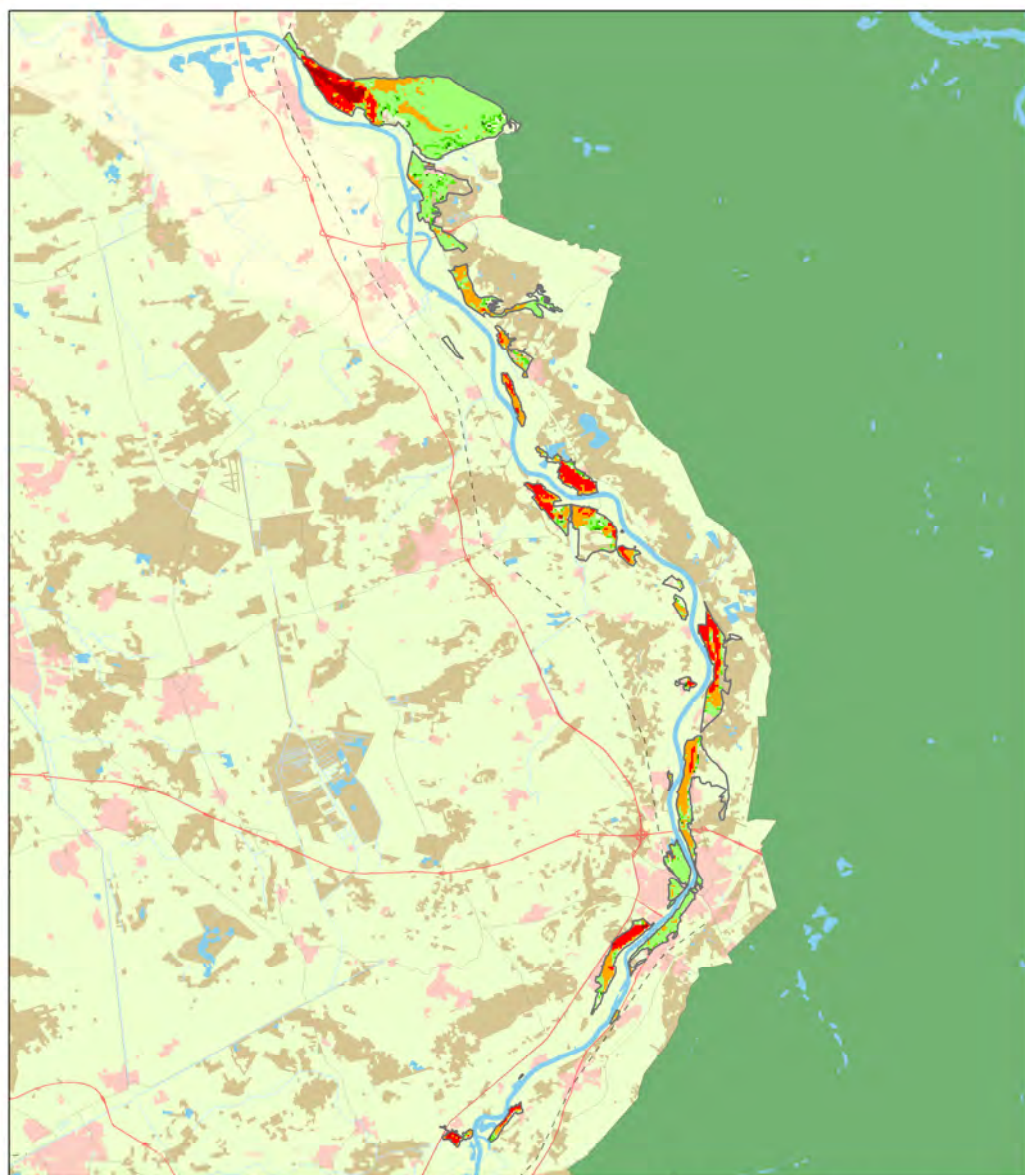
Dijkring 54 - 74



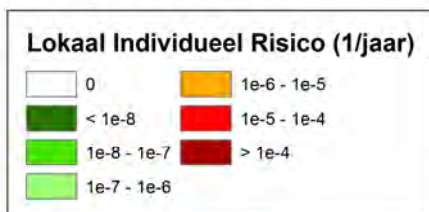
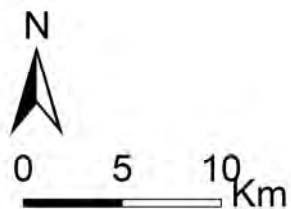
Plaatsgebonden Risico (1/jaar)

0	1e-6 - 1e-5
< 1e-8	1e-5 - 1e-4
1e-8 - 1e-7	> 1e-4
1e-7 - 1e-6	

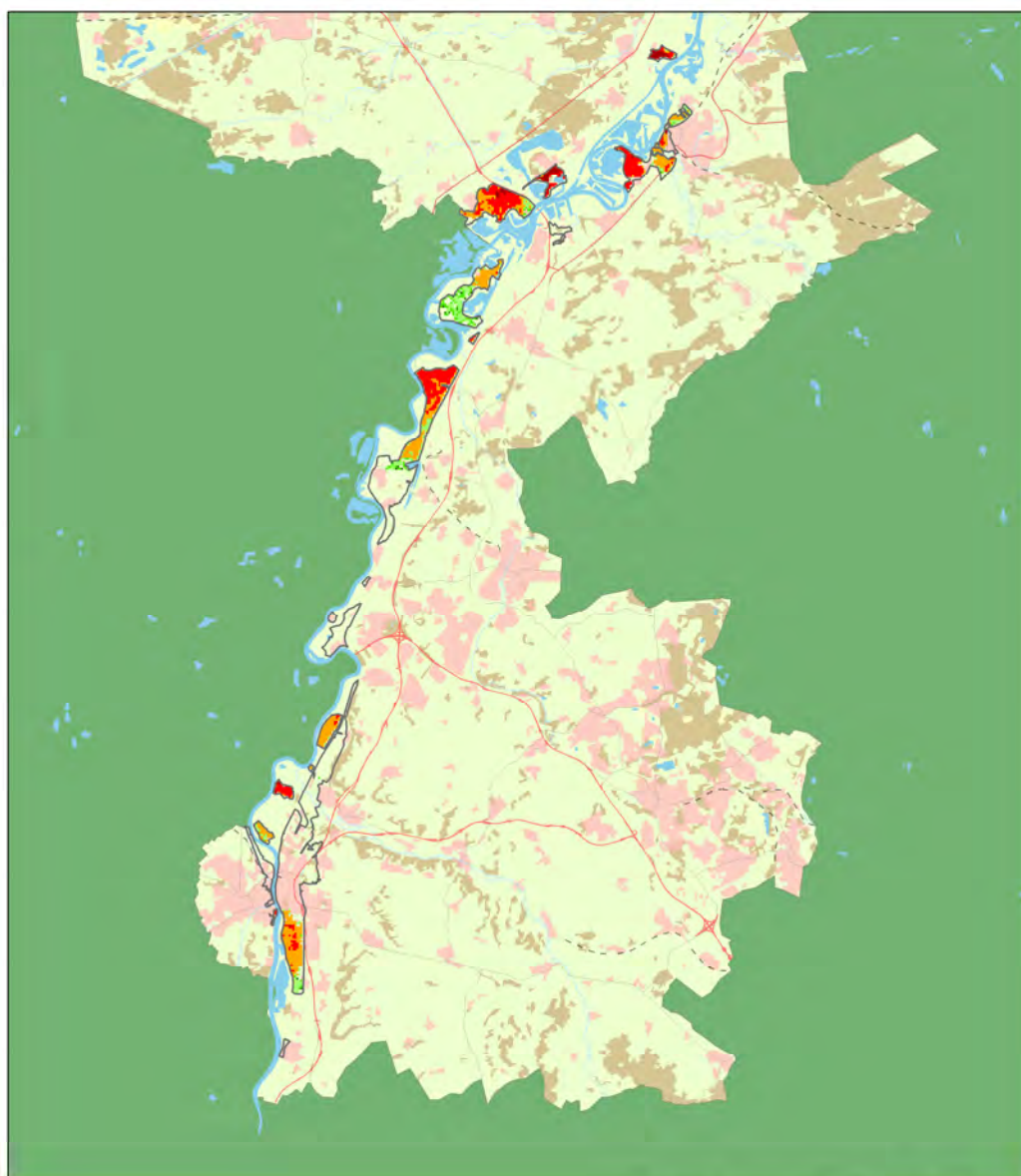
Lokaal individueel risico in de dijkringen 54 t/m 75



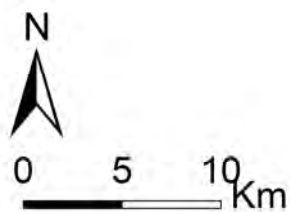
Dijkkring 54 - 74



Plaatsgebonden risico in de dijkringen 75 t/m 95



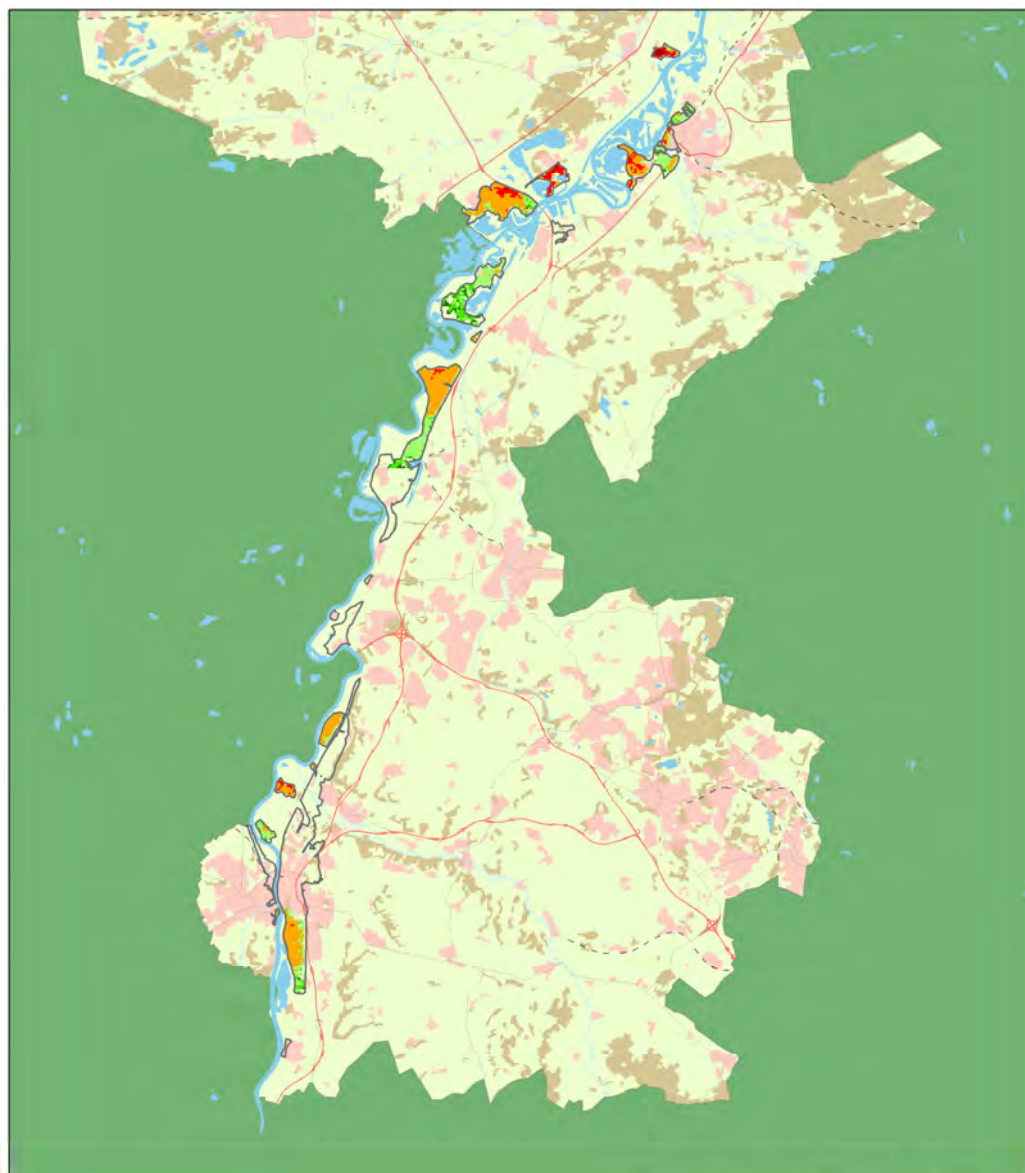
Dijkkring 75 - 95



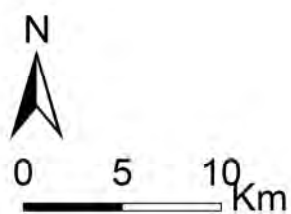
Plaatsgebonden Risico (1/jaar)

0	1e-6 - 1e-5
< 1e-8	1e-5 - 1e-4
1e-8 - 1e-7	> 1e-4
1e-7 - 1e-6	

Lokaal individueel risico in de dijkringen 75 t/m 95



Dijkkring 75 - 95



Lokaal Individueel Risico (1/jaar)

0	1e-6 - 1e-5
< 1e-8	1e-5 - 1e-4
1e-8 - 1e-7	> 1e-4
1e-7 - 1e-6	

Bijlage L Colofon

Uitgegeven door

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

Betrokken beheerder

Waterschap Roer en Overmaas
Contactpersoon: dhr. R. Potter en mevr. Y. van Kruchten

Waterschap Peel en Maasvallei
Contactpersoon: dhr. W. van Ruiten

Betrokken Provincie

Provincie Limburg
Contactpersoon: dhr. J. Goudriaan / dhr. J. Molleman

Projectteam

Projectleider:
Dhr. C. Bisschop (Greenrivers bv)

Begeleiding vanuit het projectbureau:
Dhr. D. Slagter (projectbureau VNK2)
Dhr. B. Maaskant (HKV-lijn in water)
Dhr. R. Jongejan (Jongejan RMC)

Projectteam:
Dhr. B. de Groot (RPS)
Dhr. M. van Dieren (RPS)
Mevr. T. Maas (Lieveense/CSO)
Mevr. M. Zethof (HKV-Lijn in Water)
Mevr. J.K. Leenders (HKV-Lijn in Water)

Kwaliteitsborging

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



Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Interprovinciaal Overleg **ip**^o

 UNIE VAN WATERSCHAPPEN

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