

# Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkringen aan de Niederrhein

Eindrapport

Opdrachtgever



Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,  
Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen



Ministerie van Infrastructuur  
en Waterstaat

Waterschap  Rijn en IJssel

  
Waterschap  
Rivierenland

  
provincie  
Gelderland



Opdrachtgever: Duits-Nederlandse Werkgroep  
Hoogwater

# Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkringen aan de Niederrhein

---



Eindrapport

Auteurs  
Bob Maaskant  
Hermjan Barneveld  
Kees Vermeer

PR3112  
juni 2019



# Synthese van de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater

naar aanleiding van de studie

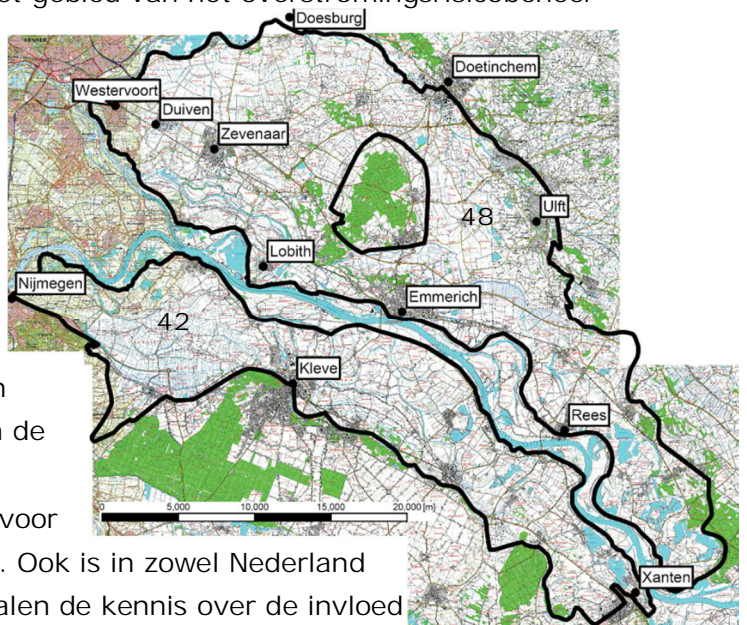
## “Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkeringen aan de Niederrhein”

### 1. Aanleiding en doel van de studie “Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkeringen aan de Niederrhein”

De grensoverschrijdende dijkgebieden in het gebied van de Niederrhein worden gevormd door dijkkring 42 op de linkeroever van de Rijn en dijkkring 48 op de recheroever van de Rijn. De overstromingsrisico's in het grensgebied staan daarom niet los van elkaar: een dijkdoorbraak in een van beide landen kan gevolgen hebben voor het andere land.

In de afgelopen jaren hebben in Nederland en Nordrhein-Westfalen ontwikkelingen op het gebied van het overstromingsrisicobeheer plaatsgevonden:

in Nederland de afronding van de Nederlandse studie VNK2 (“Veiligheid Nederland in Kaart”) en de invoering van een nieuwe risico-gebaseerde norm; in Nordrhein-Westfalen de beoordeling van de hoogwaterstatistiek voor de afvoer op de Rijn. Ook is in zowel Nederland als Nordrhein-Westfalen de kennis over de invloed van klimaatverandering op de afvoer in het Rijnstroomgebied toegenomen.



Tegen die achtergrond, en in het kader van de jarenlange constructieve samenwerking, heeft de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater<sup>1</sup> in de periode 2015 tot 2019 de studie "Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkeringen aan de Niederrhein" uitgevoerd.

Uitgaande van de Nederlandse in de VNK2-studie ontwikkelde methode, geeft deze studie een overzicht van de actuele overstromingsrisico's in het grensgebied (toestand 2015) en de verwachte overstromingsrisico's in 2025 na de uitvoering van maatregelen zoals het "Fahrplan Deichsanierung Nordrhein-Westfalen".

Ook voor het zichtjaar 2050 wordt een risicoanalyse uitgevoerd waarbij rekening wordt gehouden met de mogelijke invloed van klimaatverandering op de afvoer de Rijn, uitgaande van een "nat" scenario. Hierbij worden steeds verschillende faalmechanismen in de risicoanalyse meegenomen, o.a. de kans op Opbarsten en piping (erosie van de ondergrond).

Ook is de nieuwe methode van de Nederlandse op overstromingsrisico's gebaseerde norm toegepast op beide grensoverschrijdende dijkeringen.

## 2. Verschillen in beleid en normenstelsel Nederland - Nordrhein-Westfalen

Tot en met 2016 werd het hoogwaterveiligheidsniveau zowel in Nederland als in Duitsland bepaald door de 'maatgevende afvoeren' en de bijhorende waterstanden, alsmede door naleving van de constructieve richtlijnen uit de technische regelgeving. Voor het grensgebied betekende dit twee verschillende maatgevende afvoeren (met herhalingstijden van 1/1.250 jaar in Nederland en 1/500 jaar in Duitsland) met respectievelijk bijbehorende waterstanden, die de dijken veilig moesten kunnen keren. Door verschillende waakhoogtes van de dijk (ca. 0,5 m in Nederland en 1 m in Duitsland) werd dit verschil gecompenseerd. Hierdoor zijn in praktijk de dijken even hoog.

Nordrhein-Westfalen blijft deze methode van maatgevend hoogwaterstand met bijbehorende technische regelgeving om technisch-inhoudelijke redenen hanteren.

Nederland kent sinds 1 januari 2017 nieuwe normen uitgedrukt als 'overstromingskans per dijktraject'. Bij het bepalen van deze normen wordt gekeken naar de mogelijke gevolgen van een overstroming. Zo

---

<sup>1</sup> Sinds meer dan 20 jaar werken het Ministerie van Milieu van Nordrhein-Westfalen, de Bezirksregierung Düsseldorf, het LANUV Nordrhein-Westfalen, het Nederlandse Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Rijkswaterstaat, de Provincie Gelderland, de wederzijdse 'Deichverbände' en waterschappen en andere actoren samen in kader van de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, met als doel door informatie-uitwisseling, communicatie en publiekvoorlichting, gemeenschappelijke studies en afstemming van activiteiten tot een verbetering van de hoogwaterbescherming in de grensregio te komen.

moet voor elk individu een minimaal beschermingsniveau worden bereikt: de zogenaamde basisveiligheid. Daarnaast wordt in extra bescherming voorzien op plaatsen waar mogelijk veel slachtoffers kunnen vallen en/of grote economische schade kan optreden en/of zware schade kan optreden door de uitval van vitale en kwetsbare infrastructuur van nationaal belang.

Conform de Nederlandse wetgeving dienen in Nederland alle primaire keringen uiterlijk in 2050 aan deze nieuwe norm te voldoen, rekening houdend met mogelijk veranderende factoren zoals de effecten van klimaatverandering en economische ontwikkeling.

Het belangrijkste verschil in de gehanteerde methode voor hoogwaterveiligheid tussen beide landen is dus dat in Nederland wordt gekeken naar het "overstromingsrisico", terwijl in Nordrhein-Westfalen resp. Duitsland wordt uitgegaan van de "overschrijdingskans" van waterstanden.

Dat neemt niet weg dat het waterveiligheidsbeleid van Nordrhein-Westfalen en Nederland in veel opzichten op dezelfde beginselen berust en gebruik maakt van soortgelijke, deels ook dezelfde instrumenten en gegevens.

### 3. Bevindingen uit de studie "Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkkringen aan de Niederrhein"

Door de Nederlandse methode op de Duitse delen van de grensoverschrijdende dijkkringen exemplarisch toe te passen, draagt de onderhavige studie ertoe bij de verschillen in werkwijze in beeld te brengen en te begrijpen. De studie bevestigt dat het overstromingsrisico in beide landen in het grensgebied niet los van elkaar kan worden gezien. Daarom is het van groot belang de constructieve samenwerking in het grensgebied voort te zetten.

#### Zichtjaar 2025

De studie laat zien dat de veiligheid in het grensgebied aan beide kanten duidelijk zal verbeteren door de waarschijnlijk tot 2025 lopende en geplande dijksaneringen in Nordrhein-Westfalen. Na voltooiing van het "Fahrplan Deichsanierung Nordrhein-Westfalen" is het veiligheidsniveau aan beide kanten van de grens vergelijkbaar, ondanks de verschillen in normering en werkwijze van beoordeling en ontwerp.

### Zichtjaar 2050

In de periode 2025 tot 2050 zal Nederland maatregelen blijven nemen zodat de primaire waterkeringen in 2050 aan de nieuwe wettelijke norm voldoen. In de voor dit zichtjaar bepaalde overstromingsrisico's en – kansen is naast de economische ontwikkeling ook de mogelijke invloed van de klimaatverandering (hier: "nat" scenario) op de afvoeren van de Rijn meegenomen.

In Nordrhein-Westfalen zal het "Fahrplan Deichsanierung Nordrhein-Westfalen" na afronding van de geplande maatregelen door middel van dijkmonitoring, regulier onderhoud van de waterkeringen en de voorzieningen op en bij de dijk worden geconsolideerd teneinde de hoogwaterveiligheid duurzaam te waarborgen. Daarnaast worden in Nordrhein-Westfalen de grondslagen voor de maatgevende afvoer, die mede worden beïnvloed door de klimaatverandering, regelmatig geverifieerd.

Voor het zichtjaar 2050 laat de studie "Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkringen aan de Niederrhein" zien dat –ondanks de voorziene maatregelen in beide landen- het risico in het grensgebied in de toekomst als gevolg van economische groei en klimaatverandering waarschijnlijk toeneemt. Verder blijkt uit de studie dat op basis van de huidige inzichten, ook na aanvullende dijkversterkingen in Nederland, in 2050 in de grensregio niet overal kan worden voldaan aan de basisveiligheid (achterliggende beleidsdoel van de Nederlandse norm), uitgaande van de gehanteerde aannames voor factoren zoals bijvoorbeeld klimaatverandering en evacuatie. Ook het economische risico blijft hoog.

De bevindingen van de studie leiden dan ook tot een aantal inhoudelijke vragen.

#### 4. Vragen naar aanleiding van de studie

De resultaten van studie worden in belangrijke mate bepaald door enkele factoren. Tijdens de studie waren de gekozen uitgangspunten en berekeningsmethoden voor met name deze factoren daarom onderwerp van gesprek tussen de projectpartners:

1. De aannames, grondslagen en berekeningsmethoden voor het faalmechanisme "Opbarsten en piping"

Uit de analyses komt Opbarsten en piping naar voren als het voornaamste faalmechanisme. Berekeningen voor dit faalmechanisme zijn echter lastig, en het is niet duidelijk of respectievelijk in hoeverre de Nederlandse berekeningsmethode voor Opbarsten en piping ook



zonder meer toepasbaar is op de Duitse drie-zonen-dijken, op basis van de in Duitsland aanwezige ondergrond, zoals in de studie wordt aangenomen. Daarom dienen onder meer de uitgangspunten voor de modellering nauwkeuriger te worden onderzocht.

2. Het aangenomen aantal personen dat uit het gebied kan worden geëvacueerd

De verschillende uitgangspunten voor evacuatie (Nordrhein-Westfalen: 100%, Nederland beduidend lager) dienen te worden geverifieerd.

Vragen hierbij zijn bijvoorbeeld: Welke evacuatiefractie is minimaal vereist om de basisveiligheid in Nederland te bereiken en welke maatregelen zijn denkbaar in het kader van het crisismanagement? En wat is de haalbaarheid daarvan?

3. De gevolgen van de toekomstige ontwikkelingen van de Rijnafvoer

In de studie is besloten voor het zichtjaar 2050 een klimaatscenario toe te passen dat, zoals in Nederland gebruikelijk, de bovengrens van de bandbreedte van de consequenties voor de Rijnafvoer beschrijft. Hoe zien de resultaten eruit wanneer in de berekening wordt uitgegaan van een gematigder klimaatscenario?

4. Databeschikbaarheid (waar zijn gegevens beschikbaar en waar moet worden uitgegaan van aannames?)

Naast de voorgaande drie inhoudelijke aspecten speelde in de studie ook de beschikbaarheid van gegevens een belangrijke rol, met name met betrekking tot de materiaaleigenschappen van de ondergrond en de bestaande waterkeringen. Voor toekomstige werkzaamheden is het zaak de beschikbaarheid van de gegevens verder te verbeteren.

5. Aanbevelingen

Gezien de bevindingen van de studie "Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkringen aan de Niederrhein" en de daaruit resulterende vragen adviseert de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater om in het werkprogramma van de nieuwe 'Gemeenschappelijke Verklaring' de volgende thema's op te nemen, zodat met het oog op de strategische verschillen gezamenlijk kan worden toegewerkt naar een verdere risicobeperking in het grensgebied:

1. Verdere gemeenschappelijke ervaringen opdoen door gezamenlijk onderzoek (inclusief verificatie van de gegevens), en kennisuitwisseling op het gebied van:

- Opbarsten en piping: uitvoeren van nader onderzoek om een beter beeld te krijgen van dit faalmechanisme en het effect op het overstromingsrisico,
  - Evacuatie: Voortzetting en intensivering van de uitwisseling tussen waterbeheer en crisismanagement ter verbetering van de advisering door waterbeheerders t.b.v. de rampenbestrijding,
  - Toekomstige afvoeren: verdere kennisdeling naar de invloed van klimaatverandering op de afvoer van de Rijn in de grensregio (en hoe daar rekening mee te houden in de toekomst),
  - Methodiek risicobenadering en databeschikbaarheid: wat kunnen Nederland en Nordrhein-Westfalen van elkaar leren als het gaat om de te volgen strategie en de inhoudelijke aanpak? Bijvoorbeeld Nordrhein-Westfalen van de Nederlandse risicobenadering en Nederland van de toepassing van de technische regelgeving in Duitsland. Verder verdient het aanbeveling de algemene gegevenssituatie in zowel Nederland als Nordrhein-Westfalen continu te verbeteren.
2. Voortzetting en versterking van de grensoverschrijdende samenwerking, met name door:
    - Samenwerking, o.a. sterkere integratie van lokale actoren zoals Nederlandse waterschappen en Duitse Deichverbände, voortzetting van de samenwerking,
    - Informatie-uitwisseling binnen de werkgroep en naar buiten toe, o.a.: naast het organiseren van een hoogwaterconferentie versterking van het bestuurlijk netwerk door regelmatige uitwisseling, alsook verbreding daarvan, in aanvulling op de samenwerking welke plaatsvindt binnen de Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (ICBR).
  3. Ontwikkelen van een gemeenschappelijk toekomstperspectief voor de grensoverschrijdende hoogwaterbescherming voor het grensgebied.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Voorgeschiedenis	1
1.2	Aanleiding voor actualisering onderzoek	2
1.3	Hoofdonderzoeksvragen	2
1.4	Scope en doel	3
<b>2</b>	<b>Hoogwaterveiligheidsbeleid</b>	<b>5</b>
2.1	Inleiding	5
2.2	Hoogwaterveiligheid in Nordrhein-Westfalen	5
2.3	Hoogwaterveiligheid in Nederland	7
2.4	Nederland en Nordrhein-Westfalen: twee verschillende hoogwaterveiligheidsfilosofieën	10
<b>3</b>	<b>Gebiedsbeschrijving</b>	<b>13</b>
3.1	Ligging	13
3.2	Beheer	14
3.3	Kenmerken	14
<b>4</b>	<b>Overstromingsrisico</b>	<b>15</b>
4.1	Methodiek	15
4.2	Overstromingsrisico's 2015	20
4.3	Overstromingsrisico's 2025	26
4.4	Overstromingsrisico's 2025 inclusief overstromingen bovenstrooms van Wesel	30
4.5	Overstromingsrisico's 2050	33
4.6	Overzicht ontwikkeling overstromingsrisico	36
<b>5</b>	<b>Gevoeligheidsanalyse overstromingsrisico</b>	<b>41</b>
5.1	Invloed van Opbarsten en piping	41
5.2	Invloed Evacuatie	43
5.3	Invloed waterstandsverlagende maatregelen	43
5.4	Invloed Compartimentering	45
<b>6</b>	<b>Nagestreefd Hoogwater-beschermingsniveau volgens de Nederlandse methodiek</b>	<b>50</b>
6.1	Inleiding	50
6.2	Uitgangspunten	51
6.3	Methodiek	52
6.4	Resultaten van de berekening van de norm volgens de Nederlandse methodiek voor de hele dijkringen	53
6.5	Gevoeligheidsanalyse normering	56

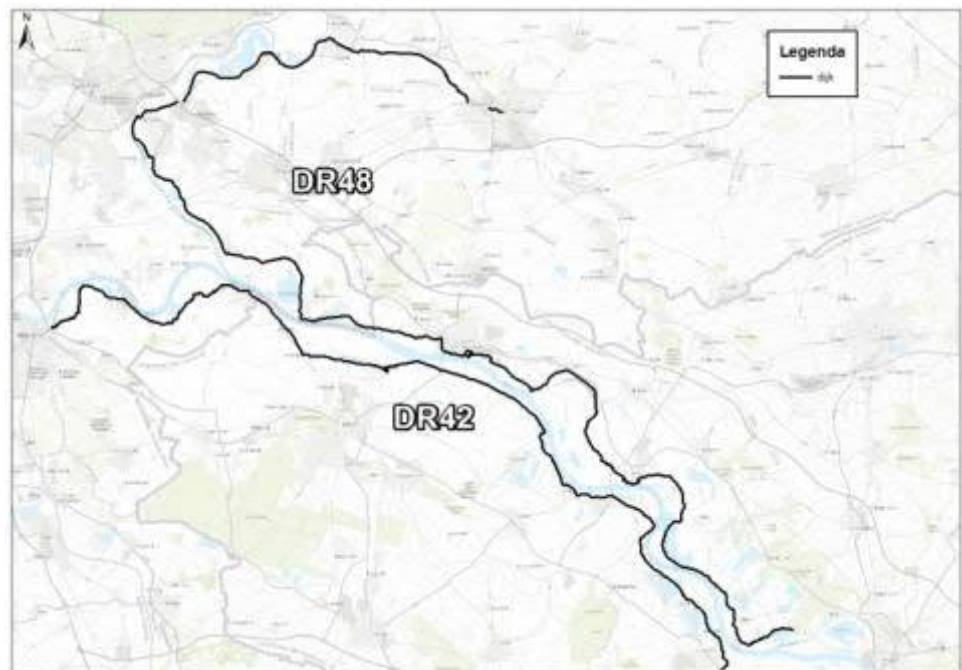
6.6	Effectbeoordeling van 'theoretisch perfecte' dijken ter vervulling van de Nederlandse norm in de volledige dijkring	58
7	Beantwoording hoofdonderzoeksvragen conclusies en aanbevelingen	63
7.1	Beantwoording hoofdonderzoeksvragen	63
7.2	Conclusies	68
7.3	Aanbevelingen	71
8	Literatuur	73

# 1 Inleiding

## 1.1 Voorgeschiedenis

De grensoverschrijdende dijkgebieden in het gebied van de Niederrhein worden gevormd door dijkkring 42 op de linker Rijnsoever en dijkkring 48 op de rechter Rijnsoever. De overstromingsrisico's in dit grensgebied staan niet los van elkaar: een dijkdoorbraak in een van beide landen kan gevolgen hebben voor het andere land. Daarom werken Nederland en Nordrhein-Westfalen in de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater inmiddels al ruim twintig jaar grensoverschrijdend samen op het gebied van hoogwaterbescherming. Het ligt voor de hand om in een samenwerking tussen beide landen de overstromingsrisico's van deze dijkringen (42 en 48) te beschouwen.

Figuur 1  
Overzicht dijkringen  
42 en 48



De eerste gezamenlijke beschouwing heeft in de periode 2005 – 2009 vorm gekregen in een grensoverschrijdende risicoanalyse. Deze is uitgevoerd in opdracht van de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater in het kader van de samenwerking tussen de Duitse deelstaat Nordrhein-Westfalen en Nederland op het gebied van hoogwaterbescherming [1]. In dit onderzoek, dat in 2009 is afgerond, is aan de hand van een gezamenlijk ontwikkelde methode het overstromingsrisico in de grensoverschrijdende dijkringen 42 en 48 vastgesteld. Daarbij is ook onderzocht welke maatregelen genomen kunnen worden om het overstromingsrisico te verkleinen en is met een beknopte kosten-batenanalyse nagegaan hoe zinvol deze maatregelen zijn.

## 1.2

### Aanleiding voor actualisering onderzoek

Sinds 2009 is er sprake van een aantal technische en beleidsmatige ontwikkelingen op het gebied van hoogwaterbescherming. Deze ontwikkelingen vonden plaats na afronding van de studie in 2009. Het betreft hier onder andere de studie Veiligheid Nederland in Kaart [2], het invoeren van een nieuwe risico-gebaseerde norm voor hoogwaterbescherming in Nederland in 2017, het herzien van de hoogwaterstatistiek voor de afvoer op de Niederrhein in NRW en nieuwe inzichten ten aanzien van de beïnvloeding van de afvoer van de Rijn door klimaatverandering en overstromingen in het stroomgebied van de Rijn. Daarnaast spelen ook andere veranderingen een rol, zoals uitgevoerde maatregelen in het gebied en ontwikkelingen in de instrumenten (software) die gebruikt worden om de veiligheidsanalyses uit te voeren. Dit heeft er toe geleid dat de Duits-Nederlandse werkgroep hoogwater besloot om de analyse van het overstromingsrisico van dijkringen 42 en 48 te actualiseren.

Vanwege o.a. de invoering van een nieuwe, op overstromingsrisico's gebaseerde, waterveiligheidsnorm in Nederland in 2017, staat in deze studie de toepassing van de nieuwe Nederlandse methodiek op de Duitse delen van de grensoverschrijdende dijkringen centraal. De bestaande methodiek in Nordrhein-Westfalen – waarbij de dijkhoogte is gebaseerd op een overschrijdingskans van de waterstand en een waakhoogte en waarbij de geometrie en opbouw van de dijk gebaseerd is op technische voorschriften zoals bijvoorbeeld de DIN<sup>2</sup> – maakt geen deel uit van dit project.

## 1.3

### Hoofdonderzoeksvragen

De Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater heeft de volgende vijf hoofdonderzoeksvragen opgesteld:

1. Hoe beoordelen we volgens de actuele inzichten het overstromingsrisico in het grensgebied op dit moment (2015), op middellange termijn na voltooiing van de lopende projecten (2025) en in het licht van toekomstige ontwikkelingen (klimaat, Deltaprogramma, economische ontwikkelingen, bevolkingsgroei 2050, etc.)?
2. Welke resultaten worden afgeleid bij de toepassing van de nieuwe Nederlandse methode voor het bepalen van het nagestreefde hoogwaterbeschermingsniveau, voor zowel de Duitse als Nederlandse dijktrajecten in de grensoverschrijdende dijkringen, rekening houdend met de wederzijdse gevolgen van dijkdoorbraken?
3. Welke hieruit voortvloeiende maatregelen moeten worden genomen om het volgens de Nederlandse methode nagestreefde beschermingsniveau in de gehele dijkkring te bereiken?

---

<sup>2</sup> Deutsches Institut für Normung

4. Welke effect heeft een verandering van de (extreme) hoogwaterafvoeren op het berekende overstromingsrisico, wanneer rekening wordt gehouden met overstromingen in het stroomgebied van de Rijn en met klimaatverandering?
5. Welke invloed hebben de uiteenlopende werkwijzen in Nederland en Duitsland, bij het bepalen van het nagestreefde beschermingsniveau, bij dijkontwerp, dijkbouw, dijkversterking en de toetsing van dijken op het overstromingsrisico?

## 1.4

### Scope en doel

In dit rapport wordt een samenvattend overzicht gegeven van de inhoud van een tweetal deelrapporten [15][16] en worden de vijf hoofdonderzoeksvragen beantwoord. Deze beantwoording van de vragen is opgebouwd aan de hand van de volgende onderwerpen:

- Een korte omschrijving van de veiligheidsfilosofie in Duitsland en Nederland (hoofdstuk 2);
- Een beschrijving van de beide dijkkringgebieden (dijkringen 42 en 48) met de belangrijkste kenmerken (hoofdstuk 3);
- De actuele overstromingsrisico's in beide gebieden, aangevuld met de verwachte overstromingsrisico's in 2025 en 2050 na het uitvoeren van maatregelen en ontwikkelingen ten gevolge van klimaatverandering (hoofdstuk 4);
- De gevoeligheid van het overstromingsrisico voor bepaalde keuzes in uitgangspunten en van mogelijke maatregelen om het overstromingsrisico te verminderen (hoofdstuk 5).
- De met de Nederlandse methode berekende normen voor overstromingsrisico's in beide gebieden (hoofdstuk 6);
- Hoofdstuk 7 sluit het rapport af met een overzicht van de beantwoording van de hoofdonderzoeksvragen, de conclusies en de aanbevelingen.

Hiermee biedt het rapport een compleet overzicht van de actuele overstromingsrisico's in beide dijkringen, de verwachte overstromingsrisico's in 2025 en 2050 en de mogelijke effectiviteit van maatregelen om deze overstromingsrisico's te verlagen.





## 2 Hoogwaterveiligheidsbeleid

### 2.1 Inleiding

Dijkringen 42 en 48 zijn grensoverschrijdend (omvatten grondgebied in zowel Nederland als Duitsland) en hebben dus te maken met beleid van Duitsland (deelstaat Nordrhein-Westfalen) en Nederland op het gebied van waterveiligheid. Het hoogwaterveiligheidsbeleid in beide landen is niet statisch en altijd in ontwikkeling. De volgende paragrafen beschrijven kort het waterveiligheidsbeleid in Nordrhein-Westfalen (paragraaf 2.2) en in Nederland vóór 2017 (paragraaf 2.3.1) en na 2017 (paragraaf 2.3.2). Hoofdstuk 2 eindigt met een vergelijking van het beschreven hoogwaterveiligheidsbeleid in Nederland en Nordrhein-Westfalen. In [3] is een meer uitgebreide beschrijving van bovenstaande aspecten opgenomen.

### 2.2 Hoogwaterveiligheid in Nordrhein-Westfalen

#### Juridisch kader

In Nordrhein-Westfalen (NRW) vormen het federale Wasserhaushaltsgesetz (WHG) (juli 2009) en het Landeswassergesetz (LWG 2016) het juridisch kader voor de waterveiligheid. De basisregeling voor de goedkeuring van waterkeringen staat in § 68 van het WHG en de monitoring van waterkeringen is geregeld in §§ 116, 122 van het LWG.

Voorts is aanvullende regelgeving van belang, zoals de in het Amtsblatt gepubliceerde Deichschutzverordnung van de Bezirksregierung Düsseldorf van 01-09-2000 (DSchVO), die berust op §82 van het LWG. De DSchVO schrijft beschermingszones voor de waterkeringen voor en regelt onder andere aspecten van onderhoud, dijktoezicht en dijkbewaking.

In Nordrhein-Westfalen zijn de maatgevende hoogwaterafvoeren in 2003 door het Ministerie van Milieu van Nordrhein-Westfalen vastgesteld, na uitgebreid statistisch onderzoek door de 'Hochwasserstudien-gruppe für den Rhein in Nordrhein-Westfalen'. Uit de toetsing van de berekeningsgrondslag, die voor de Rijn in NRW om de tien jaar wordt verricht, is in 2016 gebleken dat deze momenteel niet hoeft te worden aangepast. Door actualisatie van de afvoertijdseries wijzigde de afvoerstatistiek licht, waardoor de afvoer met een terugkeertijd van 500 jaar afvoer iets lager werd. Hierdoor wordt onder de huidige omstandigheden het bestaande beschermingsniveau ten minste gehandhaafd.

De Bezirksregierung Düsseldorf heeft op basis van de vooraf vastgelegde maatgevende afvoeren o.a. voor het gebied van de dijkringen 42 en 48 op 24 mei 2004 de maatgevende waterstanden (BHW2004) voor de Rijn vastgelegd en in het hiervoor aangewezen Amtsblatt gepubliceerd. In het gebied van

dijkkringen 42 en 48 komt deze maatgevende afvoer ongeveer overeen met een afvoer met een terugkeertijd van eens in de 500 jaar.

#### Aanleg en beheer

Waterkeringen dienen in Nordrhein-Westfalen te worden aangelegd en onderhouden volgens de nieuwste technische inzichten (§§ 77, 78 LWG). Deze voorschriften zijn vastgelegd in publicaties van het Deutsches Institut für Normung (DIN), met name DIN 19712, Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern, welke in 2013 bijgewerkt is. Deze norm geeft richtlijnen voor dijken, hoogwaterkeermuren en mobiele waterkeringen. De norm omvat met name de volgende punten: begripsomschrijvingen, planningsprincipes, milieuaspecten, hydrologische en hydraulische dimensionering, vorm en functie van dijken, keermuren en mobiele waterkeringen, geotechnische onderzoeken, onderbouwing van de belastbaarheid en deugdelijkheid, bouwmaterialen, bouwuitvoering, aangrenzende bouwwerken, onderhoud, documentatie en exploitatie onder normale omstandigheden en bij hoogwater [4].

Naast het Duitse Instituut voor Normen (DIN) is er meer relevante wet- en regelgeving. Dat zijn met name de merkbladen van de Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) en van de Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (BWK). Een voorbeeld hiervan is het DWA-Merkblatt 507-1, Deiche an Fließgewässern, Teil 1: Planung, Bau und Betrieb uit 2011. Dit merkblad bevat gedetailleerde eisen aan en informatie over dijken.

#### Maatregelen

In Nordrhein-Westfalen wordt gewerkt aan de uitvoering van het dijkversterkingsprogramma langs de Rijn (de zogenaamde Fahrplan Deichsanierung NRW). Maatgevend is hier de zogenaamde "3-zonen dijk". Een afdichtende kleilaag aan de rivierzijde bemoeilijkt het indringen van rivierwater in de stabiliserende kern van de dijk. De aan de landzijde aangelegde goed doorlatende drainagelaag voert het toch tot de kern doorgedrongen water veilig af. Door het aanleggen van een berm aan de binnenkant van de dijk wordt daar het opbreken van de kleilaag verhinderd. Het dijkprofiel bestaat dus uit Zone 1: afdichtende laag aan de rivierzijde, Zone 2: stabiliserende kern en Zone 3: filter en drainagelaag met berm aan de landzijde.

Het doel van het Deichsanierungsprogramm is de uitvoering van geplande dijkverbeteringsmaatregelen tot 2025 [5]. In de periode tot 2015 is voor dijkkring 42 reeds 23 kilometer waterkering versterkt en voor dijkkring 48 ongeveer 22 kilometer. In de periode 2015-2025 staan nog diverse dijkversterkingsmaatregelen geprogrammeerd. Voor dijkkring 42 gaat het om ongeveer 17 kilometer waterkering en voor dijkkring 48 om ongeveer 18 kilometer waterkering.

Naast de dijkversterkingsmaatregelen in dijkkring 42 en in dijkkring 48 is er aan de rechter zijde van de rivier een retentiemaatregel bij Lohrwardt

gerealiseerd, met een volume van 13 miljoen m<sup>3</sup>. Deze retentiemaatregel is na 2015 operationeel geworden en leidt sindsdien tot een waterstandsverlagend effect, welke voor beide dijkringen relevant is.

## 2.3 Hoogwaterveiligheid in Nederland

### 2.3.1 Hoogwaterveiligheid in Nederland tot 2017

#### Juridisch kader

Na de Watersnoodramp in de Rijn-Maas-delta van 1953 werd de Deltacommissie opgericht om een plan op te stellen om dergelijke grote overstromingen in de toekomst te voorkomen. De Deltacommissie stelde een norm vast op basis van maatgevende hoogwaterstanden die door de dijken gekeerd moesten worden.

In 1996 werden de normen vastgelegd in de Wet op de Waterkering, die eind 2009 samen met zeven andere waterbeheerwetten, is geïntegreerd in de Waterwet.

In de Waterwet was tot 2017 voor elke dijkkring de overschrijdingskans opgenomen voor de waterstand waartegen de waterkeringen bestand moesten zijn. Voor het rivierengebied, waaronder dijkringen 42 en 48, werd de overschrijdingskans vastgesteld op 1/1.250 per jaar. De daarbij horende afvoer werd de maatgevende afvoer genoemd.

#### Beoordelen

In de Waterwet zijn naast de frequenties die bij de maatgevende afvoeren horen, ook de procedures en verantwoordelijkheden (van Rijk, waterschappen en provincies) ten aanzien van de bescherming tegen overstroming vastgelegd, evenals de periodieke toetsing of de waterkeringen nog voldoen. Tussen 1996 en 2011 gebeurde deze toetsing elke vijf jaar. Sinds 2012 is in de Waterwet vastgelegd dat de frequentie van beoordelen elke 12 jaar gebeurt.

Alle waterkeringen die bij de toetsing werden afgekeurd, werden opgenomen in het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). In dit programma wordt vastgesteld wanneer welke waterkeringen verbeterd worden. Ontwerp van de dijkverbetering wordt uitgevoerd volgens de Leidraad Rivieren [6] en onderliggende Technische Rapporten [7].

Na het hoogwater van 1995 werd de maatgevende afvoer voor de Rijn verhoogd van 15.000 m<sup>3</sup>/s naar 16.000 m<sup>3</sup>/s en werd voor de 21<sup>e</sup> eeuw rekening gehouden met een verdere stijging tot 18.000 m<sup>3</sup>/s in 2100. Tot 2005 was de inzet vooral gericht op dijkversterking om de benodigde bescherming te bereiken. In de planologische kernbeslissing Ruimte voor de Rivier in 2005 [8] werd besloten tot een wijziging van het beleid. In plaats van alleen dijkversterking werd voor het voldoen aan de

waterveiligheidsnorm vooral ingezet op rivierverruiming, waardoor de waterstanden bij de maatgevende afvoer dalen.

#### Maatregelen

Na de toetsing van de waterkeringen in 2006, werden 87 projecten gedefinieerd in het Hoogwaterbeschermingsprogramma, waarbij geen van deze projecten in dijkkring 42 of 48 ligt. Deze projecten zijn in 2017 grotendeels afgerond of zijn in de uitvoeringsfase.

De PKB Ruimte voor de Rivier omvat langs de Rijntakken in totaal 39 projecten. De laatsten daarvan zijn in 2017 opgeleverd. Vier Ruimte voor de Rivier maatregelen liggen nabij de grensoverschrijdende dijkringen en hebben een effect op de waterstanden ter plaatse: de uiterwaardvergraving Millingerwaard (langs dijkkring 42) en de dijkverlegging Lent (direct benedenstrooms van dijkkring 42) en de rivierverruiming Huissensche Waarden en de dijkverlegging Hondsbroeksche Pleij (beiden langs dijkkring 48).

### 2.3.2

#### Hoogwaterveiligheid in Nederland na 2017

##### Juridisch kader

In 2010 startte het Deltaprogramma met als doel dat de waterveiligheid, de zoetwatervoorziening en de ruimtelijke inrichting in 2050 zodanig moeten zijn, dat Nederland de grotere extremen van het klimaat kan blijven opvangen.

In het Deltaprogramma werd vastgesteld dat:

1. klimaatverandering en bodemdaling leiden tot zwaardere belastingen op het watersysteem;
2. de gevolgen van een overstroming groter zijn dan 50 jaar geleden, omdat er meer mensen wonen en er meer schade zal zijn;
3. voldoende kennis aanwezig is om overstromingsrisico's te bepalen uit de kans op overstromingen en gevolgen daarvan.
4. de overstromingsrisico's in het rivierengebied hoog zijn in vergelijking met de rest van Nederland.

In het Deltaprogramma wordt de overstap gemaakt van een veiligheidsnorm die gebaseerd is op herhalingstijden van waterstanden die de waterkering veilig moet kunne keren, naar een veiligheidsnorm, die gebaseerd is op het overstromingsrisico. Hierbij wordt rekening gehouden met potentiële slachtoffers en economisch schade en krijgen alle inwoners minimaal hetzelfde basisbeschermingsniveau [9].

In 2017 is in de Waterwet vastgelegd dat uiterlijk in 2050 alle waterkeringen in Nederland aan de nieuwe waterveiligheidsnormen moeten voldoen. De nieuwe normen zijn gebaseerd op overstromingsrisico's. Hiervoor zijn per normtraject (in plaats van de vroegere dijkringen) overstromingskansen afgeleid, welke niet overschreden mogen worden. Hiermee wordt bereikt dat:

- Ieder individu achter een waterkering een minimum veiligheid (basisveiligheid) heeft, waarbij de kans om ten gevolge van overstromingen te overlijden kleiner is dan 1/100.000 per jaar,
- Aanvullend hierop meer bescherming is op plaatsen met grote groepen slachtoffers en/of grote economische schade en/of ernstige schade door uitval van vitale en kwetsbare infrastructuur met nationaal belang.

Voor het rivierengebied, waaronder het grensgebied, betekenen de nieuwe normen dat er tot 2050 een grote versterkingsopgave is om de wettelijk vastgelegde bescherming te bereiken.

### Beoordelen

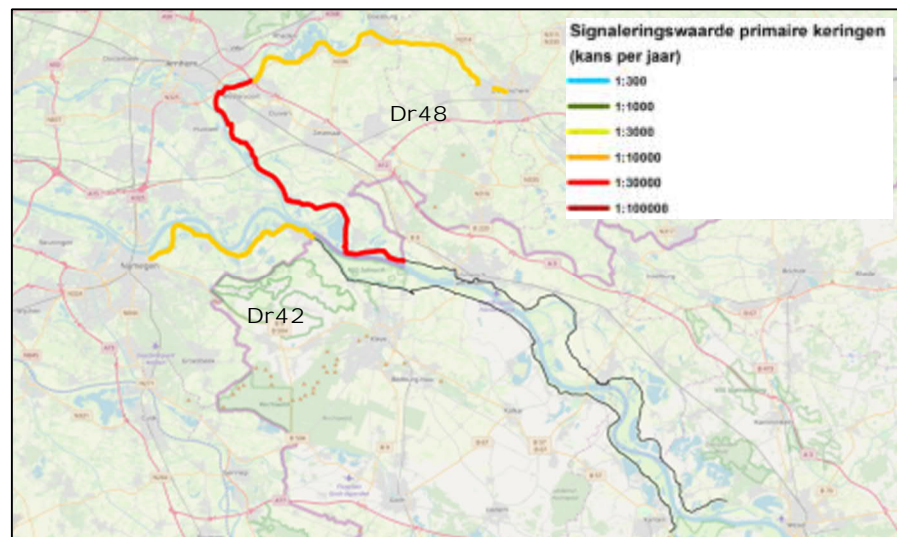
Vanaf 2017 worden waterkeringen op basis van de nieuwe norm beoordeeld en ontworpen. Er wordt voor de waterkeringen uitgegaan van een beoordelingscyclus van 12 jaar. Afgekeurde dijken worden opgenomen in het hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) ter verbetering. De huidige beoordelingsronde eindigt in 2023. Voor de beoordeling is het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI2017) beschikbaar inclusief ondersteunende software [10][11][12][13].

Bij de normering zijn twee waarden gedefinieerd om rekening te houden met het veranderen van de veiligheid in de tijd:

1. de signaleringswaarde - het signaal dat voorbereidingen moeten worden getroffen om de dijk te gaan versterken; en
2. de ondergrens - daar mag de sterkte van de dijk niet onder komen omdat dan niet meer aan de Wettelijke afspraken wordt voldaan.

In Figuur 2 zijn de signaalwaardes weergegeven voor de Nederlandse trajecten langs dijkkring 42 en 48. Met name voor het bovenstroomse deel van dijkkring 48 is de norm relatief streng, namelijk een overstromingskans van 1/30.000 per jaar. De achtergrond van deze strenge norm is dat bij een overstroming de optredende waterdieptes en stijgsnelheden relatief groot zijn. Om het basisveiligheidsniveau van 1/100.000 per jaar te kunnen bieden is een relatief strenge norm voor de waterkering nodig.

Figuur 2  
Hoogwater-  
veiligheidsnorm voor  
de Nederlandse  
delen van DR42 en  
DR48  
(Deltaprogramma,  
2015)



Zowel de signalerings- als ondergrenswaarde zijn van belang voor een beoordeling omdat het inzicht geeft in de urgentie van een eventuele afkeuring. Bij een afkeuring wordt het dijktraject opgenomen in het hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). In dit programma worden de dijkversterkingen geprioriteerd en geprogrammeerd.

#### Maatregelen

Bij het afkeuren van de dijken, zijn er maatregelen nodig om in 2050 aan de nieuwe normen te voldoen. Daarbij wordt rekening gehouden met stijgende rivierafvoer door klimaatverandering.

Voor ontwerp van de dijkversterking is het Ontwerpinstrumentarium ontwikkeld. Het ontwerpinstrumentarium geeft aan hoe met vigerende leidraden, handreikingen en technische rapporten kan worden ontworpen volgens de nieuwe overstromingskansbenadering.

## 2.4

### Nederland en Nordrhein-Westfalen: twee verschillende hoogwaterveiligheidsfilosofieën

In Nederland waren de veiligheidsnormen tot en met 2016 gedefinieerd als overschrijdingskansen. De overschrijdingskans is gedefinieerd als de kans van voorkomen van een bepaalde waterstand. De waterstanden die horen bij de overschrijdingskansen zoals vastgelegd in de veiligheidsnormen zijn de maatgevende waterstanden. De betreffende waterkeringen moesten deze waterstanden veilig kunnen keren. Tot eind 2016 gold in Nederland voor de dijken van dijkkring 42 en dijkkring 48 een overschrijdingskans van 1/1.250 per jaar als veiligheidsnorm.

In Nordrhein-Westfalen vormen de maatgevende waterstanden en technische leidraden de basis voor de hoogwaterveiligheid langs de Rijn. Voor de Duitse dijken van dijkkring 42 en dijkkring 48 geldt dat deze op basis van een vastgestelde afvoer (BHW2004) en de bijhorende waterstanden (inclusief waakhogte) ontworpen werden en worden. Voor het Duitse deel van de dijkkringen 42 en 48 is deze afvoer gebaseerd op een overschrijdingsfrequentie van 1/500 per jaar welke vervolgens wordt vertaald naar een lokale waterstand.

In de basis werd dus tot 2016 in beide landen gewerkt met een overschrijdingskans van de afvoer oftewel de overschrijdingskans van de lokale waterstand. Alleen de hoogte van de frequentie was verschillend: voor dijkkring 42 en 48 1/1.250 per jaar in Nederland en 1/500 per jaar in Duitsland. Echter door verschil in de waakhogte (ca 0,5 m in Nederland en 1 m in Duitsland) zijn de dijken feitelijk min of meer even hoog.

Zowel in Nordrhein-Westfalen als in Nederland zijn de eisen met betrekking tot de constructieve aspecten – zoals ondergrond, dijkconstructie en kunstwerken in en bij de dijk – geformuleerd in de geldende technische regelgeving (DIN-normen, 'DWA-Arbeits- und Merkblätter', technische leidraden en voorschriften etc.).

Terwijl Nordrhein-Westfalen technisch beargumenteerd aan deze methode van maatgevende waterstanden en technische regelgeving vasthoudt, berusten de veiligheidsnormen in Nederland sinds 1 januari 2017 niet meer op de kans van overschrijding van bepaalde waterstanden.

In plaats daarvan is de overstromingskans per dijktraject, welke niet overschreden mag worden om het overstromingsrisico in het achterliggende gebied tot een aanvaardbare maat te beperken, maatgevend.

Zo moet voor ieder individu achter de dijk een minimaal beschermingsniveau worden bereikt, de zogenaamde basisveiligheid. Daarnaast wordt extra bescherming geboden op plaatsen waar

- mogelijk veel slachtoffers kunnen vallen en/of
- grote economische schade kan optreden en/of
- zware schade kan optreden door de uitval van vitale en kwetsbare infrastructuur die van nationaal belang is.

Voor de realisering van deze doelen wordt in Nederland eerst – afhankelijk van het aantal inwoners, het economisch vermogen en andere factoren – de beoogde mate van het nog acceptabele overstromingsrisico bepaald en vertaald naar een maximaal toelaatbare overstromingskans per dijktraject: de zogenaamde norm. Daarna wordt berekend of de waterkeringen voldoen aan deze op overstromingsrisico's gebaseerde norm.

Daarbij worden verschillende faalmechanismen in de risicoanalyse meegenomen, bijv. de kans op Opbarsten en piping (erosie van de ondergrond). Hierbij kan potentieel ook schade optreden door het bezwijken van dijken bij waterstanden onder de kruin. Op grond van de nieuwe wetgeving moeten alle Nederlandse waterkeringen uiterlijk in 2050 voldoen aan deze wettelijke nieuwe norm, rekening houdend met factoren die mogelijk aan verandering onderhevig zijn, zoals de effecten van de klimaatverandering en de verwachte economische ontwikkeling.

Het belangrijkste verschil in de gehanteerde methode voor de hoogwaterveiligheid tussen beide landen is dus dat in Nederland wordt gekeken naar het «overstromingsrisico», terwijl in NRW en Duitsland wordt uitgegaan van de «overschrijdingskans» van waterstanden.

Dat neemt niet weg dat het waterveiligheidsbeleid van Nordrhein-Westfalen en Nederland in veel opzichten op dezelfde beginselen berust en gebruik maakt van soortgelijke, deels ook dezelfde instrumenten en gegevens. Allereerst hanteren beide zijden een – ook internationaal gezien – zeer hoog beschermingsniveau, d.w.z. ze bieden bescherming tegen een hoogwater dat zeer zelden optreedt; ze maken gebruik van eigen maar ook van elkaars geografische en hydrologische gegevens en van dezelfde grondslagen voor modellen voor waterbeheer. Uiteindelijk bieden ze ook hun inwoners – en niet alleen de in de dijkringen 42 en 48 potentieel getroffen – een vergelijkbaar niveau van bescherming.





## 3 Gebiedsbeschrijving

In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de ligging van de twee dijkringen, de specifieke kenmerken en de beheerders van de waterkeringen toegelicht.

### 3.1 Ligging

Dijkring 42 en 48 liggen respectievelijk aan de linker- en rechteroever van de Rijn, waarbij dijkring 42 een lengte heeft van ongeveer 60 kilometer en dijkring 48 van bijna 100 kilometer.

De waterkering van dijkring 42 begint in het zuidoosten bij Xanten aan de Niederrhein en eindigt bij Nijmegen aan de Waal (Figuur 3). De aanwezige primaire waterkeringen (bandijken) langs deze dijkring beschermen het gebied tegen overstromingen vanuit de Rijn en de Waal. Het oppervlak van het dijkringgebied is zo'n 275 km<sup>2</sup>, waarvan ongeveer 90% in Duitsland ligt. De belangrijkste steden die beschermd worden door de waterkeringen zijn Xanten, Kleve en Nijmegen.

De waterkering van dijkring 48 loopt van Wesel-Bislich via Lobith, Westervoort en via Doesburg langs de Oude IJssel tot Doetinchem. De waterkering beschermt tegen overstromingen vanuit de Rijn, het Pannerdensch Kanaal, de IJssel en de Oude IJssel. Het dijkringgebied heeft een oppervlak van ongeveer 535 km<sup>2</sup> waarvan 70% in Nederland. De belangrijkste steden die beschermd worden zijn Rees, Emmerich, Zevenaar, Duiven en Westervoort.

Figuur 3  
Ligging dijkring 42  
en 48

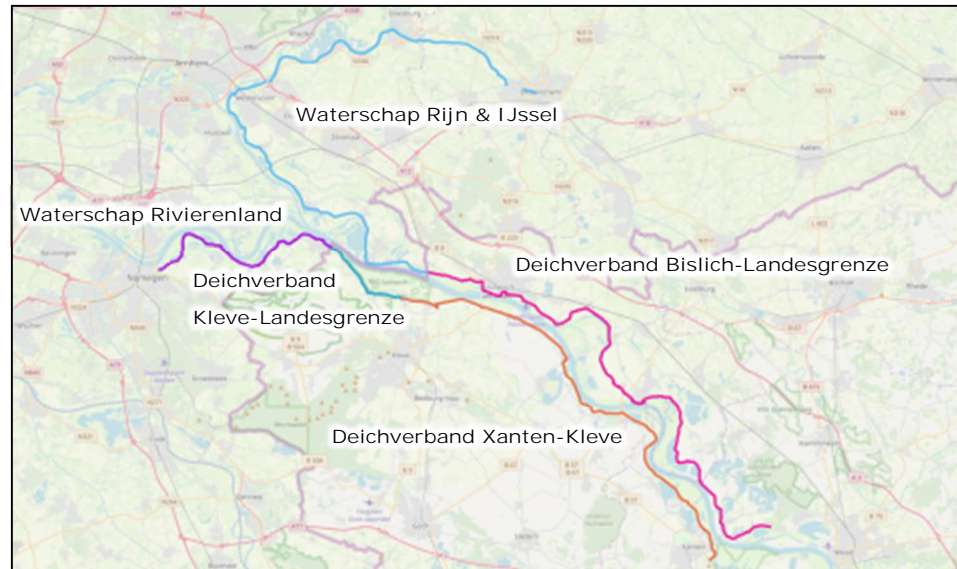


### 3.2

## Beheer

De waterkering van dijkkring 42 start bovenstrooms bij Xanten en is vanaf Xanten in het beheer van Deichverband Xanten-Kleve. Bij Kleve gaat het beheer over naar Deichverband Kleve-Landesgrenze. Het Nederlandse deel van dijkkring 42 is in beheer bij het Waterschap Rivierenland. Voor dijkkring 48 is de waterkering voor het Duitse deel in handen van Deichverband Bislich-Landesgrenze en het Nederlandse deel bij Waterschap Rijn&IJssel.

Figuur 4  
Beheerders



### 3.3

## Kenmerken

In het gehele gebied wonen orde grootte 310.000 mensen waarvan 70.000 in dijkkring 42 en 240.000 in dijkkring 48. Voor dijkkring 42 is de verdeling tussen Nederland en Duitsland 20-80 en voor dijkkring 48 is de verdeling 80-20. Van de totale oppervlakte van de dijkringen geldt dat 15-20 procent bebouwd is en dat het overige gebied overwegend gebruikt wordt voor de landbouw (70-75%). Het restant wordt ingenomen door infrastructuur, natuur en open water.

Het gebied wordt gekenschetst als rivierkleigebied met oeverwallen en komgronden. De ondergrond van de dijken bestaat voor het merendeel uit watervoerende zandige lagen, waarbij op enkele plekken cohesieve deklagen aanwezig zijn. De deklaag aan de binnenzijde van de waterkering bestaat hoofdzakelijk uit lichte zavel tot lichte klei.

De primaire waterkeringen van dijkkring 42 en 48 zijn respectievelijk 60 en 100 km lang. Het waterstandsverschil tussen het meest bovenstroomse punt van elke dijkkring en het meest benedenstrooms punt van elke dijkkring is 6 à 7 meter bij hoge afvoer. Vanwege dit grote verschil hangen de gevolgen van een overstroming sterk af van de locatie van een dijkdoorbraak. Hoe verder bovenstrooms een doorbraak optreedt hoe groter de gevolgen (zie paragraaf 4.1.2).

## 4 Overstromingsrisico

Voor het bepalen van het overstromingsrisico's voor de zichtjaren 2015, 2025 en 2050 voor de dijkkring 42 en 48 wordt in deze studie gebruik gemaakt van de in Nederland ontwikkelde methodiek. In paragraaf 4.1 wordt deze methodiek, die gebruikt is binnen het project Veiligheid Nederland in Kaart 2 [14], op hoofdlijnen beschreven. Daarna worden in de daaropvolgende paragrafen de overstromingsrisico's voor de verschillende zichtjaren weergegeven.

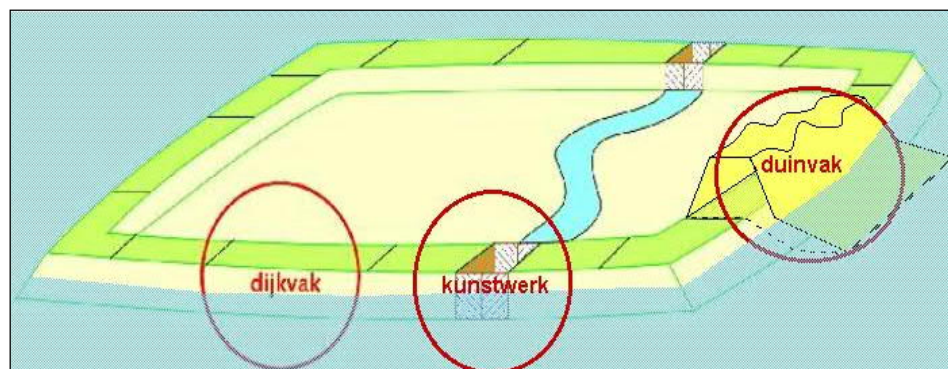
### 4.1 Methodiek

Het overstromingsrisico is een combinatie van kansen en gevolgen. Om de overstromingsrisico's te bepalen is het dus van belang om te weten wat de kans is dat zich op een bepaalde plek een overstroming voordoet en wat dan de gevolgen zijn. Daartoe is voor de diverse onderdelen van de waterkering (verschillende dijkvakken en kunstwerken) bepaald wat de faalkans is. Ook is bepaald wat de gevolgen zijn (economische schade en slachtoffers) als de waterkering ergens bezwijkt. De faalkansen en de gevolgen van doorbraken zijn niet overal langs een dijkkring hetzelfde. Het overstromingsrisico kan daarom binnen een dijkkringgebied aanzienlijk variëren.

#### 4.1.1 Faalkansen

Een dijkkring kan worden opgevat als een keten: de schakels worden gevormd door alle dijkvakken en kunstwerken die onderdeel uitmaken van de waterkering (Figuur 5). Per vak en kunstwerk wordt gekeken naar de verschillende wijzen waarop deze kan falen, d.w.z. zijn waterkerende functie kan verliezen. Deze verschillende wijzen van falen worden faalmechanismen genoemd. De overstromingskans wordt berekend door het combineren van alle faalkansen per faalmechanisme voor alle dijkvakken.

Figuur 5  
De dijkkring als een keten met verschillende schakels

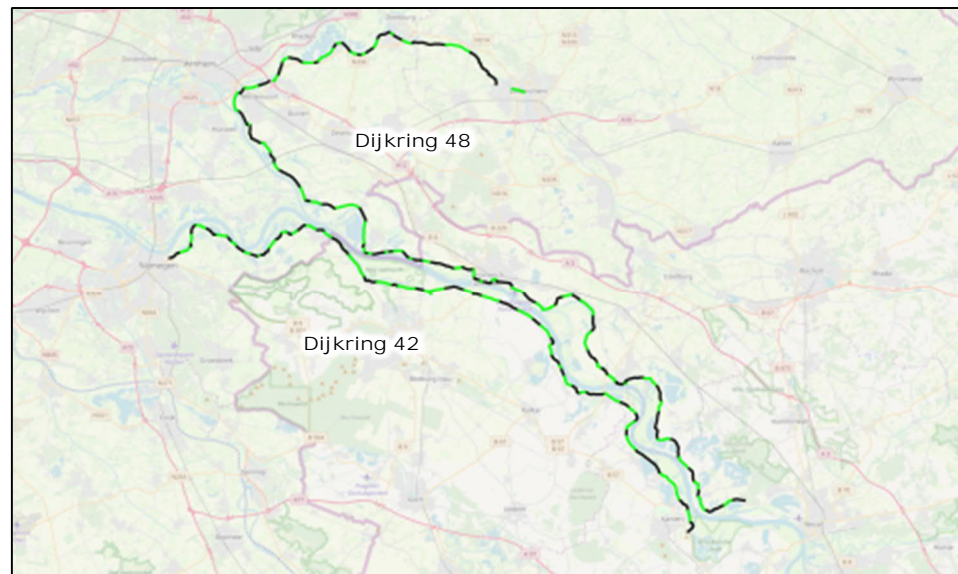


Bij de berekening van faalkansen en overstromingskansen spelen onzekerheden een belangrijke rol. Als de belasting op een waterkering groter is dan de sterkte, zal de kering bezwijken. Hoe minder er bekend is over bijvoorbeeld de sterkte-eigenschappen hoe groter de onzekerheid is waarmee

wordt gerekend. De onzekerheid in de hoogte van de kering is in het algemeen veel kleiner dan de onzekerheid in parameters betreffende de ondergrond. Een grotere onzekerheid betekent dat er met een grotere bandbreedte rekening moet worden gehouden. Dit kan een relatief grote invloed hebben op de berekende faalkans.

De dijkringen 42 en 48 zijn daarom opgedeeld in dijkvakken. In Figuur 6 is de vakindeling voor beide dijkringen weergegeven. Dijkkring 42 bestaat uit 61 dijkvakken en dijkkring 48 uit 92 vakken. Voor de specifieke keuzes rondom de grenzen van de dijkvakken, zie de rapportages van dijkkring 42 en 48 [15][16][17][18].

Figuur 6  
Indeling dijkringen  
in dijkvakken



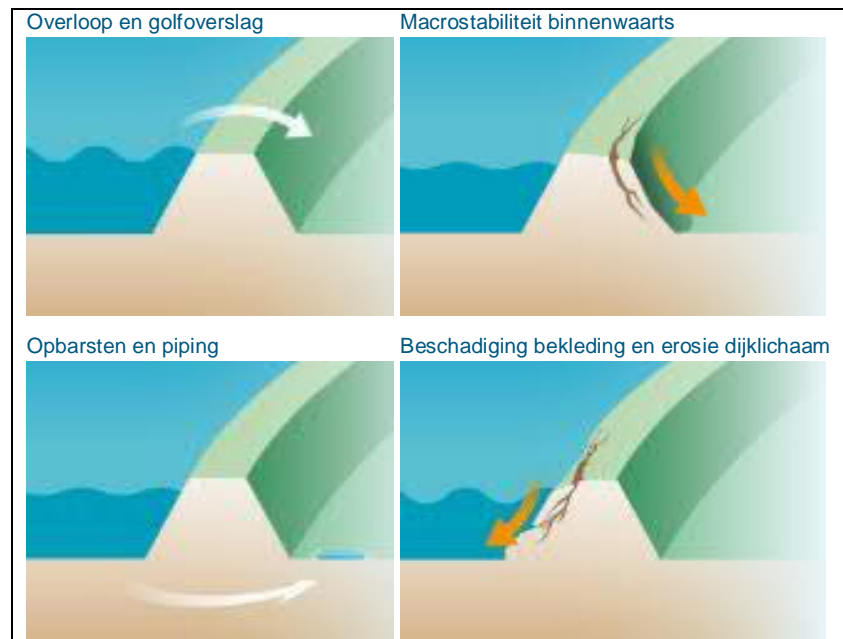
De berekeningen van de overstromingskans van het dijkkringgebied en de faalkansen van de dijkvakken en kunstwerken zijn uitgevoerd met behulp van het programma PC-Ring [19][20][21]. PC-Ring is een in Nederland door kennisinstituut TNO ontwikkeld programma voor het berekenen van faalkansen van dijken en kunstwerken. Het is eerder in Nederland toegepast voor het bepalen van de overstromingskansen van alle dijkringen in kader van het project VNK2.

Met de software PC-Ring kunnen de faalkansen worden berekend voor de volgende vier faalmechanismen van de dijken:

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



Figuur 7  
Beschouwde  
faalmechanismen  
dijken



Voor elk dijkvak worden de faalkansen per faalmechanisme berekend. Deze worden bepaald op basis van de meest recente en beschikbare gegevens van de ondergrond, hoogte, bekleding, sterkte-parameters en hydraulische belasting etc. Na invoering van deze gegevens in PC-Ring kan ook de totale faalkans worden bepaald. Deze methode wordt nader toegelicht in het VNK2 achtergrondrapport vakschematisatie [22].

#### Overloop en golfoverslag

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

#### Macrostabieliteit binnenwaarts

Bij dit faalmechanisme bezwijkt de dijk doordat een deel van de dijk ten gevolge van langdurig hoge waterstanden instabiel wordt en daarna aan de binnenzijde (droge kant van de dijk) 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 als gevolg van de erosie zogenaamde 'pijpen' ontstaan onder de dijk, waardoor de dijk bezwijkt.

#### Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam

Bij dit faalmechanisme bezwijkt de dijk doordat eerst de bekleding aan de buitenzijde (water kant) van de dijk wordt beschadigd door de golfaanval, waarna de grootte van de doorsnede van de dijk kern door erosie wordt verminderd en de dijk bezwijkt.

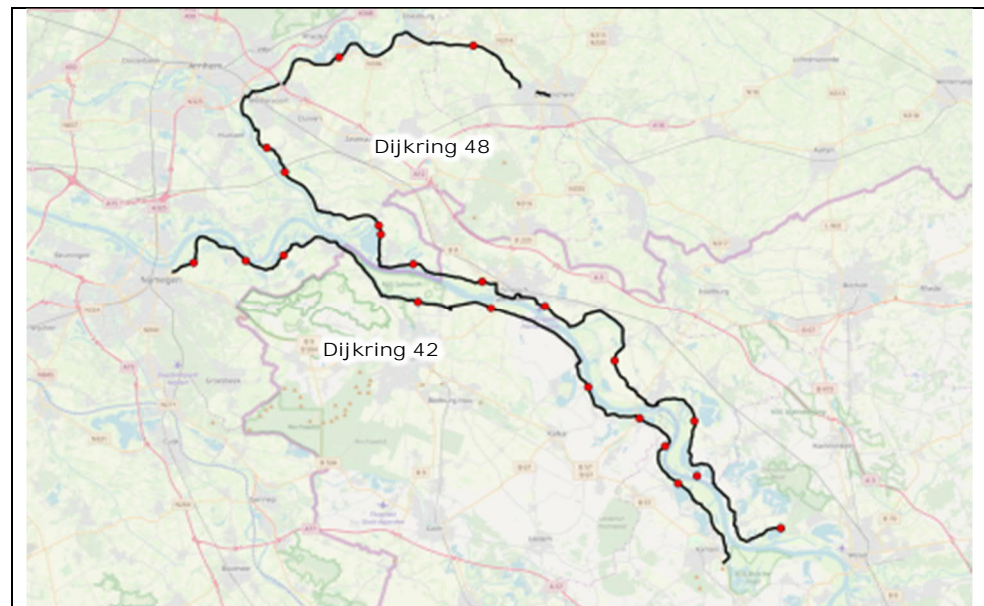
Ten behoeve van de efficiëntie van de risicoanalyse is op basis van expert judgement per faalmechanisme een selectie gemaakt van de dijkvakken waar de faalkansen van dat specifieke mechanisme mogelijk relevant is. Alleen voor deze dijkvakken zijn voor dat faalmechanisme faalkansen berekend. De keuzes van de relevante faalmechanismen is toegelicht in de VNK2 Achtergrondrapportages van de dijkkring 42 en 48 voor het Nederlandse deel van beide dijkkringen [23][24] en het Plan van Aanpak [25][26] voor het Duitse deel van beide dijkkringen.

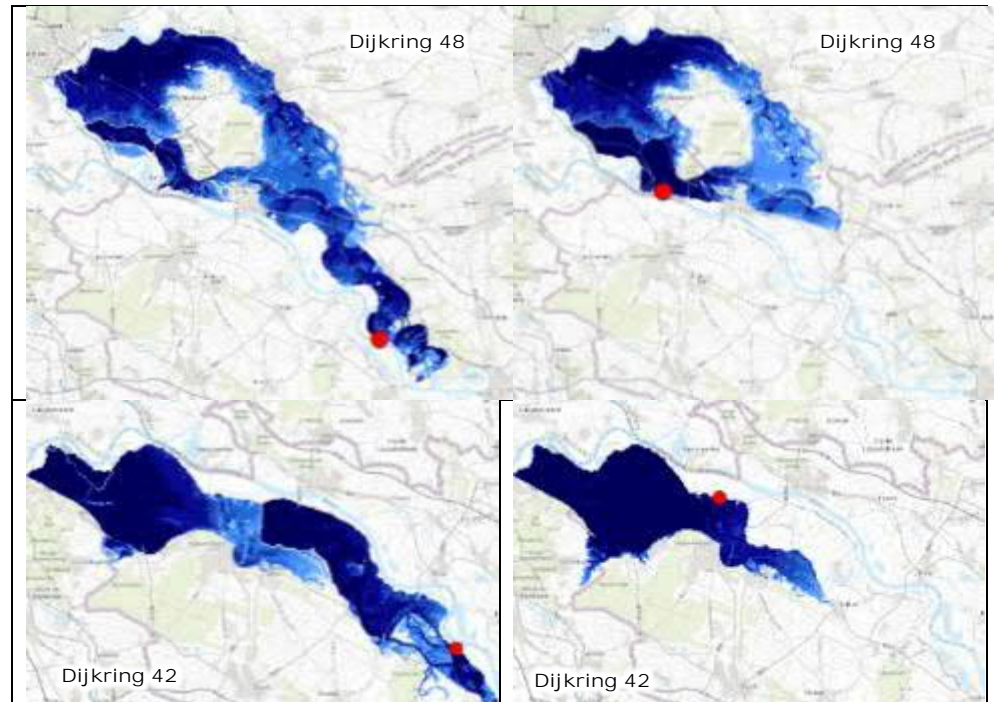
#### 4.1.2 Gevolgen van een overstroming

##### Overstromingsscenario's

Een overstroming ontstaat door een bres in de waterkering. Omdat de omvang van de overstroming afhankelijk is van de locatie waar de bres optreedt worden er meerdere scenario's beschouwd. Voor zowel dijkkring 42 als 48 zijn meerdere potentiële breslocaties beschouwd om een beeld te krijgen van de omvang van een overstroming. In Figuur 8 is een overzicht gegeven van de beschouwde breslocaties en is voor één van de vier breslocaties de omvang van de overstroming weergegeven. Hierbij is er van uitgegaan dat de hoge lijnelementen in de beschermde gebieden standzeker zijn en niet doorbreken. In het geval van een overstroming lopen deze elementen hoogstens over. De overstromingspatronen van de andere breslocaties is opgenomen in de achtergrondrapportages van dijkkring 42 en 48 [15][16].

Figuur 8  
Potentiële breslocaties (boven, rode stippen) en voorbeelden van overstromings-scenario's (onder)





#### Overstromingsgevolgen

De gevolgen van een overstroming worden bepaald door de kenmerken van de overstroming (zoals de waterdiepte en stijgsnelheid) en de kwetsbaarheid van de getroffen objecten of personen. Vanwege de grote variatie in omvang van de overstromingspatronen zijn de verschillen in gevolgen, zowel tussen de twee dijkringen alsmede binnen de dijkringen, relatief groot.

Voor het bepalen van de gevolgen wordt gebruik gemaakt van een Nederlands schade en slachtoffermodel [27]. Het model is voor de Nederlandse situatie ontwikkeld en is binnen deze studie ook toegepast op het Duitse deel van de dijkkring 42 en 48.

Het model maakt gebruik van basisgegevens om de economische schade en het aantal slachtoffers te berekenen. De basisgegevens geven de ruimtelijke verdeling weer van onder andere het wegennetwerk, het grondgebruik, de bedrijven, huizen en inwoners.

#### Evacuatie

Voor het bepalen van het aantal slachtoffers als gevolg van een overstroming zijn de mogelijkheden voor (preventieve) evacuatie van belang. In de praktijk wordt de effectiviteit van preventieve evacuaties bepaald door de voorspelbaarheid van overstromingen, de capaciteit van de aanwezige infrastructuur en de condities waaronder een evacuatie moet worden uitgevoerd, zoals sociale onrust [28].

Bij het berekenen van het aantal slachtoffers is, analoog aan de aanpak van VNK2, rekening gehouden met vier preventieve evacuatiescenario's. Deze scenario's worden gebruikt om in deze studie de gevolgen van een overstroming te bepalen.

De evacuatiefracties drukken het deel van de bevolking uit dat preventief geëvacueerd kan worden. Voor verdere achtergrond aangaande de evacuatie wordt verwezen naar de achtergrondrapportage van VNK2 [29].

#### 4.1.3

### Overstromingsrisico

Onder het begrip overstromingsrisico wordt verstaan de combinatie van kansen en gevolgen van overstromingen. Het overstromingsrisico is berekend door de faalkansen zoals bepaald in paragraaf 4.1.1 te combineren met de gevolgen van de verschillende overstromingsscenario's (paragraaf 4.1.2). Bij de selectie van de overstromingsberekeningen is steeds gekeken naar de belastingcondities waarbij het optreden van de verschillende scenario's het meest waarschijnlijk is.

De gevolgen worden uitgedrukt in economische schade of aantal slachtoffers. Het economisch risico en het slachtofferrisico kunnen met diverse risicomaten worden weergegeven. Deze paragraaf beschrijft deze verschillende risicomaten.

#### Economisch risico

Het economisch risico is de jaarlijkse verwachtingswaarde van de economische schade, uitgedrukt in € per jaar. Het is een gewogen gemiddelde van alle mogelijke schades, met als gewichten de kansen op die schades.

#### Slachtofferrisico

Het slachtofferrisico is de jaarlijkse verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers, uitgedrukt in een aantal slachtoffers per jaar. Het is een gewogen gemiddelde van het aantal mogelijke slachtoffers per overstromingsscenario, met als gewichten de kansen op die aantallen slachtoffers.

#### Lokaal individueel risico (LIR)

Het lokaal individueel risico is 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.

## 4.2

### Overstromingsrisico's 2015

Voor bepaling van het overstromingsrisico voor het jaar 2015 is uitgegaan van de toestand van de waterkeringen in het jaar 2015 en de gevolgen in het jaar 2015. Voor de waterkering betekent dat, dat de in dat jaar opgestarte verbeteringen aan de waterkeringen als afgerond zijn beschouwd. Voor de locaties waar dijkverbeteringen wel op het programma staan maar nog niet zijn opgestart, is de situatie vóór dijkversterking meegenomen.



Voor bepaling van de gevolgen in de situatie 2015 is de omvang van de bevolking meegenomen, de hoeveelheid en soort bebouwing en de aanwezige infrastructuur.

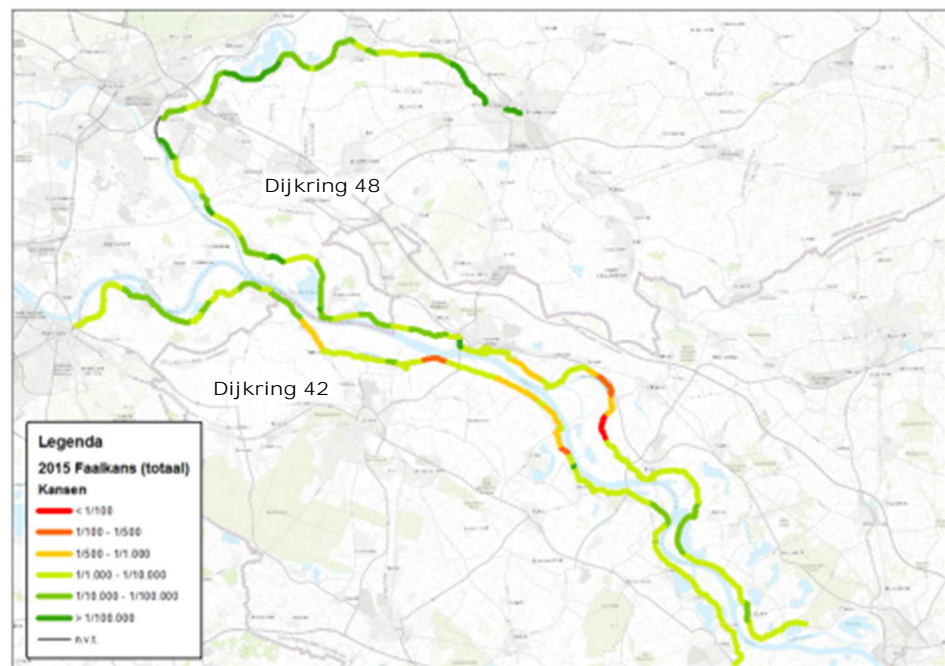
#### 4.2.1

### Faalkans

Voor alle dijkvakken van beide dijkringen zijn faalkansen berekend conform de methodiek zoals gehanteerd binnen het Nederlandse project VNK2. Voor het Nederlandse deel is voor de faalkansen uitgegaan van de reeds berekende kansen uit VNK2 [17][18]. Voor het Duitse deel zijn de faalkansen berekend voor de verschillende mechanismen met behulp van PC-Ring, zie [15][16] en [31] voor de berekende faalkansen per faalmechanisme per dijkvak.

In Figuur 9 zijn de berekende faalkansen per dijkvak weergegeven voor de situatie 2015. Dit zijn de gecombineerde faalkansen voor alle mechanismen. Indien voor een dijkvak meerdere faalmechanismen zijn beschouwd dan is hier de gecombineerde faalkans gepresenteerd.

Figuur 9  
Faalkansen 2015 op  
dijkvakniveau



Voor dijkkring 42 zijn er in totaal zes dijkvakken met een faalkans groter dan 1/1000 per jaar, variërend van 1/240 tot 1/910 per jaar. Voor twee van deze dijkvakken is het mechanisme Opbarsten en piping maatgevend en voor de overige vier is dit het mechanisme Overloop en golfoverslag.

Voor dijkkring 48 zijn er ook in totaal zes dijkvakken met een faalkans groter dan 1/1000 per jaar, variërend van 1/100 tot 1/880 per jaar. Voor één van deze dijkvakken is het mechanisme Opbarsten en piping beeldbepalend. Voor de overige vijf dijkvakken is dit het mechanisme Overloop en golfoverslag.

De locatie van de vakken waar de berekende faalkans relatief groot is, zijn de trajecten waar nog dijkverbeteringen uitgevoerd worden in de periode tot 2025 in het kader van het Fahrplan Deichsanierung NRW.

Door het combineren van alle faalkansen van de verschillende vakken kan per dijkkring de overstromingskans worden bepaald. In Tabel 1 zijn op dijkkringniveau de faalkansen per mechanisme weergegeven als ook de totale overstromingskans per dijkkring. Hierbij is nog onderscheid gemaakt tussen de berekende kansen voor het Duitse en Nederlandse deel van de dijkkring.

Tabel 1  
Faalkansen 2015

Tijdshorizon 2015	Faalkans (per jaar) Dijkkring 42			Faalkans (per jaar) Dijkkring 48		
	Faalmechanisme	Sectie DE	Sectie NL	Gehele Dijkkring	Sectie DE	Sectie NL
Overloop en golfoverslag	1/660 resp. 0.151%	1/4.500 resp. 0.022%	1/660 resp. 0.151%	1/580 resp. 0.172%	1/6.700 resp. 0.015%	1/580 resp. 0.172%
Macrostabieliteit binnenwaarts	1/380.000 resp. 0.0003%	1/830.000 resp. 0.0001%	1/300.000 resp. 0.0003%	1/10.000 resp. 0.01%	1/200.000 resp. 0.0005%	1/10.000 resp. 0.01%
Opbarsten en piping	1/150 resp. 0.667%	1/450 resp. 0.222%	1/120 resp. 0.833%	>1/100 resp. >1%	1/570 resp. 0.175%	>1/100 resp. >1%
Beschadiging bekleding en erosie dijklchaam	1/520.000 resp. 0.0002%	1/300.000 resp. 0.0003%	1/210.000 resp. 0.0005%	1/21.000 resp. 0.005%	1/11.000 resp. 0.009%	1/7.600 resp. 0.013%
Overstromingskans over alle vier faalmechanismen	1/140 resp. 0.714%	1/410 resp. 0.244%	1/120 resp. 0.833%	>1/100 resp. >1 %	1/530 resp. 0.189%	>1/100 resp. >1%

#### 4.2.2

#### Gevolgen

In paragraaf 4.1.2 is een aantal voorbeelden van een overstroming weergegeven. Als gekeken wordt naar alle verschillende breslocaties dan is voor dijkkring 42 de schade afhankelijk van de breslocatie. De schade varieert tussen de 1 en 6,5 miljard euro en er worden tussen de 10.000 en 50.000 mensen getroffen. Het aantal potentiële slachtoffers in dijkkring 42 ligt tussen 5 en 650. Dit is afhankelijk van de breslocatie en de mate waarin een preventieve evacuatie succesvol is verlopen, uitgedrukt in een bepaald evacuatie percentage.

Voor dijkkring 48 is de variatie groter. Afhankelijk van de breslocatie is de schade tussen 250 miljoen en 8,5 miljard euro schade en worden tussen de 3.500 en 140.000 mensen getroffen. Het aantal potentiële slachtoffers ligt voor dijkkring 48 ook hoger dan voor dijkkring 42. Voor dijkkring 48 varieert het tussen de 5 en 1500. Dit is afhankelijk van de breslocatie en de mate waarin een preventieve evacuatie succesvol is verlopen.

Bij deze resultaten met betrekking tot het aantal getroffen en aantal potentiële slachtoffers voor de dijkkringen 42 en 48 is voor de volledige dijkkring uitgegaan van de Nederlandse aanname t.a.v. preventieve evacuatie. Dit betekent dat minimaal 76% van aantal inwoners op tijd geëvacueerd kan worden, overeenkomstig VNK2.

Dit is in tegenstelling met de in Nordrhein-Westfalen gebruikelijke aanname van een 100% evacuatie als uitgangspunt voor vergelijkbare beschouwingen. Daarom is in dit verband een gevoeligheidsanalyse verricht met hogere evacuatie percentages, zie paragraaf 5.2.

Wanneer deze twee dijkringen worden vergeleken dan valt op dat voor dijkkring 42 het grootste deel van de schade en getroffen en in Duitsland valt, orde 75%. Voor dijkkring 48 is dit andersom en valt orde 90% van de schade en getroffen en in Nederland. Een overzicht van alle individuele breslocaties en de bijbehorende gevolgen is opgenomen in [15] en [16].

### 4.2.3 Overstromingsrisico

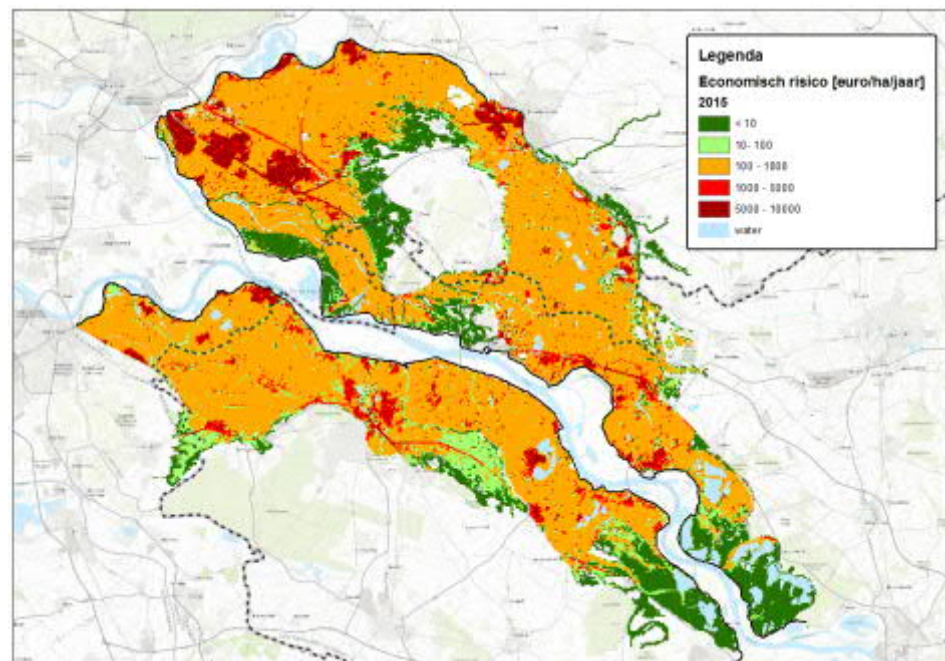
Het overstromingsrisico wordt vervolgens bepaald door de kansen zoals bepaald in paragraaf 4.2.1 te combineren met de in paragraaf 4.2.2 bepaalde overstromingsgevolgen van de verschillende overstromingsscenario's.

#### Economisch Risico

Door de economische schade als gevolg van de verschillende overstromingsscenario's te combineren met de kans op die scenario's wordt de verwachtingswaarde van de economische schade bepaald. Voor dijkkring 42 is de berekende verwachtingswaarde van de economische schade orde 23 miljoen euro per jaar en voor dijkkring 48 is dat 78 miljoen euro per jaar voor de situatie 2015.

Deze economische schade treed met name op in bebouwde gebieden. Dit is ook terug te zien in de ruimtelijke verdeling van het economisch risico. In Figuur 10 is duidelijk te zien dat het economisch risico het hoogst is op plekken waar de steden liggen.

Figuur 10  
Economisch risico  
2015



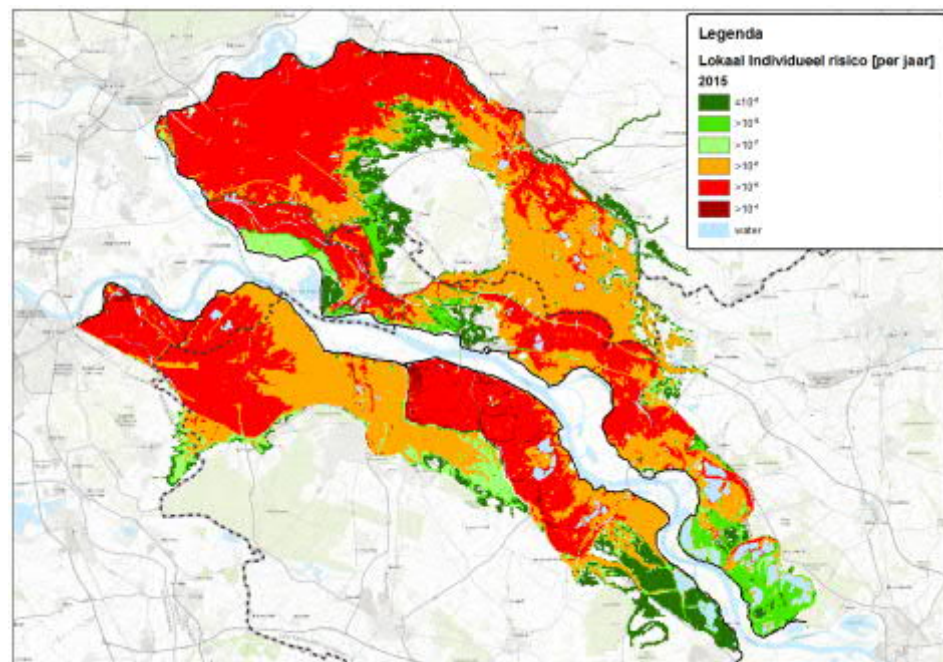
Wanneer naar de verdeling van het economisch risico tussen Duitsland en Nederlands wordt gekeken dan treedt voor dijkkring 42 ongeveer 75% van het risico op in het Duitse deel van de dijkkring. Voor dijkkring 48 treedt het economische risico met name op in het Nederlandse deel van de dijkkring, ongeveer 90% van het totaal berekende economische risico.

#### Slachtofferrisico

Het lokaal individueel risico (LIR) geeft een ruimtelijk beeld van het risico. Hierbij beschrijft het lokaal individueel risico de kans per jaar dat een persoon die zich permanent op een bepaalde plaats in het dijkkringgebied bevindt, overlijdt als gevolg van een overstroming van dit dijkkringgebied, waarbij de mogelijkheden voor preventieve evacuatie zijn meegenomen. Hierbij is voor beide dijkringen uitgegaan van de Nederlandse aanname t.a.v. evacuatie (gemiddeld 76%) overeenkomstig VNK2 [29]. Een gevoeligheidsanalyse naar 100 procent evacuatie is uitgewerkt in paragraaf 5.2. De jaarlijkse verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is uitgedrukt in een aantal (dodelijke) slachtoffers per jaar. Voor dijkkring 42 is dat minder dan 1 slachtoffer per jaar en voor dijkkring 48 is dat 1 à 2 slachtoffers per jaar.

In Figuur 11 is het lokaal individueel risico weergegeven. In de rode delen van de dijkkring is het LIR tussen 1/10.000 en 1/100.000 per jaar. Dat wil zeggen dat in deze gebieden de berekende kans dat iemand mogelijk komt te overlijden als gevolg van een overstroming tussen de 1/10.000 en 1/100.000 per jaar ligt. In de figuur zijn ook duidelijk de hoger gelegen lijnelementen te zien die er voor zorgen dat daar lokaal het water wordt opgestuwd. Dit leidt tot een grotere overlijdenskans als gevolg van de hogere waterstanden en/of snellere stijging van waterstanden.

Figuur 11  
Lokaal individueel  
risico 2015





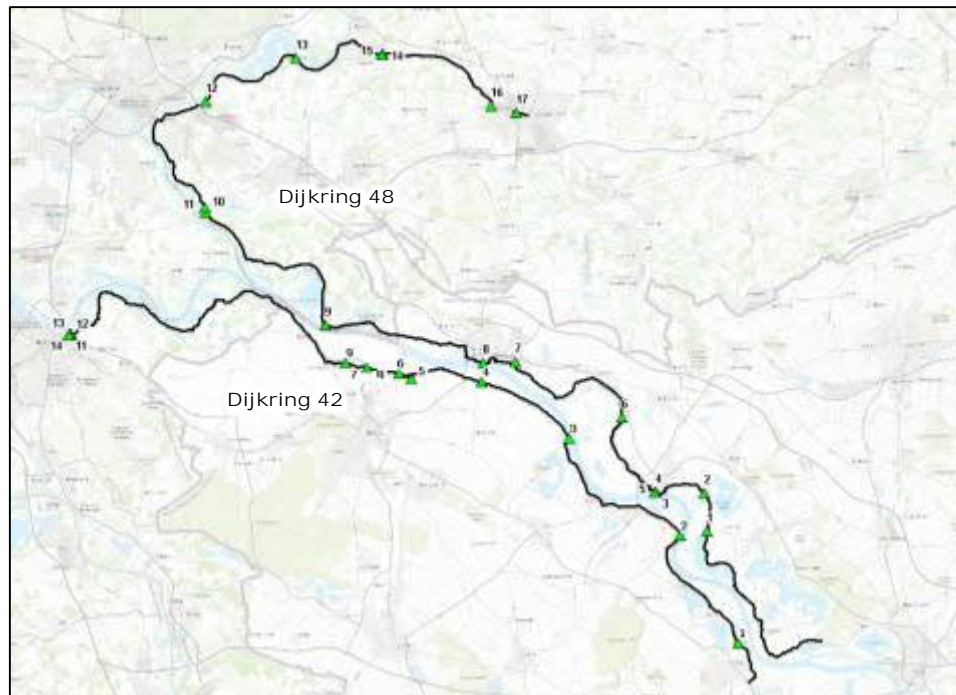
#### 4.2.4

### Invloed kunstwerken op risico 2015

Naast de dijkvakken zijn er ook meerdere waterbouwkundige kunstwerken beschouwd. Deze kunstwerken hebben naast de functie waterkeren ook nog een andere functie zoals het bevorderen van verkeer bij coupures en schutsluizen of het waterbeheer in de dijkring (gemalen en in-/uitlaatsluizen). Deze kunstwerken zijn specifiek ontworpen om deze verschillende functies te kunnen vervullen en behoeven bijzondere aandacht bij de beschouwing van hun waterkerende werking. In Figuur 12 en Tabel 2 zijn alle kunstwerken weergegeven die geanalyseerd zijn.

Voor de Nederlandse waterbouwkundige kunstwerken zijn de resultaten overgenomen uit de VNK2 analyse van de dijkringen 42 en 48 [17][18]. De faalkansen van de Duitse kunstwerken zijn bepaald conform de systematiek die is gehanteerd in de Nederlandse VNK2-studie. Omdat er onvoldoende informatie beschikbaar was voor een gedetailleerde faalkansberekening in PC-Ring, is er gebruik gemaakt van handrekenregels die binnen VNK2 zijn gebruikt voor een eerste faalkans inschatting. Dit is aangevuld met expert judgement voor die waterbouwkundige kunstwerken waarvoor helemaal geen informatie beschikbaar was [30][15][16].

Figuur 12  
Waterbouwkundige kunstwerken in dijkring 42 en 48



Tabel 2  
Overzicht kunstwerken in dijkring 42 en 48

Dijkring 42		Dijkring 48	
1	Deichscharte Lüttingen	1	Schöpfwerk Bislicher Ley
2	Obermörnter - Mobile Schutzwand	2	Schöpfwerk Haffen *
3	Grieth - Deichtor	3	Deichtor Rees – Op de Poort *
4	Schöpfwerk Kalflack	4	Deichtor Rees – Aurich *
5	Schöpfwerk Altrhein	5	Deichtor Rees – Hotel
6	Deichtor Griethausen	6	Durchlassbauwerk Bienen *
7	Schleuse Brienen *	7	Schöpfwerk Löwenberg
8	Schöpfwerk Spoy	8	Rheinpromenade Emmerich *
9	Schöpfwerk Vossholt	9	Coupure Tolkamer

Dijkkring 42		Dijkkring 48	
10	Coupure Dijkgraaf van Wijckweg	10	Gemaal Bevermeer
11	Coupure Ubbergseweg (zandzakken coupure)	11	Gemaal Liemers
12	Coupure Waalbandijk (in brug Hollands- Duits gemaal)	12	Gemaal Kandia
13	Ecoduiker (Hollands-Duits gemaal-ecosluis)	13	Spoorlijn Betuwe
14	Hollands-Duitsch Gemaal	14	Duiker Wijbergse loopgraaf
		15	Duiker Kapperkolkse water
		16	Uitwateringssluis Hoge Leiding
		17	Effluentleiding RWZI Nieuwgraaf

Binnen dijkkring 42 is er 1 waterbouwkundig kunstwerk met een significante bijdrage aan de overstromingskans en voor dijkkring 48 zijn dat er 5. In Tabel 2 zijn deze aangemerkt met een ster. Al deze kunstwerken bevinden zich in het Duitse deel van de dijkkring. Van deze kunstwerken waren relatief weinig gegevens beschikbaar, waardoor deels ook aannames gedaan moesten worden. De overige kunstwerken in de dijkkring hebben geen significante bijdrage aan de overstromingskans.

De actuele overstromingskans voor de dijkkringen 42 en 48 waarbij alleen naar de dijken is gekeken is respectievelijk 1/120 en >1/100 per jaar voor het zichtjaar 2015 (zie paragraaf 4.2.1). Voor dijkkring 42 neemt deze overstromingskans toe met een factor 2 à 3 wanneer ook de kunstwerken worden meegenomen. Ook voor dijkkring 48 is deze toename een factor 2 à 3. Doordat de kunstwerken met de grootste faalkansen zich in het midden (dijkkring 42) dan wel bovenstrooms (dijkkring 48) van de dijkkring bevinden, wordt ingeschat dat ook het overstromingsrisico (zowel economisch als slachtoffers) met dezelfde factoren kan toenemen.

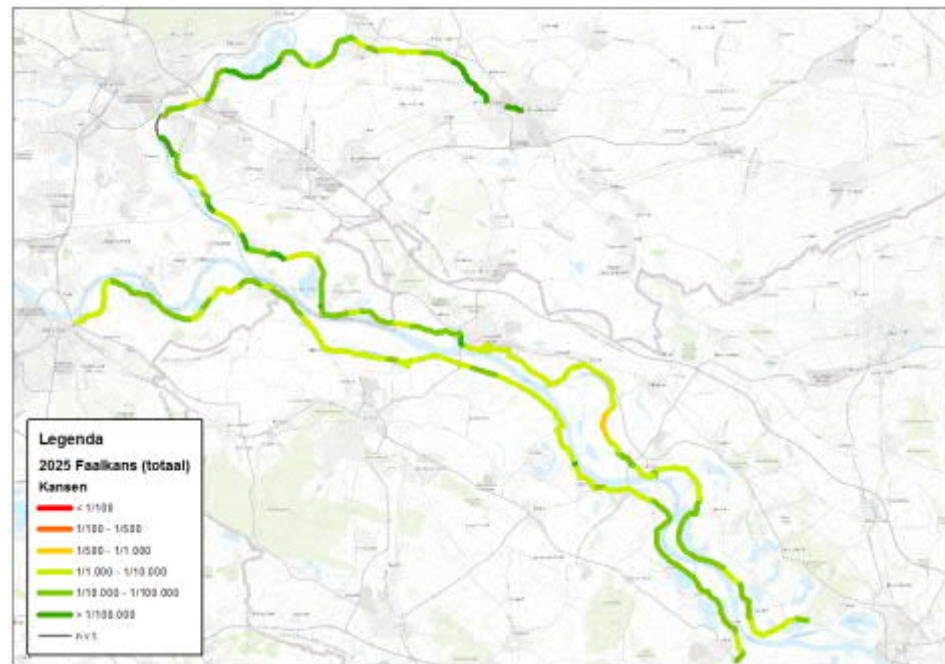
## 4.3 Overstromingsrisico's 2025

In de situatie 2015 zijn de dijkversterkingen die nog uitgevoerd moeten worden niet meegenomen. In de situatie 2025 worden alle nog geplande dijkversterkingsmaatregelen in NRW als afgerond beschouwd. Daarnaast wordt aangenomen dat in 2025 het retentiegebied Lohrwardt operationeel is, wat een waterstandsverlagend effect heeft op de Rijn. Ook zijn alle kunstwerken als versterkt verondersteld en hebben daarmee geen invloed meer op de faalkans en het risico.

### 4.3.1 Faalkans

De werkwijze voor bepaling van de kansen is gelijk als voor de situatie 2015. Alleen is voor de locaties waar een dijkversterkingsmaatregel gepland staat de schematisatie van de waterkering aangepast zodat deze aansluit bij het ontwerp van de waterkering zoals deze er in 2025 uit moet komen te zien. In Figuur 12 zijn de nieuw berekende faalkansen per dijkvak weergegeven voor de situatie 2025. Dit zijn de gecombineerde faalkansen voor alle faalmechanismen. Indien voor een dijkvak meerdere faalmechanismen zijn beschouwd dan is hier de gecombineerde faalkans gepresenteerd.

Figuur 13  
Faalkansen 2025 op  
dijkvakniveau



In de figuur is duidelijk te zien dat de faalkansen met name in het middelste gedeelte van de figuur een kleinere faalkans hebben gekregen. Dit is het gevolg van de geplande dijkversterkingsmaatregelen in Nordrhein-Westfalen.

Voor dijkkring 42 hebben alle dijkvakken een faalkans kleiner dan 1/1000 per jaar en voor dijkkring 48 heeft slechts één dijkvak een faalkans groter dan 1/1000 per jaar, namelijk 1/700 per jaar. Voor beide dijkringen is het mechanisme Opbarsten en piping maatgevend.

Door het combineren van de kansen van de verschillende vakken worden de faalkansen op dijkkringniveau bepaald. In Tabel 3 zijn op dijkkringniveau de faalkansen per mechanisme weergegeven als ook de totale overstromingskans per dijkkring.

Tabel 3  
Faalkansen 2025

Faalmechanisme	Tijdshorizon 2025 Faalkans (per jaar) Dijkkring 42			Faalkans (per jaar) Dijkkring 48		
	Sectie DE	Sectie NL	Gehele Dijkkring	Sectie DE	Sectie NL	Gehele Dijkkring
Overloop en golfoverslag	1/2.200 resp. 0.045%	1/5.300 resp. 0.151%	1/2.200 resp. 0.151%	1/1.500 resp. 0.067%	1/6.900 resp. 0.015%	1/1.500 resp. 0.067%
Macrostabiliteit binnenwaarts	<1/1.000.000 resp. <0.0001%	1/830.000 resp. 0.0001%	1/750.000 resp. 0.0001%	1/190.000 resp. 0.0005%	1/200.000 resp. 0.0005%	1/190.000 resp. 0.0005%
Opbarsten en piping	1/590 resp. 0.169%	1/450 resp. 0.222%	1/280 resp. 0.357%	1/580 resp. 0.172%	1/700 resp. 0.143%	1/360 resp. 0.278%
Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	<1/1.000.000 resp. <0.0001%	1/300.000 resp. 0.0003%	1/290.000 resp. 0.0003%	1/520.000 resp. 0.0002%	1/11.000 resp. 0.009%	1/11.000 resp. 0.009%
Overstromingskans over alle vier faalmechanismen	1/500 resp. 0.2%	1/420 resp. 0.238%	1/280 resp. 0.357%	1/510 resp. 0.196%	1/650 resp. 0.154%	1/340 resp. 0.294%

Uit de resultaten is op te maken dat in 2025 de overstromingskansen van beide dijkkringen ongeveer gelijk zijn. Ook de faalkansen in het Nederlandse en Duitse deel van de dijkkring zijn ongeveer gelijk aan elkaar.

#### 4.3.2 Gevolgen

Voor het zichtjaar 2025 zijn geen nieuwe gevolgenberekeningen gemaakt. Voor het berekenen van het overstromingsrisico van 2025 worden de gevolgen van 2015 gehanteerd. De vergelijking tussen het overstromingsrisico van 2015 en 2025 heeft vooral als doel om de effectiviteit van de nog geplande dijkverbeteringen in NRW op het risico inzichtelijk te maken. Hierdoor zijn de gevolgen voor 2025 gelijk gehouden aan die van 2015 en is er geen rekening gehouden met eventuele groei van economie en bevolking in de periode tussen 2015 en 2025.

#### 4.3.3 Overstromingsrisico

Voor de risico's 2025 zijn de gevolgen gelijk gebleven aan het zichtjaar 2015. De verandering in risico's wordt dus alleen veroorzaakt door een verandering in faalkans.

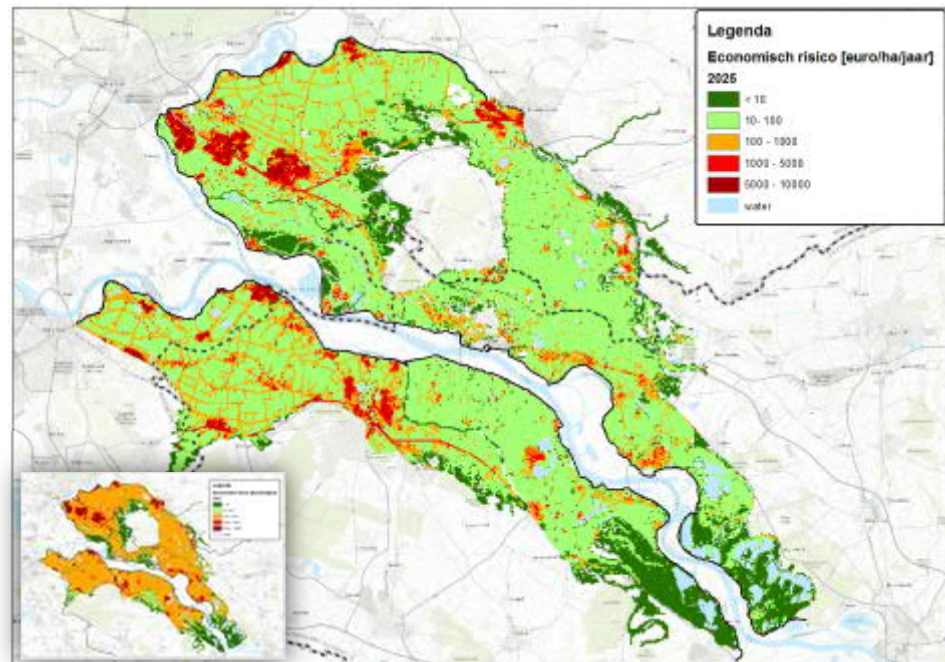
##### Economisch Risico

Door de kleinere faalkansen van de waterkering neemt het economisch risico voor het zichtjaar 2025 significant af. De verwachtingswaarde van de economische schade per jaar neemt voor dijkkring 42 af van orde 23 miljoen euro per jaar naar 14,2 miljoen euro per jaar. Dit is een reductie van ongeveer 40 procent. Voor dijkkring 48 is de afname nog groter. Daar neemt de verwachtingswaarde af van 78 miljoen euro per jaar naar 17,5 miljoen euro per jaar, dit is een afname van ongeveer 75%.

De afname van het economisch risico is toe te schrijven aan de geplande dijkversterkingen in NRW [32]. In Figuur 14 is de afname van het economisch risico in het gebied weergegeven. De situatie 2015 is in de inzet weergegeven, hiermee is duidelijk de afname van het risico te zien.



Figuur 14  
Economisch risico  
2025, met als inzet  
het economisch  
risico 2015

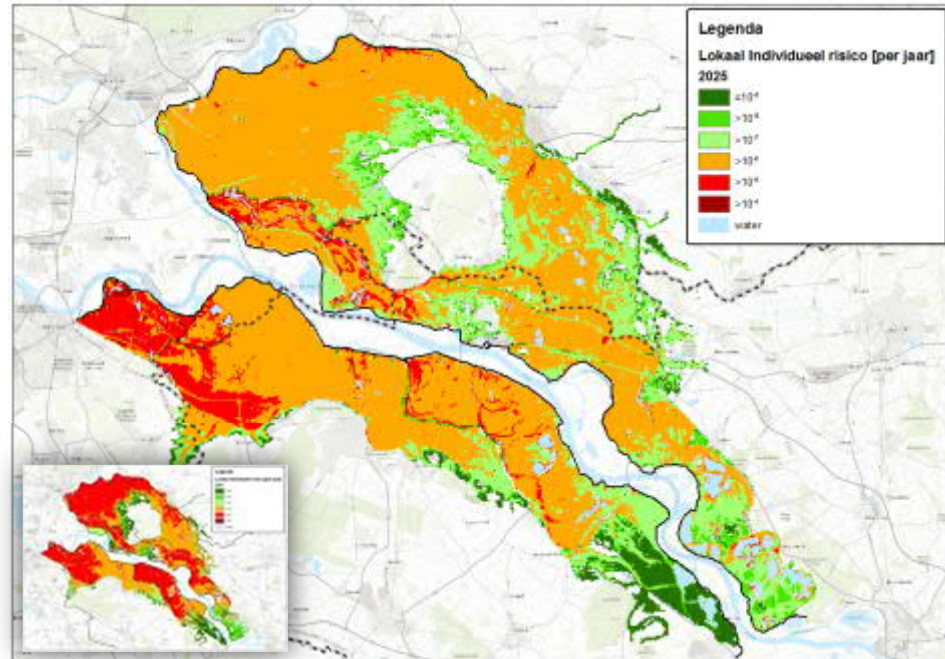


#### Slachtofferrisico

Ook het slachtofferrisico neemt door de kleinere kansen af. De jaarlijkse verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers voor dijkkring 42 was al in 2015 minder dan 1 slachtoffer per jaar en dat neemt nog met 30% af. Voor dijkkring 48 was voor 2015 de verwachtingswaarde 1 à 2 slachtoffers per jaar. Dit neemt met 75% af naar minder dan 1 slachtoffer per jaar.

Het lokaal individueel risico neemt ook sterk af ten opzichte van het zichtjaar 2015, zie Figuur 15. Hierin is te zien dat voor dijkkring 48 het grootste gedeelte van de dijkkring een lokaal individueel risico heeft van kleiner dan 1/100.000 per jaar. Voor dijkkring 42 is de afname ook groot, alleen in het benedenstroomse deel van de dijkkring ligt het LIR nog tussen de 1/10.000 en 1/100.000 per jaar.

Figuur 15  
Lokaal individueel  
risico 2025, met als  
inzet het lokaal  
individueel risico in  
2015



#### 4.4 Overstromingsrisico's 2025 inclusief overstromingen bovenstrooms van Wesel

De overstromingsrisico's voor 2015 en 2025 zoals gepresenteerd in de voorgaande paragrafen zijn berekend met onder meer de waterstandstatistiek zoals die binnen het project Veiligheid Nederland in Kaart 2 is gehanteerd. Deze is gebaseerd op hydraulische Randvoorwaarden uit 2001 [33]. Ze berusten op de bestaande meetreeks van de afvoeren bij Lobith en zijn door toepassing van extreme-waardenstatistiek geëxtrapoleerd naar extreme afvoeren met een kleinere kans van optreden.

Deze, op gemeten tijdreeksen gebaseerde, methode wordt ook toegepast voor de Rijnwaterstanden in Nordrhein-Westfalen, om voor zeldzame extreme afvoeren dienovereenkomstige waarden te genereren.

Zeker sinds de studie 'Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein' [34] is bekend dat deze voor extreme afvoeren relatief onnauwkeurig is. Terwijl in de meetgegevens, d.w.z. de hoogwaters van de afgelopen ca. 100 jaar, geen grootschalige overstromingen langs de Rijn zijn opgenomen, wordt met behulp van de statistische methode op basis van deze gegevens geëxtrapoleerd naar afvoerwaarden waarbij deze grootschalige overstromingen juist wel optreden.

In het Nederlandse project Generation of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) is daarom een nieuwe methode ontwikkeld om de extreme afvoer en bijbehorende afvoergolf voor het stroomgebied van de Rijn te bepalen [35]. Met deze methode kunnen de effecten van overstromingen bovenstrooms in het stroomgebied van de Rijn op de afvoeren van de Niederrhein worden bepaald.

Bovendien kan deze methode worden gebruikt om de effecten van klimaatveranderingen op de Rijnafvoeren in kaart te brengen. Voor meer achtergrondinformatie over de GRADE methodiek en de effecten op het overstromingsrisico wordt verwezen naar de rapportages van dijkkring 42 en 48 [15][16].

#### 4.4.1

### Faalkans

Het meenemen van overstromingen in Rijnstroomgebied bovenstrooms van Wesel, net bovenstrooms van dijkkring 42 en dijkkring 48, in de belasting tegen de waterkering heeft een overwegend positief effect op de berekende faalkansen van de verschillende faalmechanismen. Alleen op het gebied van Opbarsten en piping heeft het meenemen van bovenstroomse overstromingen een beperkt effect. Dit komt omdat voor Opbarsten en piping ook lagere waterstanden belangrijk zijn in de faalkans. Bij deze lagere waterstanden treden er bovenstrooms nog nauwelijks overstromingen op waardoor voor dit faalmechanisme het effect beperkt is. In Tabel 4 is een overzicht gegeven van de faalkansen op dijkkringniveau van de verschillende mechanismen. Hierin is duidelijk te zien dat het, met uitzondering van Opbarsten en piping, een positief effect heeft. Doordat Opbarsten en piping het mechanisme is met de grootste faalkans, domineert deze ook de overstromingskans.

Tabel 4  
Faalkansen 2025  
inclusief  
overstromingen  
bovenstrooms van  
Wesel

Faalmechanisme	Faalkans (per jaar) Dijkkring 42		Faalkans (per jaar) Dijkkring 48	
	2025	2025	2025	2025
Met/zonder overstromingen bovenstrooms van Wesel	Zonder	Met	Zonder	Met
Overloop en golfoverslag	1/2.200 resp. 0,045%	1/16.000 resp. 0,006%	1/1.500 resp. 0,067%	1/9.600 resp. 0,01%
Macrostabiliteit binnenwaarts	1/750.000 resp. 0,0001%	<1/1.000.000 resp. <0,0001%	1/190.000 resp. 0,0005%	<1/1.000.000 resp. <0,0001%
Opbarsten en piping	1/280 resp. 0,357%	1/300 resp. 0,333%	1/360 resp. 0,278%	1/350 resp. 0,286%
Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/290.000 resp. 0,0003%	1/580.000 resp. 0,0002%	1/11.000 resp. 0,009%	1/18.000 resp. 0,006%
Overstromingskans over alle vier faalmechanismen	1/280 resp. 0,357%	1/300 resp. 0,333%	1/340 resp. 0,294%	1/340 resp. 0,294%

#### 4.4.2

### Gevolgen

Voor beide onderzochte situaties is gekeken naar zichtjaar 2025. Met betrekking tot de gevolgen (overstromingspatronen, economische schade, aantal slachtoffers) zijn er geen veranderingen. Daarnaast wordt voor de situatie, zonder overstromingen bovenstrooms van Wesel, verondersteld dat de situatie in 2025 hetzelfde is als in 2015, zie paragraaf 4.3.2.

#### 4.4.3

### Overstromingsrisico

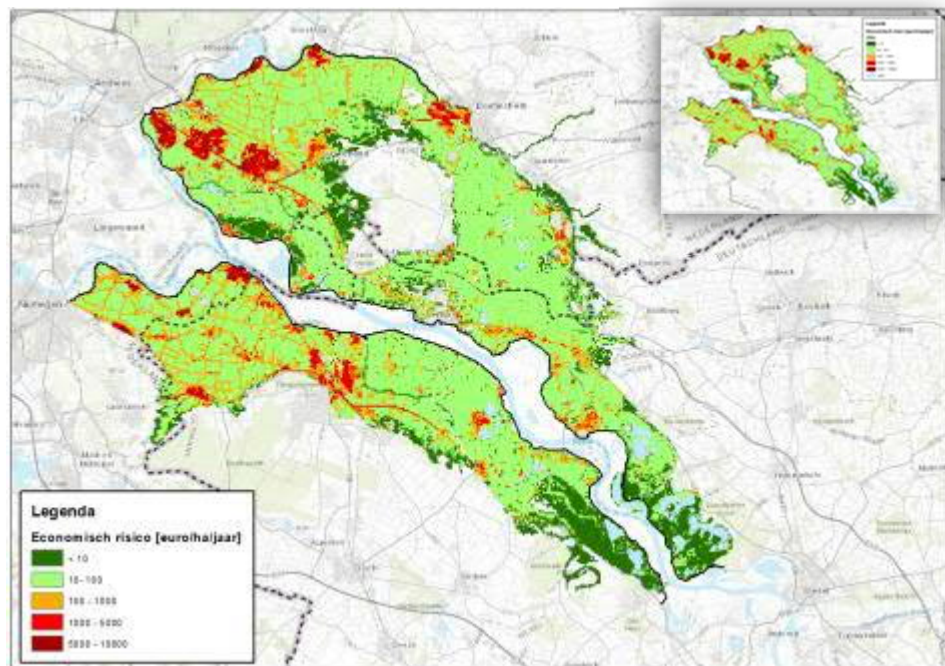
De overstromingsrisico's zijn in de paragraaf vergeleken met de situatie 2025 zonder overstromingen bovenstrooms van Wesel.

#### Economisch Risico

Doordat het overall effect van overstromingen bovenstrooms van Wesel op dijkkringniveau beperkt is, is de verandering van het economisch risico beperkt. De verwachtingswaarde van de economische schade per jaar neemt voor dijkkring 42 af van orde 14,2 miljoen euro per jaar naar 13,2 miljoen euro per jaar. Dit is een reductie van ongeveer 7%. Voor dijkkring 48 is de afname vergelijkbaar, daar neemt de verwachtingswaarde af van 17,5 miljoen euro per jaar naar 16,2 miljoen euro per jaar. Dit is ook een afname van ongeveer 7%.

In Figuur 16 is de verdeling van het economisch risico weergegeven, vergeleken met de situatie 2025 zonder bovenstroomse overstromingen (inzet) zijn de verschillen beperkt.

Figuur 16  
Economisch risico  
2025 inclusief  
overstromingen  
bovenstrooms van  
Wesel. De inzet  
toont het  
economische risico  
in 2025 zonder  
overstromingen  
bovenstrooms van  
Wesel



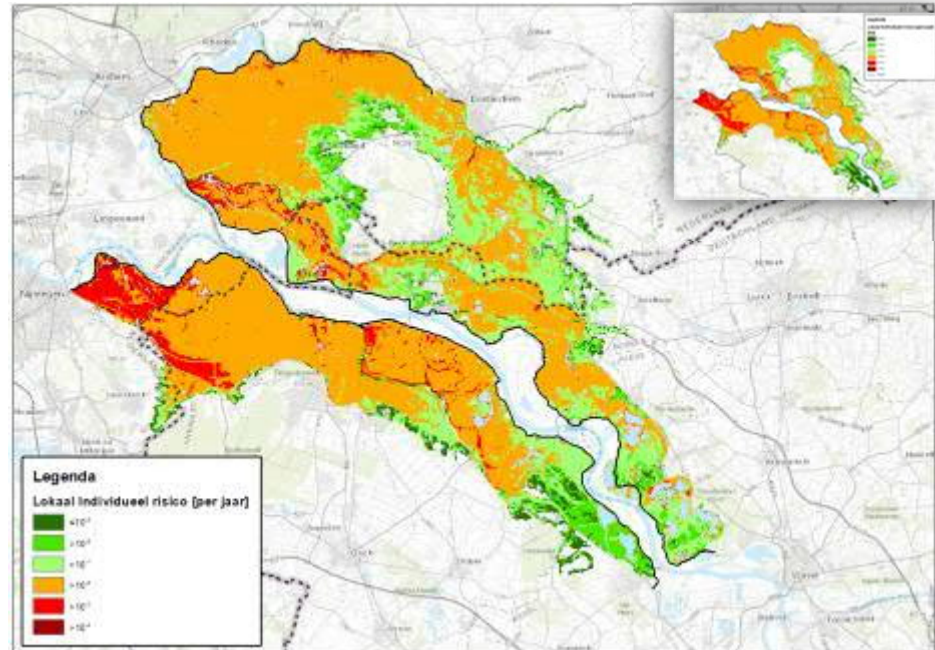
#### Slachtofferrisico

Ook de invloed op het slachtofferrisico is beperkt. De jaarlijkse verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers voor zowel dijkkring 42 als 48 was in 2015 al minder dan 1 slachtoffer per jaar. Dat neemt voor beide dijkkingen met 7% af t.g.v. het meenemen van overstromingen bovenstrooms van Wesel.

Het lokaal individueel risico is ten opzichte van de situatie 2025 zonder bovenstroomse overstromingen nagenoeg gelijk. In Figuur 17 is het lokaal individueel risico gevisualiseerd. In vergelijking tot de situatie 2025 zonder bovenstroomse overstromingen (inzet) is het beeld zeer vergelijkbaar.



Figuur 17  
Lokaal individueel  
risico 2025 inclusief  
overstromingen  
bovenstrooms van  
Wesel. De inzet  
toont het LIR in  
2025 zonder  
overstromingen  
bovenstrooms van  
Wesel



## 4.5 Overstromingsrisico's 2050

In de vorige paragrafen is het overstromingsrisico onder de huidige klimaatcondities beschreven. Er is ook gekeken naar het mogelijke overstromingsrisico in 2050 waarbij rekening is gehouden met klimaatverandering (inclusief overstromingen bovenstrooms van Wesel). Hierbij wordt het klimaatscenario KNMI'14 W<sub>H</sub> gebruikt. Dit scenario is één van de vier scenario's die in 2014 door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) voor Nederland zijn ontwikkeld en gepubliceerd [36]. Dit zijn geactualiseerde versies van de in 2006 gepubliceerde KNMI'06-scenario's [37].

Voor de onderhavige studie is uitgegaan van een "nat", extreem scenario KNMI'14 W<sub>H</sub>. Dit scenario gaat uit van een wereldwijde temperatuurstijging van 2°C in tot 2050. Maatgevend voor de onderhavige studie zijn de veranderingen in neerslag. Voor Nederland resulteren deze veranderingen in neerslag voor dit klimaatscenario in een tiendaagse winterse neerslagsom die eens in de tien jaar wordt overschreden, die tot 2020 toeneemt met 17%. Verder stijgt het aantal winterdagen met een neerslag van 10 mm en meer met 35%. Deze cijfers maken duidelijk dat dit scenario voor wat betreft het Rijnstroomgebied de natte en qua hoogwaters de ongunstige kant van de door de klimaatverandering mogelijke bandbreedte beschrijft.

Naast de veranderingen die in Nederland zelf zullen plaatsvinden, worden ook de afvoeren van de grensoverschrijdende waterlopen die uit andere landen Nederland binnenstromen, door klimaatveranderingen beïnvloed. Daarom zijn de KNMI'14-scenario's getransformeerd in temperatuur- en neerslagreeksen voor het hele stroomgebied van de Rijn en de Maas. Met behulp van het GRADE-instrumentarium zijn daaruit langjarige reeksen van afvoeren op verschillende punten langs de Rijn gegenereerd.

#### 4.5.1

#### Faalkans

Om de mogelijke effecten van klimaatverandering mee te nemen in de berekening van de faalkansen is de relatie tussen de afvoer en de bijbehorende herhalingstijd aangepast.

Door deze aanpassing kan de invloed van klimaatverandering op de faalkans worden berekend. In Tabel 5 is de kans op dijkkringniveau weergegeven voor de verschillende faalmechanismen. In de tabel is te zien dat in 2050 de berekende faalkansen toenemen. De oorzaak hiervan is dat door klimaatverandering de kans op hoge afvoeren toeneemt op basis van het gekozen KNMI '14 W<sub>H</sub> klimaatscenario. Voor beide dijkringen ligt de kans op een overstroming in 2050 rond 1/100 per jaar, waarbij dit voor het overgrote deel wordt veroorzaakt door het faalmechanisme Opbarsten en piping.

Tabel 5  
Faalkansen voor  
zichtjaren 2025 en  
2050.

Zichtjaar	Faalkans (per jaar) Dijkring 42			Faalkans (per jaar) Dijkring 48		
	2025	2025	2050	2025	2025	2050
Incl./Excl. overstromingen bovenstrooms van Wesel	Excl.	Incl.	Incl.	Excl.	Incl.	Incl.
Overloop en golfoverslag	1/2.200 resp. 0.045%	1/16.000 resp. 0.006%	1/3.700 resp. 0.045%	1/1.500 resp. 0.067%	1/9.600 resp. 0.01%	1/2.700 resp. 0.037%
Macrostabiliteit binnenwaarts	1/750.000 resp. 0.0001%	<1/1.000.000 resp. <0.0001%	<1/1.000.000 resp. <0.0001%	1/190.000 resp. 0.0005%	<1/1.000.000 resp. <0.0001%	<1/1.000.000 resp. <0.0001%
Opbarsten en piping	1/280 resp. 0.357%	1/300 resp. 0.333%	1/100 resp. 1%	1/360 resp. 0.278%	1/350 resp. 0.286%	1/110 resp. 0.909%
Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/290.000 resp. 0.0003%	1/580.000 resp. 0.0002%	1/300.000 resp. 0.0003%	1/11.000 resp. 0.009%	1/18.000 resp. 0.006%	1/12.000 resp. 0.008%
Overstromings- kans	1/280 resp. 0.357%	1/300 resp. 0.333%	1/100 resp. 1%	1/340 resp. 0.294%	1/340 resp. 0.294%	1/110 resp. 0.909%

#### 4.5.2

#### Gevolgen

Voor het bepalen van de gevolgen in 2050 is rekening gehouden met economische groei. Hiervoor is voor het gehele gebied een groei aangehouden van 2% per jaar. Dit resulteert in een factor 2 grotere economische schade in 2050 dan in 2015.

Voor het potentieel aantal slachtoffers is geen rekening gehouden met bevolkingsgroei aangezien dit in het projectgebied moeilijk te voorspellen is. Daarnaast is het lokaal individueel risico niet afhankelijk van het aantal inwoners. Het geeft het risico aan dat je als individu loopt op een bepaalde locatie in de dijkkring.

### 4.5.3

## Overstromingsrisico

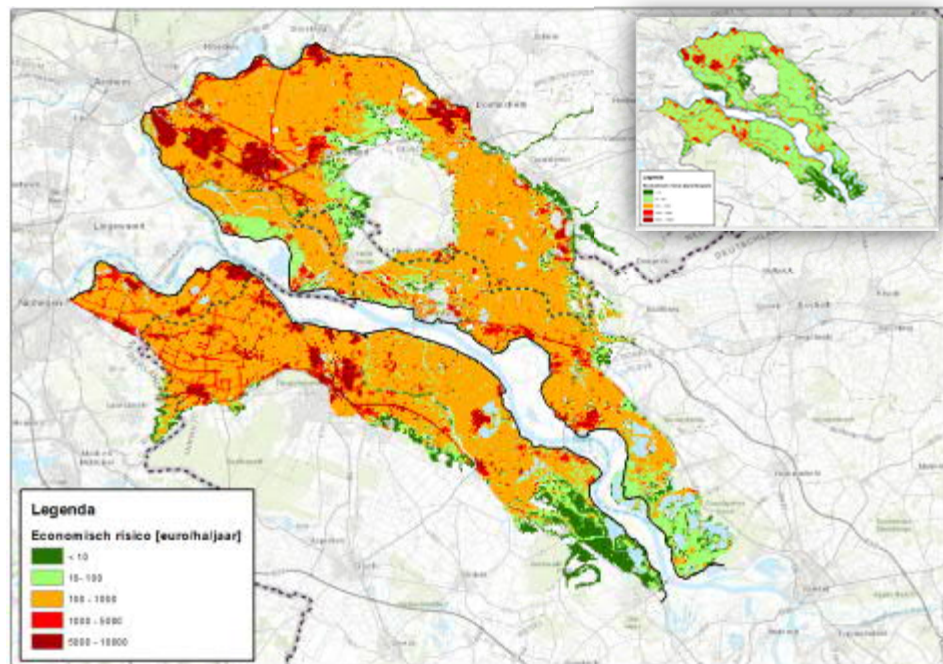
De overstromingsrisico's voor 2050 nemen toe ten opzichte van 2025 doordat enerzijds de kans op een overstroming toeneemt en anderzijds omdat er rekening wordt gehouden met economische groei.

### Economisch Risico

De verwachtingswaarde van de economisch schade neemt in 2050 toe, ten opzichte van de situatie in 2025. Voor de situatie tussen 2025 en 2050 is voor dijkkring 42 de toename een factor 6 en voor dijkkring 48 een factor 7. Voor dijkkring 42 neemt de verwachtingswaarde van de economisch schade toe tot 80,2 miljoen euro per jaar en voor dijkkring 48 tot 105,6 miljoen euro per jaar. Dit wordt veroorzaakt door een grotere kans op een overstroming (toename met een factor 3-3,5) en door een aangenomen economische groei van 2% per jaar (toename met een factor 2).

In Figuur 18 is de ruimtelijke verdeling van het economisch risico over het dijkkringgebied weergegeven voor zichtjaar 2050. Zoals verwacht op basis van de resultaten hierboven neemt de verwachtingswaarde van het economisch risico in 2050 toe als gevolg van klimaatverandering en economische groei.

Figuur 18  
Economisch risico  
2050. De inzet toont  
het economische  
risico in zichtjaar  
2025 (inclusief  
overstromingen  
bovenstrooms van  
Wesel)



### Slachtofferrisico

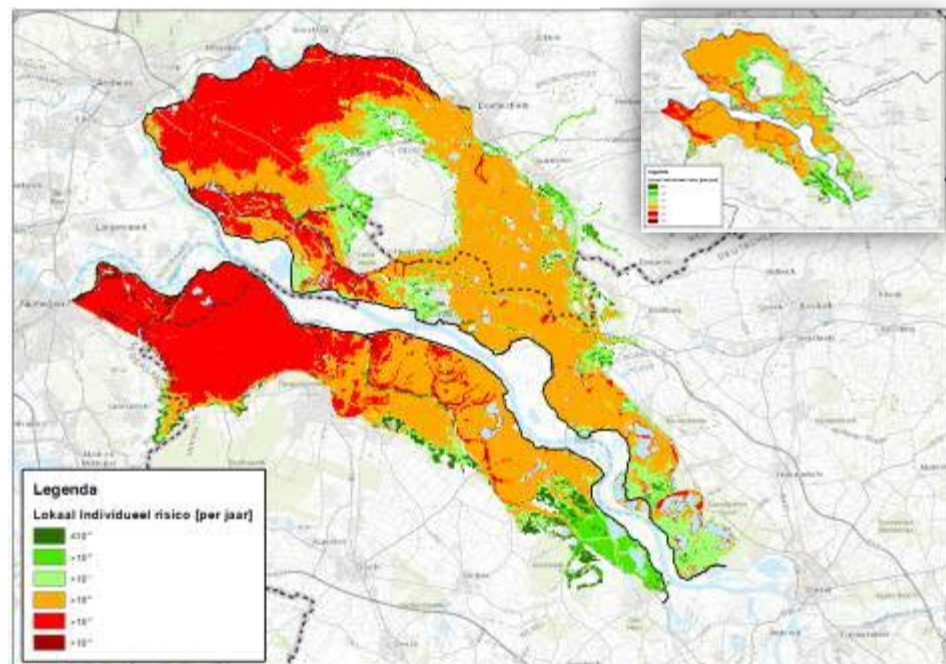
De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers per jaar neemt ook toe voor zichtjaar 2050. Deze toename is toe te schrijven aan de toename in faalkans omdat geen rekening is gehouden met bevolkingsgroei.

De jaarlijkse verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers voor zowel dijkkring 42 als 48 was in 2025 minder dan 1 slachtoffer per jaar. Deze nemen richting 2050 toe tot een verwachtingswaarde van ongeveer 1 slachtoffer per jaar.

Het lokaal individueel risico in 2050 is ten opzichte van de situatie 2025 significant toegenomen. In Figuur 19 is voor beide dijkringen te zien dat grote delen van de dijkkring een lokaal individueel risico hebben dat groter is dan 1/100.000 per jaar.

In 2050 heeft het volledige Nederlandse deel van dijkkring 42 een lokaal individueel risico groter dan 1/100.000 per jaar, net als ook een groot deel van het Duitse deel van de dijkkring. Voor dijkkring 48 heeft met name het Nederlandse deel van de dijkkring een lokaal individueel risico groter dan 1/100.000 per jaar.

Figuur 19  
Lokaal individueel risico 2050. De inzet toont het LIR in zichtjaar 2025 (inclusief overstromingen bovenstrooms van Wesel)



## 4.6 Overzicht ontwikkeling overstromingsrisico

In de voorgaande paragrafen is de ontwikkeling van de faalkans en het overstromingsrisico weergegeven. In deze paragraaf wordt een overzicht van de verschillende stappen en bijhorende resultaten gegeven.

De stappen die zijn onderscheiden zijn:

0. Startpunt: overstromingsrisico 2015
1. Overstromingsrisico 2025 na afronding dijkversterking NRW
2. Overstromingsrisico 2025 na afronding dijkversterking NRW en meenemen overstromingen in het Rijnstroomgebied bovenstrooms van Wesel
3. Overstromingsrisico 2050 na afronding dijkversterking NRW, meenemen overstromingen bovenstrooms van Wesel en meenemen klimaatverandering



In Tabel 6 en Tabel 7 is voor zowel dijkkring 42 als 48 de ontwikkeling van de faalkans weergegeven voor de verschillende stappen.

Tabel 6  
Overzicht  
ontwikkeling  
overstromingskans  
van dijkkring 42

Overzicht DR 42		Faalkans (per jaar) Dijkkring 42		
Zichtjaar	2015	2025	2025	2050
Dijkversterking NRW ja/nee	Nee	Ja	Ja	Ja
Incl./Excl. overstromingen bovenstrooms van Wesel	Excl.	Excl.	Incl.	Incl.
Overloop en golfoverslag	1/660 resp. 0.151%	1/2.200 resp. 0.045%	1/16.000 resp. 0.006%	1/3.700 resp. 0.027%
Macrostabiliteit binnenwaarts	1/300.000 resp. 0.0003%	1/750.000 resp. 0.0001%	<1/1.000.000 resp. <0.0001%	<1/1.000.000 resp. <0.0001%
Opbarsten en piping	1/120 resp. 0.833%	1/280 resp. 0.357%	1/300 resp. 0.333%	1/100 resp. 1%
Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/210.000 resp. 0.0005%	1/290.000 resp. 0.0003%	1/580.000 resp. 0.0002%	1/300.000 resp. 0.0003%
Overstromingskans over alle vier faalmechanismen	1/120 resp. 0.833%	1/280 resp. 0.357%	1/300 resp. 0.333%	1/100 resp. 1%

Tabel 7  
Overzicht  
ontwikkeling  
overstromingskans  
van dijkkring 48

Overzicht DR 48		Faalkans (per jaar) Dijkkring 48		
Zichtjaar	2015	2025	2025	2050
Dijkversterking NRW ja/nee	Nee	Ja	Ja	Ja
Incl./Excl. overstromingen bovenstrooms van Wesel	Excl.	Excl.	Incl.	Incl.
Overloop en golfoverslag	1/580 resp. 0.172%	1/1.500 resp. 0.067%	1/9.600 resp. 0.01%	1/2.700 resp. 0.037%
Macrostabiliteit binnenwaarts	1/10.000 resp. 0.01%	1/190.000 resp. 0.0005%	<1/1.000.000 resp. <0.0001%	<1/1.000.000 resp. <0.0001%
Opbarsten en piping	>1/100 resp. >1%	1/360 resp. 0.278%	1/350 resp. 0.286%	1/110 resp. 0.909%
Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/7.600 resp. 0.013%	1/11.000 resp. 0.009%	1/18.000 resp. 0.006%	1/12.000 resp. 0.008%
Overstromingskans over alle vier faalmechanismen	>1/100 resp. >1%	1/340 resp. 0.294%	1/340 resp. 0.294%	1/110 resp. 0.909%

In stap 1 (verschil 2015 – 2025) is te zien dat de realisatie van de nog in Nordrhein-Westfalen uit te voeren dijkversterkingen resulteert in een lagere faalkans voor alle mechanismen. Voor dijkkring 42 wordt de overstromingskans een factor 2,5 kleiner en voor dijkkring 48 een factor 4 kleiner.

Het meenemen van overstromingen bovenstrooms van Wesel (stap 2) heeft op alle faalmechanismen een significant positief effect. Uitzondering hierop is het mechanisme Opbarsten en piping. Dit wordt veroorzaakt doordat voor Opbarsten en piping ook lagere waterstanden belangrijk zijn voor het bepalen van de faalkans. Omdat het bovenstrooms overstroomt beperkt effect heeft op deze lagere waterstanden wordt de faalkans voor dit mechanisme niet tot nauwelijks beïnvloed. Omdat Opbarsten en piping dominant is, resulteert dat

er in dat de overstromingskans voor de gehele dijkkring ook niet significant verandert.

Door het optreden van klimaatverandering (stap 3) wordt de kans op extreme afvoeren groter. Dit leidt er toe dat de overstromingskans groter wordt. Op basis van het "natte" KNMI '14 W<sub>H</sub> klimaatscenario neemt de overstromingskans voor beide dijkkringen met een factor 3 toe.

Bij het overstromingsrisico wordt onderscheid gemaakt tussen het economisch risico en het slachtofferrisico. Hierbij wordt het risico uitgedrukt in een verwachtingswaarde per jaar voor het gehele gebied en in een ruimtelijk beeld van het risico. In Tabel 8 zijn de ontwikkelingen van de jaarlijkse verwachtingswaarde van het economisch risico en het slachtofferrisico weergegeven.

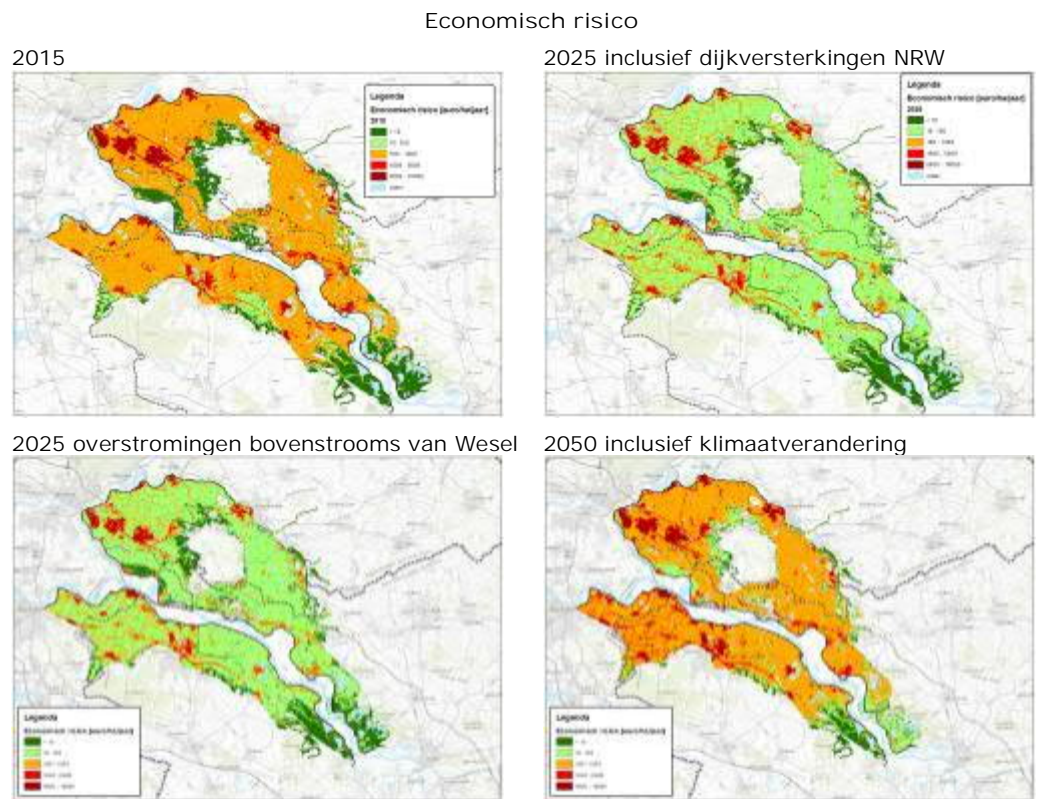
Tabel 8  
Overzicht  
ontwikkeling  
jaarlijkse  
verwachtingswaarde  
van het risico

Risico	Verwachtingswaarde (per jaar) Dijkkring 42				Verwachtingswaarde (per jaar) Dijkkring 48				
	Zichtjaar	2015	2025	2025	2050	2015	2025	2025	2050
Dijkversterking NRW ja/nee	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja
Incl./Excl. overstromingen bovenstrooms van Wesel	Excl.	Excl.	Incl.	Incl.	Excl.	Excl.	Incl.	Incl.	Incl.
Economisch risico	23	14,2	13,2	80,2	78	17,5	17,2	105,6	
Slachtofferrisico	<1	<1	<1	~1	1-2	<1	<1	~1	

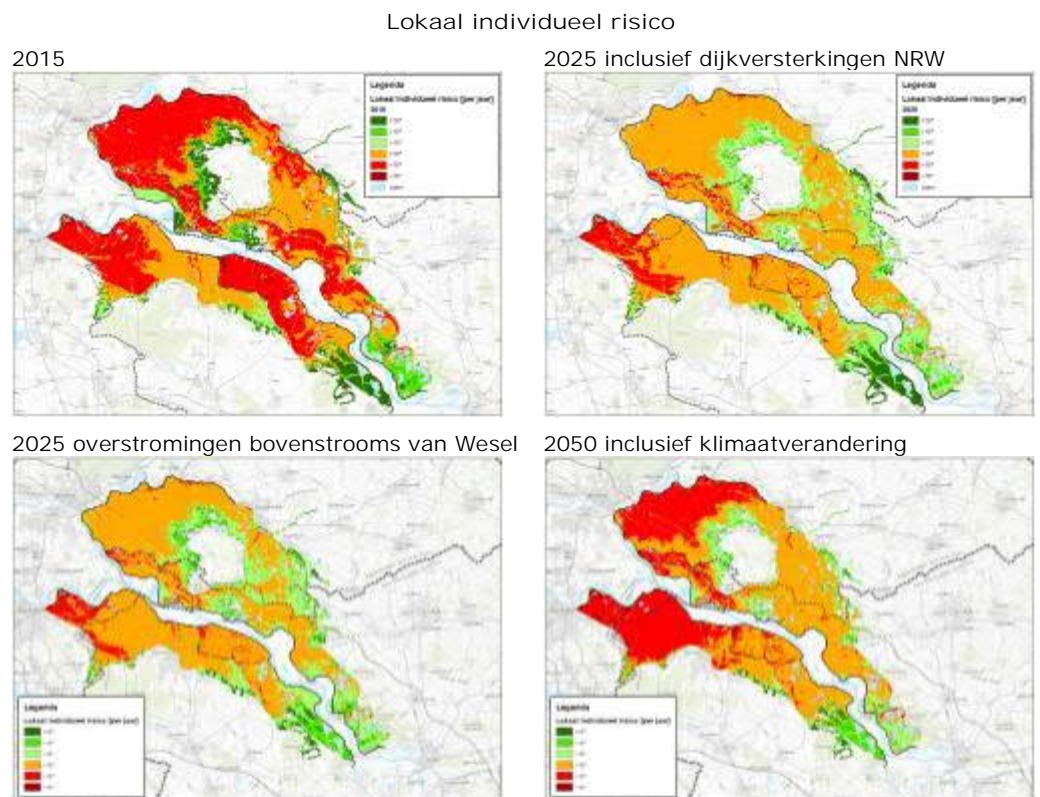
Hierin is duidelijk te zien dat de dijkversterkingen in NRW (stap 1: verschil 2015 - 2025) een positief effect hebben op de jaarlijkse verwachtingswaarden van het overstromingsrisico. Het effect van het meenemen van overstromingen bovenstrooms van Wesel (stap 2: verschil 2025 Excl. – Incl. overstromingen bovenstrooms van Wesel) heeft zoals verwacht een beperkt effect op het risico. Dit omdat er ook nagenoeg geen effect is op de overstromingskans. Door klimaatverandering (stap 3: verschil 2025 - 2050) nemen de risico's weer toe. Dit is voor het economisch risico toe te schrijven aan enerzijds de toename in overstromingskans en anderzijds aan de toename van de economische schade door de aangenomen jaarlijkse economische groei van 2%.

In Figuur 20 is de ruimtelijke verdeling van het economisch risico en het lokaal individueel risico weergegeven. De toelichting zoals hierboven gegeven voor de ontwikkeling van de jaarlijkse verwachtingswaarde van het risico is ook van toepassing op deze ruimtelijke beelden.

Figuur 20  
Overzicht  
ontwikkeling  
economisch risico



Figuur 21  
Overzicht  
ontwikkeling lokaal  
individueel risico





## 5

# Gevoeligheidsanalyse overstromingsrisico

In dit hoofdstuk wordt door middel van gevoeligheidsanalyses gekeken naar de invloed van Opbarsten en piping en van de aannames met betrekking tot evacuatie bij het berekenen van het overstromingsrisico. Daarnaast wordt ook gekeken naar de invloed van maatregelen als compartimenteringen en rivierverruiming.

### 5.1

#### Invloed van Opbarsten en piping

Het faalmechanisme Opbarsten en piping levert de grootste bijdrage aan de overstromingskansen. Dit komt deels doordat de kennis over het ondergrond nabij de dijken onzeker is door de schaarse databeschikbaarheid. Daarom zijn er conservatieve aannames gedaan bij de schematisatie van dit faalmechanisme. Daarnaast zijn er ook verschillen in de vakinhoudelijke beoordeling van grondmechanische processen, of resp. in hoeverre bijvoorbeeld het optreden van Opbarsten en piping kan leiden tot een mogelijke dijkdoorbraak. En ook hoe dit plausibel gemodelleerd kan worden.

In deze gevoeligheidsanalyse wordt gekeken naar de verandering in overstromingskansen en overstromingsrisico door het mechanisme Opbarsten en piping volledig buiten beschouwing te laten.

Uitgangssituatie voor deze analyse is de situatie van de keringen in 2025 zonder overstromingen bovenstrooms van Wesel en rekening houdend met het waterstandsverlagende effect van de maatregel Lohrwardt. De overstromingskansen zijn voor beide dijkringen opnieuw berekend. In Tabel 9 zijn de resultaten weergegeven. De overstromingskans van dijkkring 42 neemt zonder het faalmechanisme Opbarsten en piping af met ongeveer een factor 8 (van 1/280 naar 1/2.200 per jaar). Voor dijkkring 48 is de afname een factor 4 (van 1/340 naar 1/1.400 per jaar).

Tabel 9  
Berekende  
faalkansen per  
faalmechanisme  
en de  
overstromingskansen  
van de dijkkring met  
en zonder Opbarsten  
en piping (zichtjaar  
2025)

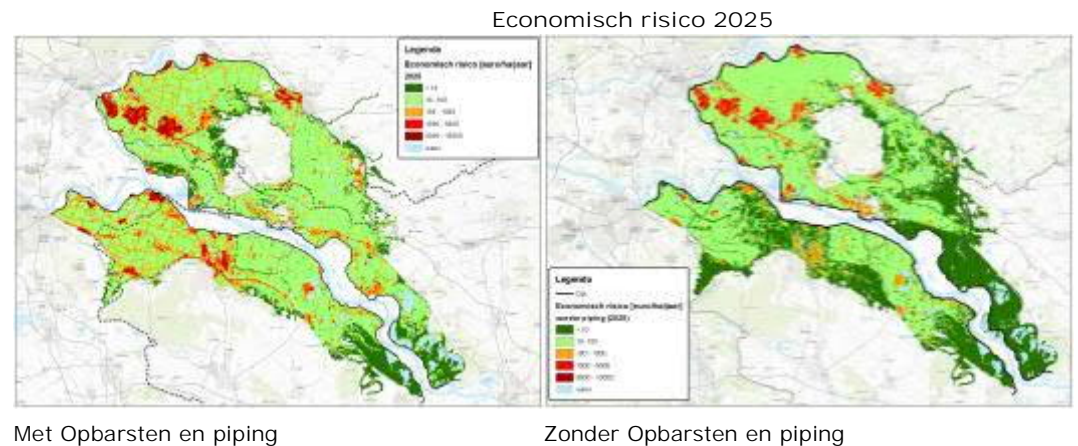
Tijdshorizon 2025 Incl. / Excl. Piping	Faalkans (per jaar) Dijkkring 42		Faalkans (per jaar) Dijkkring 48	
	Incl.	Excl.	Incl.	Excl.
Overloop en golfoverslag	1/2.200 resp. 0.045%	1/2.200 resp. 0.045%	1/1.500 resp. 0.067%	1/1.500 resp. 0.067%
Macrostabiliteit binnenwaarts	1/750.000 resp. 0.0001%	1/750.000 resp. 0.0001%	1/190.000 resp. 0.0005%	1/190.000 resp. 0.0005%
Opbarsten en piping	1/280 resp. 0.357%	-	1/360 resp. 0.278%	-
Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/290.000 resp. 0.0003%	1/290.000 resp. 0.0003%	1/11.000 resp. 0.009%	1/11.000 resp. 0.009%

Overstromingskans over alle vier faalmechanismen	1/280 resp. 0.357%	1/2.200 resp. 0.045%	1/340 resp. 0.294%	1/1.400 resp. 0.071%
--------------------------------------------------------	--------------------------	----------------------------	--------------------------	----------------------------

Wanneer het faalmechanisme Opbarsten en piping niet wordt beschouwd neemt de verwachtingswaarde van de economische schade voor dijkkring 42 af met een factor 10 van 14,2 miljoen euro per jaar naar 1,4 miljoen euro per jaar. Voor dijkkring 48 is de afname een factor 2, van 17,5 miljoen euro per jaar naar 8,2 miljoen euro per jaar. De reductie in het risico is voor dijkkring 42 groter dan voor 48. Dat kan worden verklaard doordat enerzijds de grotere reductie in overstromingskans en anderzijds dat de reductie in kansen met name plaats vindt op locaties waar ook grotere gevolgen optreden.

In Figuur 22 is het ruimtelijke beeld van het economisch risico weergegeven voor de situaties met en zonder Opbarsten en piping. Hierin is ook terug te zien dat met name het risico in dijkkring 42 afneemt.

Figuur 22  
Economisch risico  
2025 met en zonder  
Opbarsten en piping

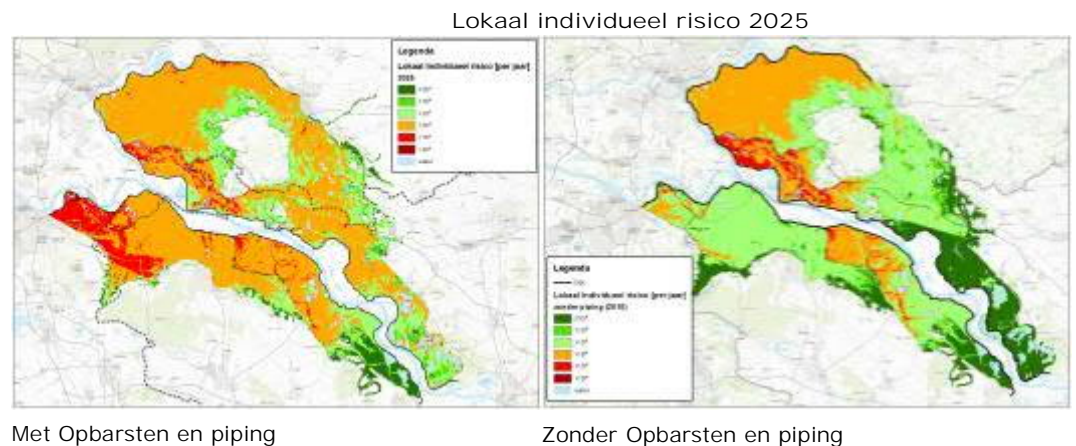


Het slachtofferrisico neemt door het niet meenemen van Opbarsten en piping ook af. Voor dijkkring 42 neemt de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers net als bij het economisch risico af met ongeveer een factor 10 en voor dijkkring 48 is de afname ongeveer een factor 2.

In Figuur 23 is het lokaal individueel risico weergegeven. Hierin is ook terug te zien dat met name in dijkkring 42 het risico wordt gereduceerd.



Figuur 23  
Lokaal individueel  
risico 2025 met en  
zonder Opbarsten en  
piping



## 5.2 Invloed Evacuatie

Over het preventief evacueren van mensen voorafgaand aan een dijkdoorbraak zijn er verschillen van inzicht tussen Nederland en Duitsland. In Nederland wordt gewerkt met verschillende scenario's waarbij percentages tot 90% van de mensen kunnen worden geëvacueerd. In Duitsland gaat men er van uit dat alle mensen tijdig geëvacueerd kunnen worden (100% evacuatie). In hoofdstuk 4 is het overstromingsrisico op basis van de Nederlandse evacuatiescenario's bepaald, met als gewogen gemiddelde een evacuatiepercentage van 76%. In deze gevoeligheidsanalyse is gekeken naar het effect van 100% evacuatie op het overstromingsrisico.

Omdat het lokaal individueel risico en het slachtofferrisico mede worden bepaald door de kans dat mensen achterblijven, nemen deze risicomaten af tot 0 indien wordt uitgegaan van 100 procent evacuatie.

Op het economisch risico heeft het evacuatiepercentage geen effect.

## 5.3 Invloed waterstandsverlagende maatregelen

De afgelopen jaren zijn er in Nederland en Duitsland veel dijkterugleggingen, uiterwaardvergravingen en retentiegebieden gerealiseerd met als doel de waterstand op de Rijn te verlagen en de kans op een overstroming te verkleinen. In Nederland is het programma Ruimte voor de Rivier uitgevoerd. In Duitsland zijn diverse retentiegebieden ingericht en zijn op sommige locaties de dijken teruggelegd om de rivier meer ruimte te geven. In deze gevoeligheidsanalyse wordt gekeken naar de mate waarin aanvullende waterstandsverlagende maatregelen het overstromingsrisico kunnen reduceren. In deze analyse wordt gekeken naar de reductie van het overstromingsrisico indien de waterstand met generiek 0,1 of 0,2 m wordt verlaagd.

Omdat dit mogelijke toekomstige maatregelen zijn wordt deze analyse uitgevoerd voor het zichtjaar 2050. Hierbij wordt rekening gehouden met overstromingen bovenstrooms van Wesel en met klimaatverandering op basis van het Nederlandse klimaatscenario KNMI'14 W<sub>H</sub>.

In Tabel 10 is de invloed van waterstandsverlagende maatregelen op de faalkansen en de overstromingskans weergegeven. Uit de tabel blijkt dat het mechanisme Overloop en golfoverslag een relatief grotere verandering laat zien dan het faalmechanisme Opbarsten en piping. Dit komt doordat de faalkans voor Opbarsten en piping sterk wordt bepaald door de onzekerheid in de sterkte-eigenschappen van de dijk en in mindere mate door andere parameters zoals de buitenwaterstand op de rivier. Daarnaast spelen voor het mechanisme Opbarsten en piping ook lagere waterstanden een belangrijke rol. Bij het faalmechanisme Overloop en golfoverslag is er minder onzekerheid in de relevante sterkte-eigenschappen (kerende hoogte) waardoor een daling in waterstand directer doorwerkt in een verlaging van de faalkans.

Tabel 10  
Berekende  
faalkansen (zichtjaar  
2050) voor de  
referentie situatie en  
de situatie met  
structureel 0,1 m en  
0,2 m  
waterstandverlaging

Faalkans (per jaar) Dijkkring 42			
Zichtjaar	2050	2050	2050
Incl./Excl. overstromingen bovenstrooms van Wesel	Incl.	Incl.	Incl.
Waterstandsval	-	-0,1m	-0,2m
Overloop en golfoverslag	1/3.700 resp. 0.027%	1/4.600 resp. 0.022%	1/5.800 resp. 0.017%
Macrostabieliteit binnenwaarts	<1/1.000.000 resp. <0.0001%	<1/1.000.000 resp. <0.0001%	<1/1.000.000 resp. <0.0001%
Opbarsten en piping	1/100 resp. 1 %	1/110 resp. 0.909%	1/140 resp. 0.714%
Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/300.000 resp. 0.0003%	1/330.000 resp. 0.0003%	1/360.000 resp. 0.0003%
Overstromingskans over alle vier faalmechanismen	1/100 resp. 1%	1/110 resp. 0.909%	1/140 resp. 0.714%

Faalkans (per jaar) Dijkkring 48			
Zichtjaar	2050	2050	2050
Incl./Excl. overstromingen bovenstrooms van Wesel	Incl.	Incl.	Incl.
Waterstandsval	-	-0,1m	-0,2m
Overloop en golfoverslag	1/2.700 resp. 0.037%	1/3.500 resp. 0.029%	1/4.300 resp. 0.023%
Macrostabieliteit binnenwaarts	<1/1.000.000 resp. <0.0001%	<1/1.000.000 resp. <0.0001%	<1/1.000.000 resp. <0.0001%
Opbarsten en piping	1/110 resp. 0.909%	1/140 resp. 0.714%	1/180 resp. 0.556%
Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam	1/12.000 resp. 0.008%	1/13.000 resp. 0.008%	1/14.000 resp. 0.007%



Overstromingskans over alle vier faalmechanismen	1/110 resp. 0.909%	1/140 resp. 0.714%	1/180 resp. 0.556%
--------------------------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Vanwege de geringe verandering in de overstromingskans neemt het overstromingsrisico ook maar beperkt af. Het risicobeeld verandert nauwelijks ten opzichte van het risicobeeld voor het zichtjaar 2050.

## 5.4 Invloed Compartimentering

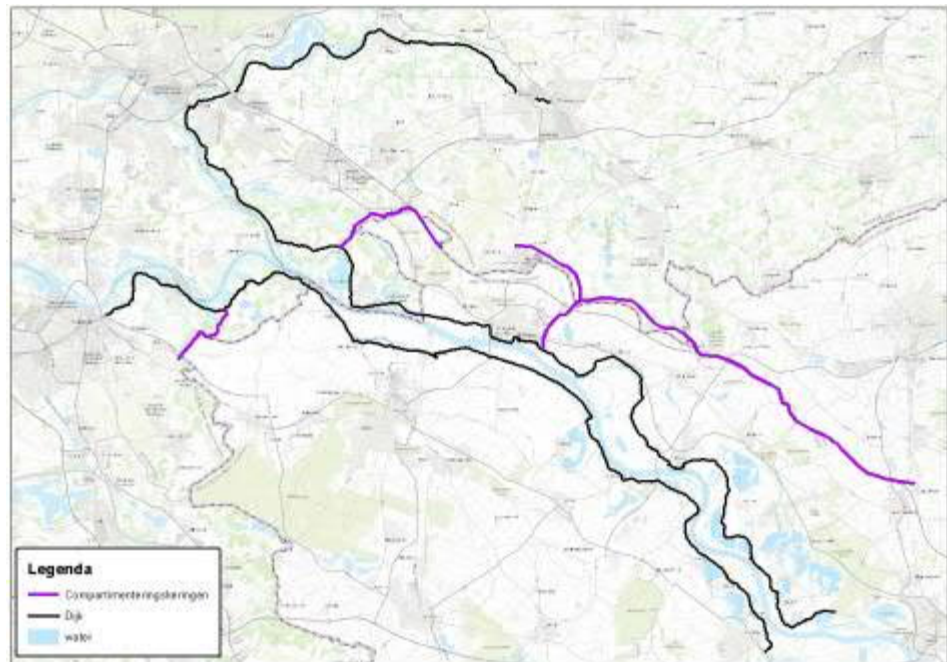
De aanleg van compartimenterende keringen is een binnendijkse maatregel die de gevolgen van een overstroming (en daarmee het overstromingsrisico) beïnvloedt. Een compartimenteringsdijk deelt een dijkkring op in meerdere deelgebieden. Anders dan bij de maatregel dijkverhoging verandert door compartimentering dus niet de overstromingskans, maar wel de potentiële schade en het mogelijk aantal slachtoffers als gevolg van een overstroming.

Omdat dit een mogelijke toekomstige maatregel is, wordt ook deze analyse uitgevoerd voor het zichtjaar 2050. Hierbij wordt rekening gehouden met overstromingen bovenstrooms van Wesel en met klimaatverandering op basis van het Nederlandse klimaatscenario KNMI'14 W<sub>H</sub>.

In de risicostudie van 2009 [1] zijn verschillende varianten van compartimenterende keringen in dijkkring 42 en 48 onderzocht. Hierbij zijn bestaande structuren geïdentificeerd die zich lenen voor compartimentering.

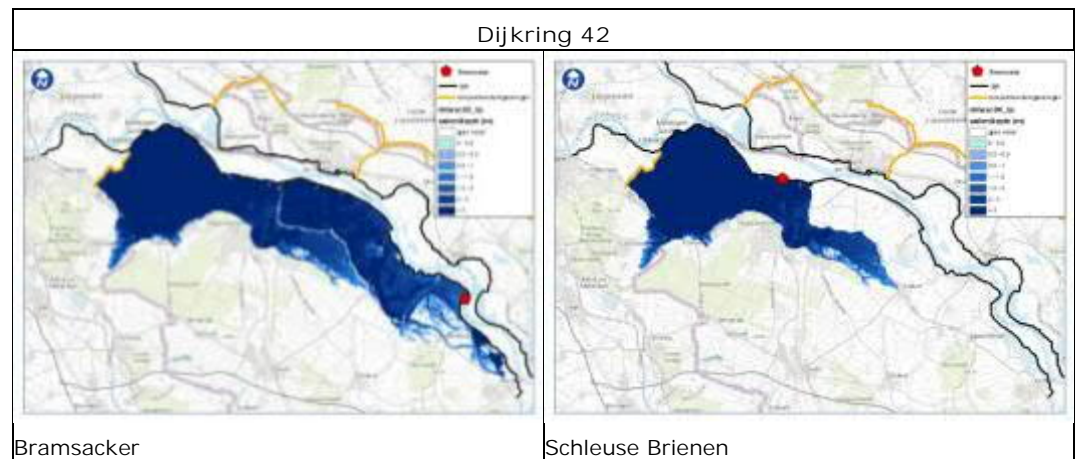
Eén van deze structuren betreft een vrijwel geheel nieuw aan te leggen dijk in Dijkkring 48 beginnend ten noorden van Hamminkeln, parallel lopend aan de Duits-Nederlandse grens naar Lengel die ten oosten van Emmerich op de bestaande banddijk aansluit. Deze compartimenterende kering wordt aangevuld met de reeds bestaande oude dijk ten westen van de Elterberg langs de Oude Rijn in het Rijnstrangengebied. Een andere structuur betreft de oude Querdamm / Kapitteldijk in Dijkkring 42. In Figuur 24 zijn beide compartimenteringskeringen weergegeven.

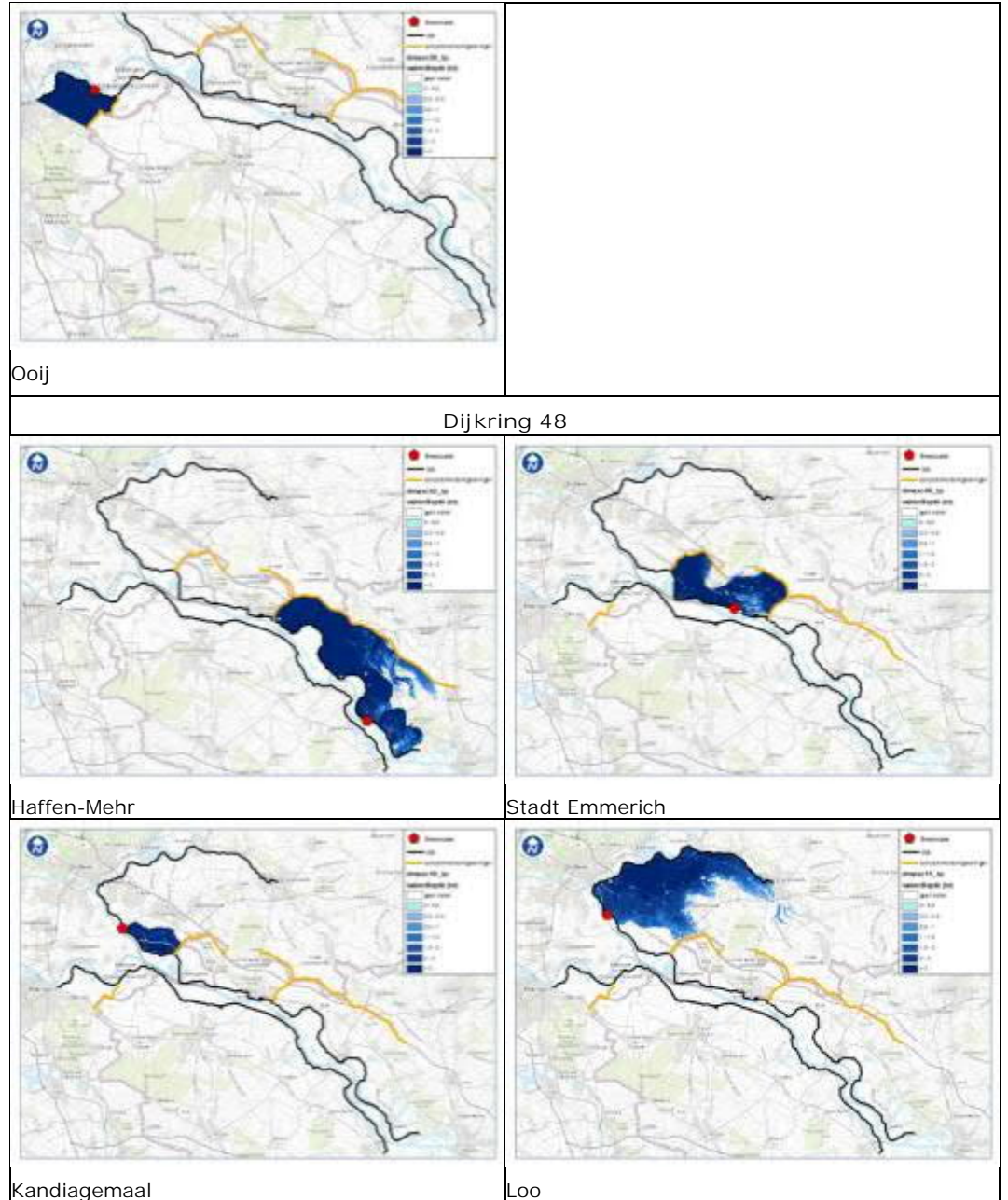
Figuur 24  
Locatie  
geanalyseerde  
compartimenterings  
keringen



Door compartimentering veranderen de overstromingspatronen van de verschillende overstromingsscenario's. In Figuur 25 zijn als voorbeeld voor vier verschillende breslocaties de overstromingspatronen weergegeven. Hierin is duidelijk te zien wat de invloed is van de compartimenteringskeringen op het overstroomde gebied. Voor de andere beschouwde breslocaties wordt verwezen naar de rapportages van de twee dijkringen [15][16].

Figuur 25  
Maximale  
waterdieptes voor  
situatie met  
compartimentering





#### 5.4.1

### Effect compartimentering op economische risico en slachtofferrisico

De compartimenteringskering heeft invloed op het overstromingspatroon en daarmee op het economisch risico en slachtofferrisico. Op basis van de overstromingsberekeningen met compartimentering en de Nederlandse schadefuncties zijn per overstromingsscenario de economische schade en het aantal slachtoffers opnieuw berekend.

Voor dijkkring 42 heeft de gekozen compartimentering een zeer beperkt effect op de overstromingen vanuit het Duitse deel van de dijkkring. Dat komt doordat het grootste deel van de schade in Duitsland ontstaat en dat de gekozen compartimenteringskering een overstroming in Nederland voorkomt en het Nederlandse deel maar een kleine bijdrage heeft aan de totale schade.

Echter lokaal zorgt compartimentering voor grotere waterdieptes en stijgsnelheden.

Voor de gekozen breslocaties gelegen in het Nederlandse deel van dijkkring 42 neemt de schade wel significant af omdat vanuit Nederland het Duitse deel niet meer overstroomt. Afhankelijk van de locatie van de bres, werkt compartimentering dus anders.

Voor dijkkring 48 is de situatie anders, hier neemt de schade door de overstroming vanuit het Duitse deel van de dijkkring juist wel af. De gekozen compartimenteringskering voorkomt dat het Nederlandse deel van de dijkkring overstroomt. In dat deel ontstond ook het grootste gedeelte van de schade. Voor de breslocaties in Nederland, benedenstrooms van Kandiagemaal, heeft de compartimentering geen invloed meer omdat de overstroming vanuit die breslocaties niet zo ver reikt, en net zoals in de situatie zonder compartimenteringskeringen beperkt blijft tot het Nederlandse deel van de dijkkring.

#### 5.4.2

#### Overstromingsrisico bij compartimentering

Tabel 11 toont het berekende economisch risico en het slachtofferisico voor beide dijkringen voor zichtjaar 2050 mét en zonder de compartimenterende keringen. Voor dijkkring 42 neemt gemiddeld over de dijkkring het economisch risico af met ongeveer 20%. Voor dijkkring 48 is de reductie van het economisch risico groter, deze is gehalveerd door toepassing van compartimentering.

Het slachtofferisico neemt gemiddeld over de dijkkring voor dijkkring 42 niet af, dit komt doordat de compartimentering lokaal tot grotere waterdieptes en stijgsnelheden leidt die ongunstig zijn voor het slachtofferisico. Voor dijkkring 48 is er wel een afname, daar is het slachtofferisico gemiddeld over de dijkkring ongeveer gehalveerd.

Tabel 11  
Economisch en  
slachtofferisico in  
2050 met en zonder  
compartimentering

Compartimentering	Dijkkring 42		Dijkkring 48	
	Nee	Ja	Nee	Ja
Economisch risico (miljoen euro per jaar)	80,2	62,8	105,6	49,3
Slachtofferisico (Slachtoffers per jaar)	<1	<1	~1	<1

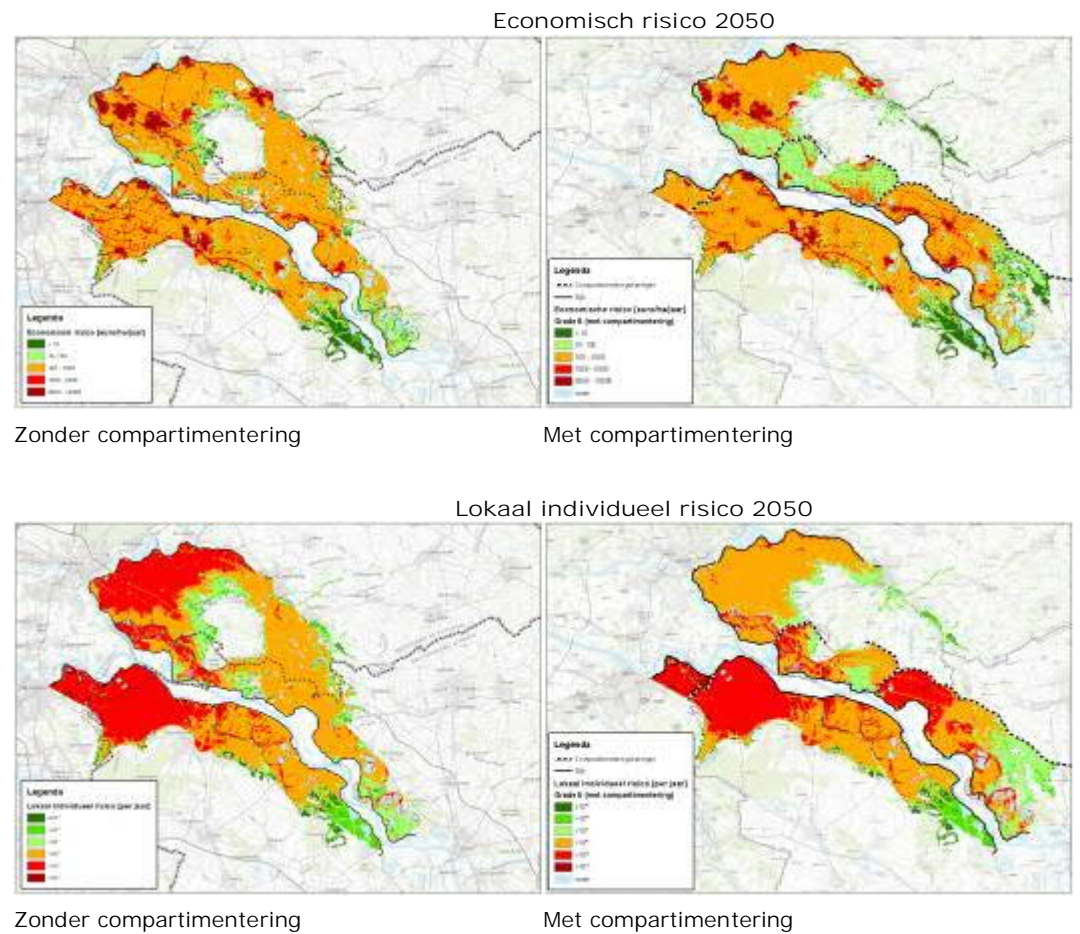
De ruimtelijke beelden van het risico zijn in Figuur 26 weergegeven. Hierin is te zien dat het economisch risico voor dijkkring 42 iets afneemt en dat het lokaal individueel risico nauwelijks verandert.

Voor dijkkring 48 is er een duidelijker verschil te zien, voor zowel het economisch risico als het lokaal individueel risico treden er significante veranderingen op. Wat opvalt voor het economisch risico en het lokaal individueel risico is dat in dijkkring 48 het risico significant toeneemt aan de bovenstroomse zijde van de compartimenteringskering. Dit wil zeggen dat



het risico in het Duitse deel van de dijkkring toeneemt vanwege het opstuwende effect van de compartimenteringskering en dat tegelijkertijd het risico in het Nederlandse deel van de dijkkring afneemt.

Figuur 26  
Overstromingsrisico  
2050 voor situatie  
met en zonder  
compartimentering



# 6 Nagestreefd Hoogwater- beschermingsniveau volgens de Nederlandse methodiek

## 6.1 Inleiding

In 2017 zijn in Nederland nieuwe wettelijke normen voor de primaire waterkeringen vastgelegd in de Waterwet [38]. Deze normen zijn bepaald op basis van het overstromingsrisico in de dijkkringgebieden. In het Deltaprogramma Veiligheid is een methode gehanteerd voor het bepalen van de normen en zijn gebaseerd op een aantal eisen die moeten leiden tot een aanvaardbaar overstromingsrisico onafhankelijk van waar men zich bevindt in de door waterkeringen beschermde gebieden in Nederland. Deze gebiedseisen worden in deze studie 'beschermingsniveau' genoemd. De beschermingsniveaus zijn gedefinieerd als een aanvaardbaar overstromingsrisico waarbij naar verschillende risico's wordt gekeken [9]:

1. De basis wordt gevormd door de basisveiligheid. Voor ieder individu geldt een gegarandeerde basisveiligheid: het 'lokale individuele risico' (LIR) om als gevolg van een overstroming om het leven te komen, mag maximaal 1/100.000 per jaar bedragen.
2. Daar bovenop is een grotere bescherming vereist op plaatsen waar
  - a. mogelijk sprake is van veel getroffen (inclusief potentiële slachtoffers) (groepsrisico), en/of
  - b. grote economische schade kan optreden (economisch risico), en/of
  - c. ernstige schade kan optreden door het uitvallen van vitale en kwetsbare infrastructuur van nationaal belang.

Met betrekking tot het groepsrisico (a) zijn een aantal gebieden in Nederland aangewezen waar deze eis van toepassing is, dit is niet van toepassing op de grensoverschrijdende dijkringen. Vitale en kwetsbare infrastructuur bedoeld onder (c) bevindt zich niet in de grensoverschrijdende dijkringen.

Het economisch optimale beschermingsniveau zoals bedoeld onder (b) wordt afgeleid uit een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA). Het economisch optimale beschermingsniveau is afhankelijk van de economische schade ten gevolge van een overstroming en de kosten die gemaakt moeten worden om de overstromingskans te verkleinen.

In de Nederlandse Waterwet zijn echter geen beschermingsniveaus opgenomen maar normen voor de waterkering. In het Deltaprogramma is dus een methodiek ontwikkeld die de norm van de waterkering bepaalt aan de hand van de vereiste beschermingsniveaus.

De vastgestelde normen zijn gedefinieerd als een overstromingskansnorm. Doel is dat in 2050 in Nederland aan deze nieuwe overstromingskansnorm wordt voldaan.

Bij het bepalen van de norm voor de Nederlandse dijken in kader van het Deltaprogramma is voor de grensoverschrijdende dijkringen 42 en 48 destijds geen rekening gehouden met het Duitse delen van de dijkkringgebieden. In tegenstelling tot destijds bij het Deltaprogramma wordt in deze studie nu voor beide dijkringen ook rekening gehouden met grensoverschrijdende dijkdoorbraken en de (grensoverschrijdende) gevolgen daarvan, om voor Nederland normen voor de waterkeringen te berekenen (m.a.w.: wat zou de norm zijn als je de gevolgen van grensoverschrijdende dijkdoorbraken wel zou meenemen?).

## 6.2

### Uitgangspunten

#### Zichtjaar

Het waterveiligheidsbeleid in Nederland is erop gericht om in 2050 aan de eisen te voldoen die in 2017 in de Waterwet zijn vastgelegd. Daarom wordt voor het zichtjaar 2050 rekening gehouden met economische groei. Dit is in de berekeningen verwerkt door een factor mee te nemen op de berekende economische schade.

#### Evacuatie

Bij het bepalen van de norm is rekening gehouden met de evacuatiefractie. Opgemerkt wordt dat de evacuatiefractie voor het bepalen van het beschermingsniveau afwijkt van de evacuatiefracties zoals aangehouden bij het bepalen van het overstromingsrisico in hoofdstuk 4 van dit rapport. Dit is overeenkomstig met de afwijking tussen VNK2 en het Deltaprogramma [39]:

- binnen VNK2 is voor de evacuatiefractie in het bovenrivierengebied gebaseerd op 4 verschillende evacuatiescenario's met verschillende evacuatiefracties en conditionele kansen. Voor het bovenrivierengebied komt dit neer op een gemiddelde evacuatiefractie van 76%.
- binnen het Deltaprogramma is bij het bepalen van de normen behorende bij het gewenste beschermingsniveau gekozen voor een conservatieve ondergrens van de evacuatiefractie van 56% voor het Nederlandse deel van beide dijkringen om de vereiste basisveiligheid beter te kunnen garanderen. Er zijn geen verschillende evacuatiescenario's gehanteerd bij het bepalen van de normen.
- in het kader van deze studie is bij het bepalen van de norm uitgegaan van een evacuatiefractie van 56% voor zowel het Duitse als Nederlandse deel van beide dijkringen. In een gevoeligheidsonderzoek is onderzocht in hoeverre de keuze voor een andere evacuatiefractie leidt tot andere normen. Hierbij zal ook het effect van een evacuatiefractie van 100% onderzocht gaan worden. Voor het beleid van NRW wordt namelijk uitgegaan van volledige evacuatie van het dijkkringgebied in geval van een overstroming.

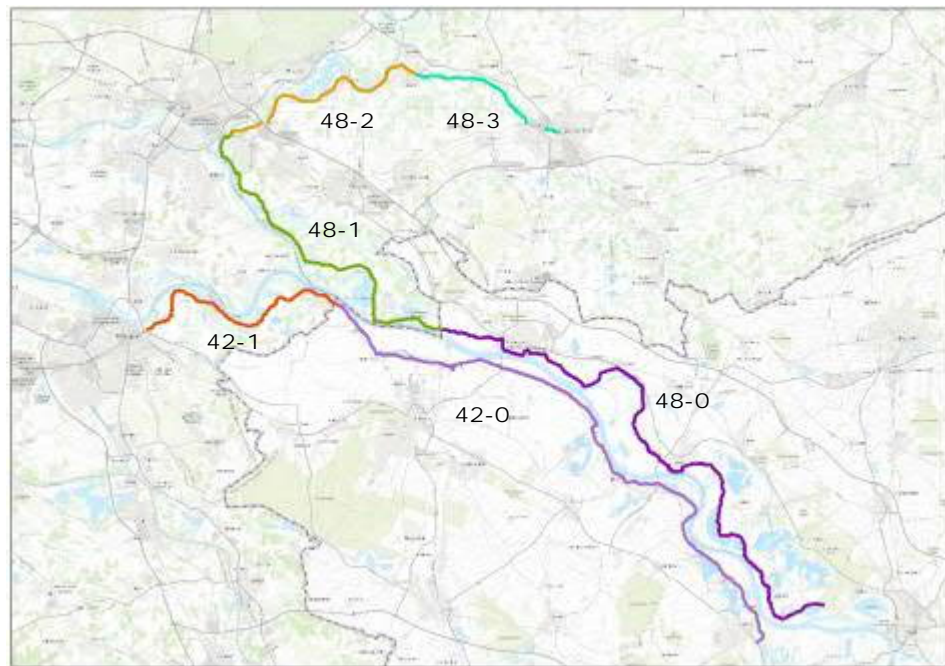


### Normtrajecten

In het Deltaprogramma zijn normtrajecten onderscheiden in plaats van dijkkringen. Bij de ontwikkelde normtrajectindeling is onder meer rekening gehouden met verschil in dreiging en verschil in omvang van gevolgen en overstroomd gebied. Grote verschillen in gevolgen tussen twee aanliggende dijkkringdelen c.q. normtrajecten geven aanleiding een nieuw normtraject te onderscheiden. Een andere belangrijke overweging bij de onderverdeling in normtrajecten is om de lengte van normtrajecten niet te veel uiteen te laten lopen.

In Nederland zijn de normtrajecten circa 20 tot 30 km lang. Voor alle normtrajecten wordt een afzonderlijke norm afgeleid die past bij het gewenste beschermingsniveau. Op basis van de hierboven genoemde criteria is voor de Duitse delen van zowel dijkkring 42 en 48 één normtraject gedefinieerd, zie Figuur 27. Voor de Nederlandse delen van beide dijkkringen is de indeling in normtrajecten overgenomen uit het Deltaprogramma met één normtraject in dijkkring 42 en drie normtrajecten in dijkkring 48.

Figuur 27  
Normtrajecten  
dijkkring 42 en 48



## 6.3

### Methodiek

De basis voor het bepalen van de normen bij het gewenste beschermingsniveau ligt in de methodiek van het Nederlandse Deltaprogramma. De stappen die in deze rapportage beschreven zijn komen uit [9] en de daarbij horende bijlagen. Voor het Duitse deel van de dijkkring dienen alsnog een aantal aanvullende praktische keuzes gemaakt te worden. Deze worden in paragraaf 6.4 toegelicht.

Voor de grensoverschrijdende dijkringen worden de nieuwe normen bepaald op basis van twee verschillende eisen ten aanzien van het beschermingsniveau: basisveiligheid (het lokale individuele risico (LIR)) en economische doelmatigheid (MKBA-eis).

Voor iedere eis wordt een norm voor het traject bepaald. De zwaarste van deze twee normen per normtraject bepaalt de nieuwe norm c.q. het gewenste beschermingsniveau. Hierbij telt dus de strengste norm op basis van de LIR-eis of de MKBA-eis.

Daarnaast worden een zogenaamde signaalwaarde en een zogenaamde ondergrenswaarde bepaald:

- Een signaleringsnorm, die dient om tijdig de versterkingsopgave in beeld te brengen. Deze moet de beheerder voldoende tijd geven om een dijkverbetering uit te voeren om te voorkomen dat de ondergrensnorm overschreden wordt;
- Een ondergrensnorm, ofwel de maximaal toelaatbare overstromingskans, waar een waterkering te allen tijde minimaal aan moet voldoen.

Voor de basisveiligheid wordt een LIR-waarde van 1/200.000 per jaar aangehouden voor het bepalen van de signaleringsnorm en een LIR-waarde van 1/100.000 per jaar voor de ondergrensnorm. Waarbij de basisveiligheid (LIR) de kans weergeeft dat een persoon, die zich continu op een bepaalde plaats in de dijkkring bevindt, overlijdt ten gevolge van een overstroming. In de bepaling van de basisveiligheid worden de mogelijkheden voor preventieve evacuatie meegenomen.

Voor de economische doelmatigheid wordt met behulp van een MKBA-analyse een optimum gezocht tussen de investeringskosten van een dijkverbetering en de reductie van het economisch risico, op basis van de in het Deltaprogramma ontwikkelde methode. Voor deze zogenaamde MKBA-eis wordt alleen de signaleringsnorm berekend. De ondergrensnorm voor de MKBA is per definitie een normklasse lager dan de signaleringsnorm, conform de methode van het Deltaprogramma.

## 6.4

### Resultaten van de berekening van de norm volgens de Nederlandse methodiek voor de hele dijkringen

Eis vanuit basisveiligheid (LIR-eis)

Per normtraject is een norm afgeleid voor de signaleringswaarde (LIR < 1/200.000 per jaar) en de maximaal toelaatbare kans (LIR < 1/100.000 per jaar), deze laatste norm wordt ook wel de ondergrens genoemd. In Tabel 12 worden de afgeleide normen (normklasse) voor de grensoverschrijdende dijkringen 42 en 48 gepresenteerd.

Tabel 12  
Eisen basisveiligheid  
(inclusief Duitsland)

Normtraject	Signaleringswaarde	Ondergrens
42-0	1/10.000	1/10.000 <sup>3</sup>
42-1	1/10.000	1/10.000 <sup>1</sup>
48-0	1/10.000	1/3.000
48-1	1/30.000	1/10.000
48-2	1/3.000	1/1.000
48-3	1/1.000	1/300

In Tabel 13 zijn de normen (normklasse) weergegeven zoals voor de Nederlandse dijken van Dijkkring 42 en dijkkring 48 berekend in het Deltaprogramma, waarbij geen rekening is gehouden met overstromingen vanuit en gevolgen in Duitsland.

Tabel 13  
Eisen basisveiligheid  
(exclusief Duitsland)

Normtraject	Signaleringswaarde	Ondergrens
42-0	n.v.t.	
42-1	1/10.000	1/3.000
48-0	n.v.t.	
48-1	1/30.000	1/10.000
48-2	1/1.000	1/300
48-3	1/3.000	1/1.000

Voor normtraject 42-1 is de signaleringsnorm gelijk gebleven. Alleen de ondergrens is door het meenemen van overstromingen vanuit Duitsland één normklasse strenger geworden.

Voor dijkkring 48 is de norm voor 48-1 gelijk gebleven. Normtraject 48-2 is voor zowel de signaleringswaarde als de ondergrens één normklasse strenger geworden. Het normtraject 48-3 is in deze analyse één normklasse soepeler geworden. In het Deltaprogramma zijn hoge mortaliteiten berekend in buurten die niet overstromen. Hierdoor wordt in Deltaprogramma (onterecht) een te hoge basisveiligheid-norm berekend voor normtraject 48-3. In de huidige analyse is dit gecorrigeerd en zijn deze buurten niet meegenomen (voor meer achtergrond zie rapportage dijkkring 48 [16]).

Eis vanuit economisch risico (MKBA-eis)

De eis voor de MKBA-analyse is voornamelijk afhankelijk van de economische gevolgen van een overstroming. In Tabel 14 zijn de berekende normen (normklasse) op basis van de MKBA-methodiek gepresenteerd voor de verschillende normtrajecten in de grensoverschrijdende dijkringen. Zoals reeds is gesteld is de berekening alleen voor de signaleringswaarde uitgevoerd. De ondergrens is per definitie een normklasse lager en dus niet gebaseerd op een berekening.

<sup>3</sup> De signaleringswaarde is een factor 2 strenger dan de ondergrenswaarde. Omdat tussen de normklassen een factor 3 zit, zijn er een aantal normtrajecten waar de ondergrenswaarde en de signaleringswaarde in dezelfde normklasse vallen. Dit is in het Deltaprogramma ook opgetreden en zo in de Waterwet opgenomen.

Tabel 14  
Eisen MKBA  
(inclusief Duitsland)

Normtraject	Signaleringswaarde	Ondergrens
42-0	1/3.000	1/1.000
42-1	1/10.000	1/3.000
48-0	1/10.000	1/3.000
48-1	1/30.000	1/10.000
48-2	1/10.000	1/3.000
48-3	1/10.000	1/3.000

In Tabel 15 zijn de normen weergegeven zoals berekend in het Deltaprogramma vanuit de MKBA-eis waarbij geen rekening is gehouden met overstromingen vanuit en schade in de dijkringen in Duitsland.

Tabel 15  
Eisen MKBA  
(exclusief Duitsland)

Normtraject	Signaleringswaarde	Ondergrens
42-0	n.v.t.	
42-1	1/3.000	1/1.000
48-0	n.v.t.	
48-1	1/10.000	1/3.000
48-2	1/10.000	1/3.000
48-3	1/10.000	1/3.000

Het normtraject 42-1 krijgt een hogere normklasse in de Duits-Nederlandse analyse ten opzichte van de analyse van het Nederlandse Deltaprogramma. Dit komt doordat doorbraken in Nederland tot grote schades in Duitsland leiden waardoor een hogere beschermingsnorm wordt berekend. Voor dijkkring 48 leidt het meenemen van Duitsland tot een aanscherping van de norm voor normtraject 48-1. Dit komt doordat bij een bres in traject 48-1 nu ook de schade in Duitsland wordt meegenomen. Voor de andere Nederlandse normtrajecten is er geen verandering in berekende normklasse t.o.v. het Deltaprogramma.

#### Eis totaal

Hierboven zijn respectievelijk de eisen ten aanzien van basisveiligheid (LIR) en economische doelmatigheid (MKBA) gegeven. In het Deltaprogramma is gesteld dat de strengste van deze twee eisen geldt als de norm voor het desbetreffende normtraject. Deze afweging is ook aangehouden voor het afleiden van de normen bij de grensoverschrijdende risicostudie.

In Tabel 16 zijn de resultaten weergegeven met daarin ook aangegeven welk criterium maatgevend is voor de hoogte van de norm. De normen voor het Duitse deel van de dijkringen zijn vergelijkbaar met de normen voor het Nederlandse deel.

Tabel 16  
Resultaten  
normering (inclusief  
Duitsland)

Normtraject	Signaleringswaarde	Ondergrens	Maatgevend
42-0	1/10.000	1/10.000	Basisveiligheid
42-1	1/10.000	1/10.000	Basisveiligheid
48-0	1/10.000	1/3.000	Basisveiligheid / MKBA
48-1	1/30.000	1/10.000	Basisveiligheid / MKBA
48-2	1/10.000	1/3.000	MKBA
48-3	1/10.000	1/3.000	MKBA

In Tabel 17 zijn de normen weergegeven zoals binnen het Deltaprogramma bepaald. In vergelijking tot de nieuw berekende normen is alleen de ondergrens van normtraject 42-1 één klasse aangescherpt.

Tabel 17  
Resultaten  
normering (exclusief  
Duitsland)

Normtraject	Signaleringswaarde	Ondergrens	Maatgevend
42-0		n.v.t.	
42-1	1/10.000	1/3.000	Basisveiligheid
48-0		n.v.t.	
48-1	1/30.000	1/10.000	Basisveiligheid
48-2	1/10.000	1/3.000	MKBA
48-3	1/10.000	1/3.000	MKBA

## 6.5

### Gevoeligheidsanalyse normering

In deze paragraaf wordt door middel van gevoeligheidsanalyses gekeken naar de effecten van enkele belangrijke keuzes die zijn gemaakt bij het bepalen van de normen. De volgende parameters worden in deze paragraaf onderzocht: discontovoet, evacuatie en schadefuncties.

#### 6.5.1

##### Discontovoet

De discontovoet is een belangrijke parameter om de MKBA-norm te bepalen. Het is tevens een maat voor de economische groei, waarmee de huidige potentiële schade kan worden vertaald naar de potentiële schade in het zichtjaar 2050. De potentiële schade wordt berekend voor 2015 en met de discontovoet verdisconteerd naar 2050. In het Nederlandse Deltaprogramma en in deze studie is een discontovoet van 1,9% aangehouden. In deze gevoeligheidsanalyse wordt ook naar discontovoeten van 0,5% en 4,0% gekeken.

In Tabel 18 is de invloed van de discontovoet op de signaleringswaarde weergegeven. Het toepassen van een andere discontovoet resulteert niet altijd in de toedeling naar een andere normklasse. In het geval van normtraject 42-0 resulteert het toepassen van een discontovoet van 4% tot een toedeling naar een hogere normklasse voor de signaleringswaarde. Overigens blijft de LIR-eis voor dat traject dan nog steeds maatgevend. Dit heeft dus geen invloed op de totale norm. In het geval van normtraject 42-1 resulteert het toepassen van een discontovoet van 0,5% in een toedeling naar een lagere normklasse voor de signaleringswaarde.

Het toepassen van een discontovoet van 4% resulteert in dezelfde Normklasse toedeling voor de signaleringswaarde als bij toepassing van een discontovoet van 1,9%.

In het geval van normtraject 48-0 en 48-2 resulteert het toepassen van een discontovoet van 4% tot een toedeling naar een hogere normklasse voor de signaleringswaarde. Voor deze trajecten was MKBA-eis al maatgevend, de hogere discontovoet beïnvloedt daarmee de trajectnorm. Bij alle normtrajecten van dijkkring 48 resulteert het toepassen van een discontovoet van 0,5% in een toedeling naar een lagere klasse voor de signaleringswaarde.

Tabel 18  
Signaleringswaarde  
MKBA voor  
verschillende  
waarden van de  
discontovoet

Norm- traject	MKBA Signaleringswaarde bij discontovoet 0,5%	MKBA Signaleringswaarde bij discontovoet 1,9%	MKBA Signaleringswaarde bij discontovoet 4,0%
42-0	1/3.000	1/3.000	1/10.000
42-1	1/3.000	1/10.000	1/10.000
48-0	1/3.000	1/10.000	1/30.000
48-1	1/10.000	1/30.000	1/30.000
48-2	1/3.000	1/10.000	1/30.000
48-3	1/3.000	1/10.000	1/10.000

## 6.5.2

### Evacuatie

De evacuatiefractie is een belangrijke parameter om de eis vanuit basisveiligheid (LIR) te bepalen. Het LIR is namelijk afhankelijk van de evacuatiefractie, de mortaliteit en de kans op een overstroming. In het Deltaprogramma is een evacuatiefractie gehanteerd van 56% voor de dijkringen in het Rivierengebied. In Duitsland wordt er echter van uitgegaan dat er volledige evacuatie plaats kan vinden voordat een overstroming plaats heeft gevonden. In dat geval is het risico op overlijden als gevolg van een overstroming gelijk aan nul. Daarom wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de evacuatiefractie.

Indien voor de gehele dijkkring 100% evacuatie wordt gehanteerd dan is er geen eis vanuit de basisveiligheid en is voor alle trajecten de MKBA-eis maatgevend. In Tabel 19 is weergegeven wat de verschillende beschermingsniveaus zijn met de twee evacuatiepercentages voor de gehele dijkkring.

Tabel 19  
Bescherming-  
niveaus met  
onderscheidende  
evacuatie-  
percentages

Norm- traject	Signalerings- waarde	Ondergrens	Signalerings- waarde	Ondergrens
	56% evacuatie in gehele dijkkring		100% evacuatie in gehele dijkkring	
42-0	1/10.000	1/10.000	1/3.000	1/1.000
42-1	1/10.000	1/10.000	1/10.000	1/3.000
48-0	1/10.000	1/3.000	1/10.000	1/3.000
48-1	1/30.000	1/10.000	1/30.000	1/10.000
48-2	1/10.000	1/3.000	1/10.000	1/3.000
48-3	1/10.000	1/3.000	1/10.000	1/3.000



Voor Dijkkring 42 neemt bij 100% evacuatie in de gehele dijkkring voor normtraject 42-0 de signaleringswaarde en de ondergrenswaarde met één, respectievelijk twee, normklassen af. Voor normtraject 42-1 neemt alleen de ondergrenswaarde met één normklasse af.

Voor Dijkkring 48 resulteert 100% evacuatie in de gehele dijkkring niet in een andere normklasse voor de normtrajecten. Dit geldt zowel voor de Signaleringswaarde als voor de Ondergrenswaarde. Dit komt omdat voor dijkkring 48 de MKBA-eis maatgevend is of in dezelfde normklasse valt als de LIR-eis (Tabel 16) .

### 6.5.3 Schadefuncties

In de berekening van de norm is gebruik gemaakt van de Nederlandse schadefuncties, zoals die ook gebruikt zijn in de VNK-analyse en bij het bepalen van norm voor de Nederlandse normtrajecten in kader van het Deltaprogramma. In de grensoverschrijdende risicostudie van 2009 [1] zijn deels nieuwe Duits-Nederlandse schadefuncties afgeleid. In deze gevoeligheidsanalyse wordt in beeld gebracht wat de invloed is van het gebruik van de Duits-Nederlandse schadefuncties op de berekende normen voor de grensoverschrijdende dijkring.

In het algemeen is de economische schade bij toepassing van de Duits-Nederlandse schadefuncties circa 15% lager. Dit resulteert in een lager economisch risico en heeft invloed op de MKBA-eis. Dit heeft alleen voor traject 48-1 invloed. Dit traject valt door de lagere economische schade net in een lagere normklasse. De totaal norm van het normtraject 48-1 verandert echter niet omdat het LIR maatgevend is voor dit normtraject. In Tabel 20 zijn de resultaten voor de MKBA weergegeven.

Tabel 20  
Signaleringswaarde  
MKBA voor de twee  
verschillende sets  
schadefuncties

Norm- traject	MKBA Signaleringswaarde Nederlandse schadefuncties	MKBA Signaleringswaarde Duits- Nederlandse schadefuncties
42-0	1/3.000	1/3.000
42-1	1/10.000	1/10.000
48-0	1/10.000	1/10.000
48-1	1/30.000	1/10.000
48-2	1/10.000	1/10.000
48-3	1/10.000	1/10.000

## 6.6 Effectbeoordeling van 'theoretisch perfecte' dijken ter vervulling van de Nederlandse norm in de volledige dijkkring

In paragraaf 6.4 zijn de normen voor de gehele dijkkring afgeleid op basis van de methode uit het Nederlandse Deltaprogramma. In hoofdstuk 4 zijn de overstromingskansen van de dijken bepaald voor het zichtjaar 2025. Uit een vergelijk tussen deze resultaten blijkt dat de overstromingskansen van de

situatie in 2025 groter is dan de berekende gewenste overstromingskans volgend uit de normen. In deze paragraaf wordt ingegaan op de vraag of door de aanname van theoretisch perfecte dijken een rekenkundige vervulling van de norm mogelijk is en wat het effect is op het economisch risico en het slachtofferrisico.

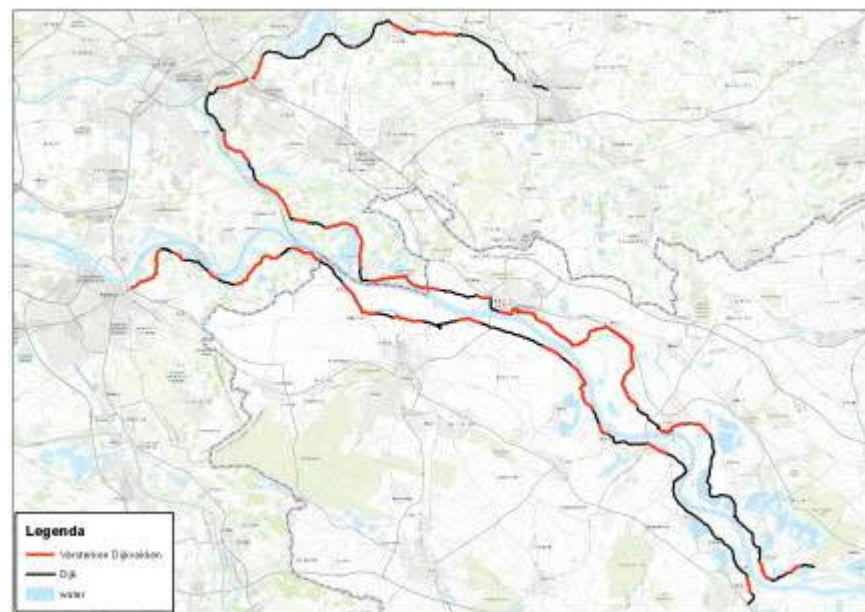
In een iteratief proces wordt zowel aan de Duitse als Nederlandse kant van de dijkkring stapsgewijs voor het dan zwakste dijkvak de faalkans voor alle faalmechanismen, en daarmee ook in zijn totaliteit, op nul gezet. In het model PC-Ring wordt daardoor modeltechnisch uitgegaan van een 'theoretisch perfecte' dijkverbetering. Voor elk normtraject wordt deze iteratie net zo lang uitgevoerd tot de gewenste normklasse is bereikt.

### 6.6.1

### Effecten van 'theoretisch perfecte' dijkvakken in de volledige dijkkring

Gegeven de afgeleide normen uit paragraaf 6.4 en het hierboven beschreven iteratieve proces wordt inzicht verkregen voor welke dijkvakken een 'theoretisch perfecte' dijk zou moeten worden aangenomen om te voldoen aan de verschillende normklassen. Voor dijkkring 42 is het nodig over 28,5 kilometer (van de 61,8 km) aan te nemen dat de dijk "theoretisch perfect" is. Voor dijkkring 48 is deze aanname nodig voor 49,1 kilometer dijk (van de 99,9 km). In Figuur 28 zijn de betreffende dijktrajecten in rood weergegeven.

Figuur 28  
Dijkvakken die een theoretisch perfecte dijk moeten zijn om de overstromingskans te verlagen naar de berekende norm



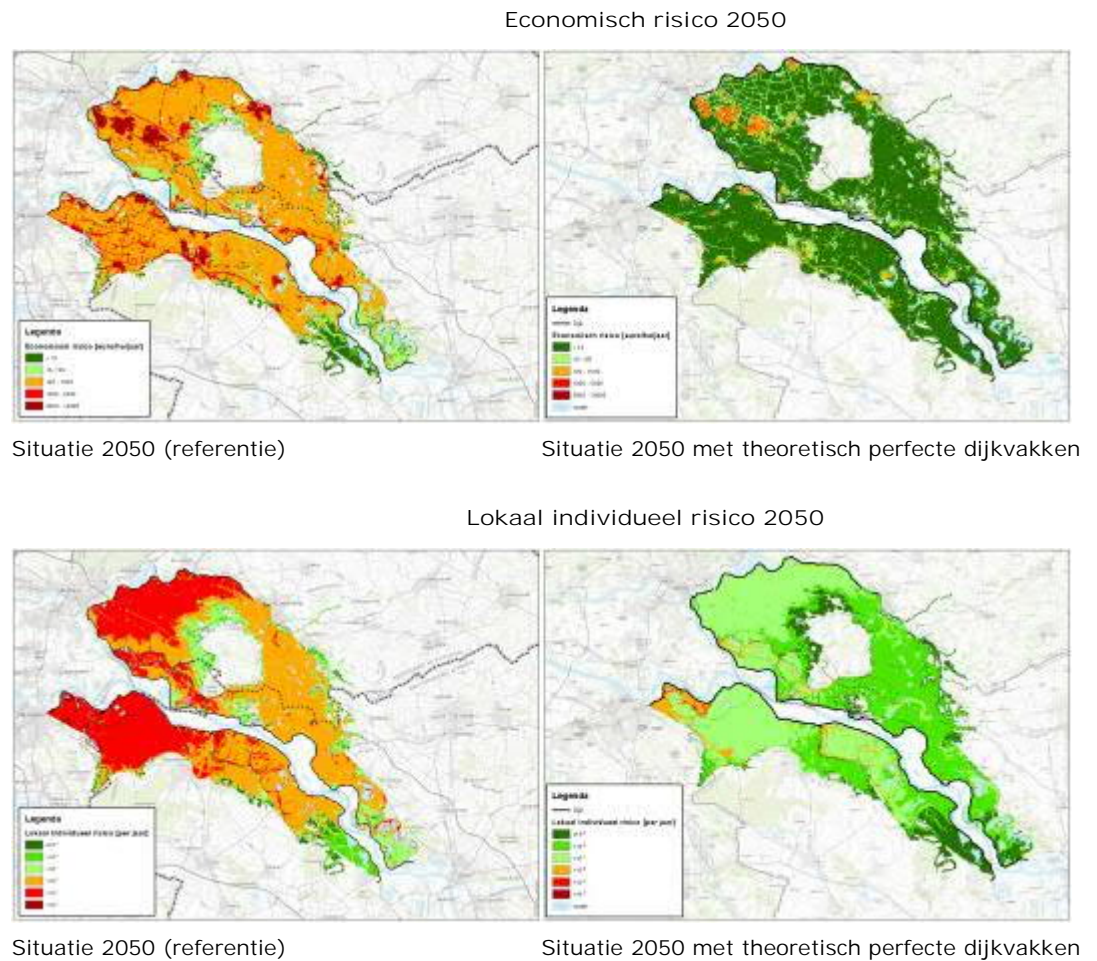
Voor de situatie dat alle benodigde dijkvakken een theoretisch perfecte dijk zijn, is ook het overstromingsrisico berekend. De verwachtingswaarde van de economische schade en de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is in Tabel 21 weergegeven. Voor beide dijkringen neemt het risico sterk af, voor dijkkring 42 met een factor 100 en voor dijkkring 48 met een factor 60.

Tabel 21  
Overstromingsrisico 2050 voor de situatie zonder en met "theoretisch perfecte" dijkvakken om de norm te halen

	Dijkkring 42		Dijkkring 48	
	Nee	Ja	Nee	Ja
Theoretisch perfecte dijkvakken				
Economisch risico (miljoen euro per jaar)	80,2	0,7	105,6	1,8
Slachtofferrisico (Slachtoffers per jaar)	<1	<<1	~1	<<1

Ook in de ruimtelijke verdeling van het risico is een sterke afname te zien. In Figuur 29 zijn de verschillen tussen de situatie 2050 zonder en 2050 met theoretisch perfecte dijkvakken weergegeven. De factor 60 en 100 in afname in overstromingskans is de reden voor deze grote afname in risico.

Figuur 29  
Overzicht overstromingsrisico 2050 voor de situatie zonder en met "theoretisch perfecte" dijkvakken om de norm te halen



### 6.6.2

### Effecten van 'theoretisch perfecte' dijkvakken alleen in Nederland

In Nederland is in de Waterwet [38] vastgelegd dat in 2050 aan het gestelde beschermingsniveau moet worden voldaan. Een belangrijke vraag hierbij is, of aan deze Wet kan worden voldaan met dijkverbeteringsmaatregelen enkel in Nederland. Met andere woorden: is het mogelijk om het wettelijke beschermingsniveau in het Nederlandse deel van de dijkringen in 2050 te bereiken met enkel dijkverbeteringsmaatregelen in Nederland?

Om deze vraag te beantwoorden wordt voor alle Nederlandse dijkvakken aangenomen dat ze “theoretisch perfect” zijn door de faalkans van deze dijkvakken in het model PC-Ring gelijk aan 0 te stellen. De Nederlandse dijken worden op deze manier maximaal verbeterd en het resterende overstromingsrisico wordt dus rekentechnisch alleen veroorzaakt door dijkdoorbraken in Duitsland.

Tabel 22 geeft de verwachtingswaarde van de economische schade en de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers. Voor beide dijkringen neemt het risico af, voor dijkkring 42 met een factor 2 en voor dijkkring 48 met ongeveer 20%.

Tabel 22  
Overstromingsrisico 2050 voor de situatie zonder en met “theoretisch perfecte” dijkvakken in Nederland

Theoretisch perfecte dijkvakken in Nederland	Dijkkring 42		Dijkkring 48	
	Nee	Ja	Nee	Ja
Economisch risico (miljoen euro per jaar)	80,2	39,7	105,6	81,5
Slachtofferrisico (Slachtoffers per jaar)	<1	<1	~1	<1

Ook in de ruimtelijke verdeling van het risico is een afname te zien. In Figuur 30 zijn de verschillen tussen de situatie 2050 en 2050 met theoretisch perfecte dijkvakken in Nederland weergegeven, waarbij dus de faalkans van de Nederlandse dijkvakken op 0 is gezet.

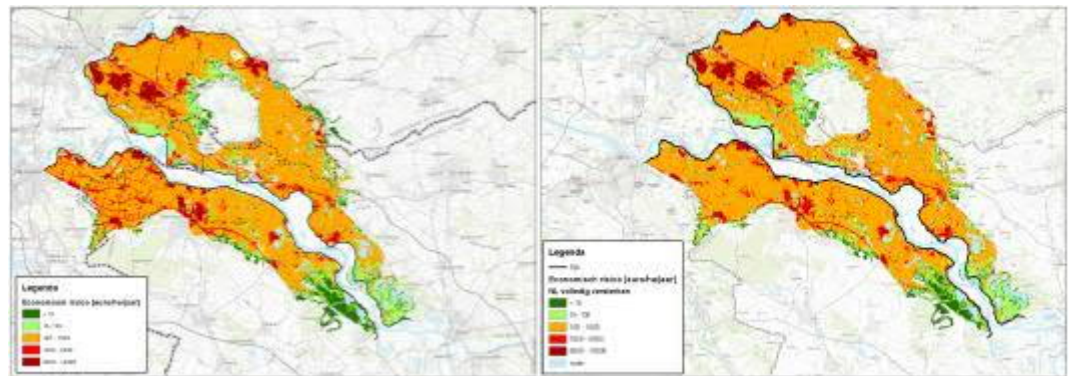
De figuur toont dat het niet mogelijk is om in 2050 te voldoen aan de eis voor basisveiligheid uit het Nederlandse Deltaprogramma van 1/100.000 ( $10^{-5}$ ) per jaar wanneer alleen de Nederlandse dijkvakken maximaal worden verbeterd. In dijkkring 42 is in nagenoeg het hele Nederlandse deel van de dijkkring het LIR groter dan  $10^{-5}$ . In het Nederlandse deel van dijkkring 48 is wel een verbetering van de situatie te zien, maar nog steeds wordt in grote delen van het Nederlandse deel van dijkkring 48 niet aan de eis voor basisveiligheid voldaan.

Hieruit volgt dat met “theoretisch perfecte” dijken in Nederland, in 2050 niet zonder meer voldaan wordt aan het beleidsdoel van een minimum veiligheid (basisveiligheid) achter de primaire keringen, waarop de Nederlandse waterveiligheidsnormen in de Waterwet (mede) gebaseerd zijn.



Figuur 30  
Overzicht  
overstromingsrisico  
2050 voor de  
situatie zonder en  
met "theoretisch  
perfecte" dijkvakken  
in Nederland

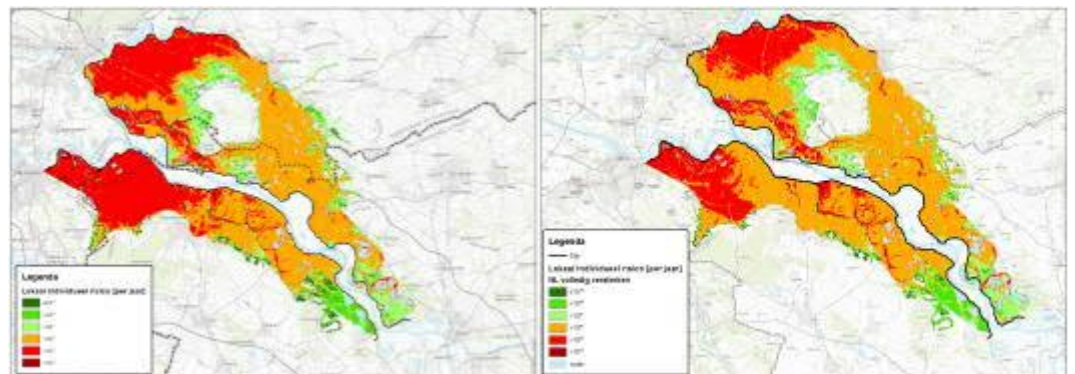
Economisch risico 2050



Situatie 2050 (referentie)

Situatie 2050 met theoretisch perfecte dijkvakken  
alleen in Nederland

Lokaal individueel risico 2050



Situatie 2050 (referentie)

Situatie 2050 met theoretisch perfecte dijkvakken  
alleen in Nederland

# 7 Beantwoording hoofdonderzoeksvragen conclusies en aanbevelingen

## 7.1 Beantwoording hoofdonderzoeksvragen

Bij de start van de studie Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkeringen aan de Niederrhein zijn vanuit de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater vijf hoofdonderzoeksvragen opgesteld. Voor de beantwoording van deze vijf vragen zijn de analyses uitgevoerd zoals beschreven in de voorgaande hoofdstukken. Dit hoofdstuk geeft per vraag een samenvatting van de antwoorden. Om de samenhang tussen de vragen goed te beschrijven wordt een andere volgorde van de hoofdonderzoeksvragen aangehouden (1, 4, 2, 3 en 5).

### 7.1.1 Beantwoording hoofdonderzoeksvraag 1

Hoe beoordelen we volgens de actuele inzichten het overstromingsrisico in het grensgebied op dit moment (2015), op middellange termijn na voltooiing van de lopende projecten (2025) en in het licht van toekomstige ontwikkelingen (klimaat, Deltaprogramma, economische ontwikkelingen, bevolkingsgroei 2050, etc.)?

#### Zichtjaar 2015

Voor het zichtjaar 2015 zijn de faalkansen in het Duitse deel van de dijkkring groter dan de faalkansen in het Nederlandse deel. Dit is met name voor de faalmechanismen Overloop en overslag respectievelijk Opbarsten en piping het geval. Voor het Duitse deel van dijkkring 42 is de berekende overstromingskans orde 1/140 per jaar en voor het Nederlandse deel 1/410 per jaar. Voor dijkkring 48 is de overstromingskans voor het Duitse deel groter dan 1/100 per jaar en voor het Nederlandse deel 1/530 per jaar. Voor dijkkring 42 is de berekende verwachtingswaarde van de economische schade orde 23 miljoen euro per jaar en voor dijkkring 48 is dat 78 miljoen euro per jaar. Het lokaal individueel risico (LIR) ligt in het grootste deel van de dijkeringen 42 en 48 tussen de 1/10.000 en 1/100.000 per jaar.

#### Zichtjaar 2025

De locaties in de dijkeringen die voor zichtjaar 2015 een relatief grote faalkans hebben, zijn ook de locaties die tot 2025 versterkt gaan worden in het dijkversterkingsprogramma van Nordrhein-Westfalen ('Fahrplan Deichsanierung NRW'). De faalkansen van de dijken zijn na deze dijkversterkingen uniformer over de gehele dijkeringen. Significante verschillen tussen de Duitse en de Nederlandse delen van de dijkeringen zijn



dan ook niet meer te zien. De overstromingskans voor het Duitse deel van dijkkring 42 is afgenomen tot 1/500 per jaar en voor dijkkring 48 is deze afgenomen tot 1/510 per jaar. Hieruit kan geconcludeerd worden dat in 2025 de faalkansen voor de dijken in Duitsland en Nederland vergelijkbaar zijn.

Het overstromingsrisico wordt daarmee kleiner. Het economisch risico neemt voor dijkkring 42 met ongeveer 40 procent af en voor dijkkring 48 is de afname ongeveer 75 procent. Het lokale individuele risico LIR ligt voor dijkkring 42 op veel locaties onder de 1/100.000 per jaar, alleen in het Nederlandse deel is een gebied dat tussen de 1/10.000 en 1/100.000 per jaar ligt. Voor dijkkring 48 ligt het LIR grotendeels onder de 1/100.000 per jaar. Conclusie is dat de geplande dijkversterkingen in Nordrhein-Westfalen een positief effect hebben op zowel de overstromingskans als het overstromingsrisico.

### 7.1.2

#### Beantwoording hoofdonderzoeksvraag 4

Welke effect heeft een verandering van de (extreme) hoogwaterafvoeren op het berekende overstromingsrisico, wanneer rekening wordt gehouden met overstromingen in het stroomgebied van de Rijn en met klimaatverandering?

Zichtjaar 2025 (met overstromingen stroomopwaarts van Wesel)

Het meenemen van overstromingen bovenstrooms, d.w.z. stroomopwaarts van Wesel, leidt tot een andere hoogwaterstatistiek: de frequentie van extreme hoogwaterstanden neemt af. Als gevolg daarvan neemt ook de kans af dat de dijk benedenstrooms van Wesel overloopt. Dit leidt er vervolgens toe dat de kansen voor de relevante faalmechanismen 'Overloop en overslag' en 'Opbarsten en piping' veranderen.

In de risicoanalyse is voor het scenario 'met overstromingen bovenstrooms, d.w.z. stroomopwaarts van Wesel' het faalmechanisme Opbarsten en piping maatgevend, waarbij de faalkans voor Opbarsten en piping in vergelijking met de analyse 'zonder overstromingen bovenstrooms van Wesel' vrijwel gelijk blijft. Het faalmechanisme Overloop en overslag heeft vanwege de lagere kans nu duidelijk minder effect op het risico. De berekende faalkans voor dit mechanisme neemt met een factor 6-7 af wanneer overstromingen bovenstrooms van Wesel worden meegenomen.

In de risicoanalyse leidt het meenemen van overstromingen bovenstrooms van Wesel nauwelijks tot gewijzigde uitkomsten, omdat het maatgevende faalmechanisme Opbarsten en piping slechts gering veranderde overstromingskansen heeft (zie Tabel 4).

Zichtjaar 2050

Voor de tijdshorizon 2050 is gekeken naar de effecten van klimaatverandering op grond van het 'natte' scenario KNMI'14 W<sub>H</sub> met inachtneming van overstromingen stroomopwaarts van Wesel, wat leidt tot een veranderde hoogwaterstatistiek.

Hoewel de kans op 'overlopen en overslag' toeneemt tot 1/3.700 (dijkkring 42) en 1/2.700 (dijkkring 48), blijft in de berekening toch Opbarsten en piping maatgevend (1/100 resp. 1/110) voor de overstromingskans.

Hierdoor neemt de overstromingskans van beide dijkringen toe met een factor 3 tot 3,5 t.o.v. de berekening voor 2025. Vanwege de economische groei nemen ook de gevolgen met een factor 2 toe. Het resultaat van beide ontwikkelingen is dat het economische risico voor beide dijkringen met een factor 6-7 toeneemt. Het slachtofferrisico wordt uitsluitend beïnvloed door de overstromingskans. Omdat ook deze toeneemt, neemt ook het slachtofferrisico toe met een factor 3-3,5 (zie tabel 5).

### 7.1.3

#### Beantwoording hoofdonderzoeksvraag 2

Welke resultaten worden afgeleid bij de toepassing van de nieuwe Nederlandse methode voor het bepalen van het nagestreefde hoogwaterbeschermingsniveau, voor zowel de Duitse als Nederlandse dijktrajecten in de grensoverschrijdende dijkringen, rekening houdend met de wederzijdse gevolgen van dijkdoorbraken?

De toepassing van de Nederlandse methodiek voor bepaling van het hoogwaterbeschermingsniveau voor de gehele dijkkring leidt tot twee extra normtrajecten, één voor het Duitse deel van dijkkring 42 (42-0) en één voor het Duitse deel van dijkkring 48 (48-0). Voor beide Duitse normtrajecten is de berekende hoogte van de norm 1/10.000 per jaar als signaleringswaarde.

Het meenemen van het Duitse deel van de dijkringen leidt niet tot een aanpassing van de signaleringswaarde<sup>4</sup> van de Nederlandse normtrajecten t.o.v. de in het Nederlandse Waterwet vastgestelde waarden. Alleen de ondergrenswaarde<sup>5</sup> van het Nederlandse traject 42-1 wordt één normklasse strenger.

Zie hoofdstuk 6 voor een verdere toelichting.

<sup>4</sup> Overstromingskans welke als signaal dient dat voorbereidingen moeten worden getroffen om de dijk te versterken.

<sup>5</sup> Maximaal toelaatbare overstromingskans, waar een waterkering te allen tijde minimaal aan moet voldoen.

#### 7.1.4

### Beantwoording hoofdonderzoeksvraag 3

Welke hieruit voortvloeiende maatregelen kunnen worden genomen om het volgens de Nederlandse methode nagestreefde beschermingsniveau in de gehele dijkkring te bereiken?

Om het maximale effect van mogelijke versterkingsmaatregelen op het overstromingsrisico te kunnen inschatten, zijn in de modelberekeningen stapsgewijs voor elk dijkvak de kansen van alle faalmechanismen op nul gezet: dit is een "theoretisch perfecte" dijk die nooit faalt.

Op basis van de resultaten van deze faalkansberekeningen voor het zichtjaar 2050 is gekeken naar voor hoeveel kilometer dijken theoretisch perfect moeten zijn om de met de Nederlandse methode berekende beschermingsniveaus te halen. In Duitsland dient in normtraject 42-0 bij benadering 16 km theoretisch perfect te zijn en in normtraject 48-0 bij benadering 25 km. Voor de Nederlandse normtrajecten is dat bij benadering 12 km in normtraject 42-1 en voor de drie Nederlandse normtrajecten in dijkkring 48 is dat samen bij benadering 24 km.

Indien alleen voor de Nederlandse normtrajecten in 2050 wordt aangenomen dat de dijken versterkt worden en voor de Duitse keringen de faalkansen voor 2050 worden gehanteerd (op basis van situatie dijken 2025 en klimaatscenario KNMI'14 W<sub>H</sub>) dan wordt in 2050 in Nederland voor dijkkring 42 en 48 niet zonder meer voldaan aan het basisveiligheidsniveau van 1/100.000 per jaar. Ook het economisch risico in 2050 blijft relatief hoog.

Een uitgebreide uitwerking van hoofdonderzoeksvraag 3 bevindt zich in paragraaf 6.6 van dit rapport.

#### 7.1.5

### Beantwoording hoofdonderzoeksvraag 5

Welke invloed hebben de uiteenlopende werkwijzen in Nederland en Duitsland bij het bepalen van het nagestreefde beschermingsniveau, bij dijkontwerp, dijkbouw, dijkversterking en de toetsing van dijken op het overstromingsrisico?

Bij het bepalen van het nagestreefde beschermingsniveau bij dijkontwerp, dijkbouw, dijkversterking en de toetsing van dijken werd tot 2016 in beide landen voor dijkkring 42 en 48 gewerkt met een overschrijdingskans van de afvoer respectievelijk de overschrijdingskans van de lokale waterstand. Alleen de hoogte van de frequentie van voorkomen verschilt: 1/1.250 per jaar in Nederland en 1/500 per jaar in Duitsland. Echter, door een verschil in waakhogte (ca 0,5 m in Nederland en 1 m in Duitsland), zijn de dijken vergelijkbaar hoog.

Nederland kent sinds 1 januari 2017 nieuwe veiligheidsnormen, uitgedrukt als 'overstromingskans per dijktraject'. Bij het afleiden van deze normen is ook gekeken naar de mogelijke gevolgen van een overstroming. Bij het ontwerp, bouw en toetsing van waterkeringen worden de belangrijkste faalmechanismen van dijken meegenomen, conform de daarvoor geldende leidraden en technische voorschriften.

In Duitsland worden de faalmechanismen op deterministische wijze meegenomen bij de naleving van de technische regelgeving, zodat de planning, het constructieve ontwerp en de bouw van de waterkeringen dienovereenkomstig betrouwbaar verlopen. In dit kader worden de stabiliteit, bruikbaarheid en de bescherming tegen Opbarsten en piping aangetoond.

Ook begripsmatig zijn er verschillen: met name voor de aspecten Opbarsten en piping verschillen het Nederlandse en Duitse perspectief. Voor het faalmechanisme Opbarsten en piping verschilt de beschrijving van het mechanisme. In Nederland is het moment dat een pipe van een bepaalde kritieke lengte onder de dijk optreedt het moment dat als falen wordt gedefinieerd. In Duitsland zijn er overwegingen of er niet een meer gedetailleerde analyse van alle onderliggende (deel-)mechanismen nodig is. Opbarsten en piping kan ook effect hebben op de hoogte van de dijk. Door uitspoeling, d.w.z. door inwendige erosie onder de dijk, zakt de dijk door beschadiging van het dijklichaam in elkaar waardoor de hoogte van de dijk afneemt en het moment van falen dus pas later optreedt dan in de Nederlandse definitie. Dat is een iets ander begrip van deze term. In relatie tot de bepaling van de overstromingskans, waarvoor in deze studie de Nederlandse definitie van Opbarsten en piping is toegepast, is dit een belangrijk verschil.

Op het gebied van evacuatie is het uitgangspunt in Nordrhein-Westfalen dat iedereen voorafgaand aan een overstroming preventief geëvacueerd kan worden, omdat er bijvoorbeeld voldoende waarschuwingstijd is in geval van een hoogwatergolf. In Nederland wordt ook expliciet rekening gehouden met de situaties dat de doorbraak onverwachts gebeurt en dat er geen preventieve evacuatie heeft plaatsgevonden of dat een evacuatie niet volledig slaagt. Dit is in relatie tot de bepaling van het risico ook een belangrijk verschil.

### 7.1.6

### Gevoeligheidsanalyse

#### Overstromingsrisico

Uit verschillende onzekerheidsanalyses blijkt dat met name het faalmechanisme Opbarsten en piping in alle beschouwde scenario's een maatgevende bijdrage levert aan het overstromingsrisico. Een verhoging van de evacuatiefractie, waterstandsverlagende maatregelen en de compartimentering van dijkkringen kunnen de risico's in de dijkkringen

verminderen. In hoofdstuk 4 en 5 wordt een gedetailleerde inhoudelijke uitwerking van deze analyses gegeven.

#### Norm

Verschillende gevoeligheidsanalyses met de discontovoet, evacuatie en schadefuncties laten zien dat met name de keuze van de discontovoet invloed heeft op de hoogte van de berekende norm. Een hogere discontovoet (4%) leidt voor 3 van de 6 normtrajecten tot een strengere norm, bij een lagere discontovoet (0,5%) leidt dat voor 5 van de 6 normtrajecten tot een soepelere norm.

## 7.2 Conclusies

### 7.2.1 Conclusies voor de verdere gezamenlijke werkzaamheden met betrekking tot het overstromingsrisicobeheer

Vanwege de veranderde waterveiligheidsnormen in Nederland verschilt sinds begin 2017 de wijze van bepalen van het beschermingsniveau van die in Nordrhein-Westfalen. De studie "Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkeringen aan de Niederrhein" draagt ertoe bij deze verschillen te begrijpen en in beeld te brengen door toepassing van de Nederlandse methode op ook de Duitse delen van de grensoverschrijdende dijkeringen. De studie bevestigt dat beide landen bij de hoogwaterbescherming in het grensgebied op elkaar zijn aangewezen.

#### Zichtjaar 2025

De studie laat zien dat de veiligheid in het grensgebied aan weerszijden van de grens duidelijk zal verbeteren als gevolg van de waarschijnlijk tot 2025 lopende en geplande dijkverbeteringen in Nordrhein-Westfalen. Na voltooiing van het dijkverbeteringsprogramma "Fahrplan Deichsanierung Nordrhein-Westfalen" is het veiligheidsniveau aan beide kanten van de grens vergelijkbaar, ondanks de verschillen in normering en werkwijze van beoordeling en ontwerp. Hieruit blijkt dat de uitvoering van het "Fahrplan Deichsanierung Nordrhein-Westfalen" zowel voor Duitsland als Nederland een belangrijke bouwsteen is voor het verbeteren van de waterveiligheid in beide dijkeringen.

#### Zichtjaar 2050

In de periode 2025 tot 2050 zal Nederland maatregelen blijven nemen zodat de primaire waterkeringen in 2050 aan de in Nederland van toepassing zijnde nieuwe wettelijke norm voldoen. In de voor dit zichtjaar bepaalde overstromingsrisico's en -kansen is naast de economische ontwikkeling ook de mogelijke invloed van de klimaatverandering (hier: nat scenario) op de afvoeren van de Rijn meegenomen. Dit betekent dat niet alleen hogere afvoeren kunnen optreden, maar ook dat de frequentie van afvoeren met waterstanden rond de dijkhoogte verandert.

In Nordrhein-Westfalen zal het “Fahrplan Deichsanierung Nordrhein-Westfalen” na afronding van de geplande maatregelen, door middel van dijkmonitoring, regulier onderhoud van waterkeringen en voorzieningen op en bij de dijk, worden geconsolideerd, ten einde de hoogwaterveiligheid duurzaam te waarborgen. Daarnaast worden in Nordrhein-Westfalen de grondslagen voor de maatgevende afvoer, die mede wordt beïnvloed door de klimaatverandering, regelmatig geverifieerd.

Voor het zichtjaar 2050 laat de studie “Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkeringen aan de Niederrhein” zien dat –ondanks de voorziene maatregelen in beide landen- het risico in het grensgebied in de toekomst als gevolg van economische groei en klimaatverandering waarschijnlijk toeneemt. Verder blijkt uit de studie dat op basis van de huidige inzichten, ook na aanvullende dijkversterkingen in Nederland, in 2050 in de grensregio niet overal kan worden voldaan aan de basisveiligheid (achterliggende beleidsdoel van de Nederlandse norm), uitgaande van de gehanteerde aannames voor factoren zoals bijvoorbeeld klimaatverandering en evacuatie. Ook het economische risico blijft hoog.

De resultaten van deze studie, met name met betrekking tot zichtjaar 2050, geven daarom aanleiding tot een aantal vragen die in het navolgende worden toegelicht.

## 7.2.2

### Conclusies voor de verdere ontwikkeling van de risicobeoordelingsmethode

De studie geeft belangrijke inzichten in de werking van de hoogwaterbescherming in het grensgebied en hoe verschillende uitgangspunten hierop uitwerken. In de voorgaande paragrafen is dit op hoofdlijnen samengevat. De resultaten geven aanleiding voor verder onderzoek. Uit de studie komt naar voren dat de onderstaande factoren:

1. de aannames, grondslagen en berekeningsmethoden voor het faalmechanisme Opbarsten en piping,
2. het aangenomen aantal personen dat uit het gebied kan worden geëvacueerd,
3. de toekomstige ontwikkeling van de Rijnafvoer, en
4. de algemene databeschikbaarheid

de resultaten in belangrijke mate bepalen. Tijdens de studie waren daarom de gekozen uitgangspunten en berekeningsmethoden voor met name deze factoren daarom onderwerp van gesprek tussen de projectpartners.

De aannames, grondslagen en berekeningsmethoden voor het faalmechanisme Opbarsten en piping, (“ondergronderosie”) Uit de analyses komt Opbarsten en piping naar voren als het voornaamste faalmechanisme. Tijdens de studie werd gezamenlijk een discussie over dit faalmechanisme gevoerd, op soortgelijke wijze als nu in Nederland gebeurt:



Beschrijven de bestaande wetenschappelijke inzichten dit complexe mechanisme voldoende nauwkeurig? Zijn de beschikbare inzichten voldoende gedetailleerd? Leiden de daarop gebaseerde algemene rekenregels tot realistische resultaten? Is de Nederlandse berekeningsmethode voor Opbarsten en piping ook zonder meer toepasbaar op de Duitse situatie (b.v. op de in Duitsland aanwezige ondergrond), zoals in de studie wordt aangenomen? Drie-zonen-dijken vormen in Nederland niet de grondslag voor het modelleren van dit faalmechanisme.

De toegepaste methode uit de VNK2-studie is zeker een eerste stap, maar ook in Nederland zijn verdere analyses gebruikelijk om de resultaten verder aan te scherpen of dijkvakken nauwkeuriger te beoordelen. Hier kan eventueel ook een verdere ontwikkeling van de berekeningsmethode zinvol zijn.

In het algemeen kan worden aangenomen dat in de toekomst een beter procesbegrip van de verschillende faalmechanismen, de verbeterde weergave van gedetailleerde faalprocessen in de berekeningsmethode en verbeterde basisgegevens t.a.v. de ondergrond, een significante (positieve) invloed op de berekeningsresultaten zal hebben.

Het aangenomen aantal personen dat uit het gebied kan worden geëvacueerd

Nederland en Nordrhein-Westfalen hanteren verschillende uitgangspunten voor evacuatie bij een dreigende overstroming. Nordrhein-Westfalen streeft naar een volledige evacuatie (100 procent) en gaat hier bij de planning en oefeningen ook vanuit. In Nederland wordt uitgegaan van een duidelijk lagere evacuatiegraad. In Nederland wordt de evacuatiegraad meegenomen in de bepaling van de norm voor dijkvakken. Daaruit resulteren onder andere de volgende vragen: Welke evacuatiegraad is minimaal vereist om de basisveiligheid in Nederland te bereiken en welke maatregelen zijn denkbaar in het kader van crisismanagement? En wat is de haalbaarheid daarvan?

De toekomstige ontwikkeling van de Rijnafvoer

In de huidige studie "Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkeringen aan de Niederrhein" is voor het zichtjaar 2050 een klimaatscenario toegepast dat, zoals in Nederland gebruikelijk, de bovengrens van de bandbreedte van de consequenties voor de Rijnafvoer beschrijft. Het is belangrijk verder te onderzoeken welke faalmechanismen daardoor met name worden beïnvloed en wat een gematigder klimaatscenario voor het overstromingsrisico zou betekenen, teneinde een beter beeld te krijgen van de bandbreedte van scenario's en de daaruit voortvloeiende resultaten voor het risico.

De databeschikbaarheid (waar zijn gegevens beschikbaar en waar moet worden uitgegaan van aannames?)

Naast de voorgaande drie inhoudelijke aspecten speelde in de studie ook de beschikbaarheid van gegevens een belangrijke rol, met name met betrekking tot de materiaaleigenschappen van de ondergrond en de bestaande waterkeringen. De Nederlandse methode stelt in het algemeen hoge eisen

aan de beschikbaarheid van data. Bovendien zijn de resultaten gevoelig voor de gekozen parameterwaarden, aannames, uitgangspunten en randvoorwaarden. In het project moesten voor de ondergrond, maar ook voor de dijklichamen veelvuldig (vaak conservatieve) aannames worden gedaan. Een verbeterde dataset zou leiden tot een nauwkeuriger weergave van de werkelijke situatie en tot andere resultaten.

In allerlei opzichten maken de bovengenoemde punten een inhoudelijke vervolganalyse van de beschikbare gegevens en eventueel ook van de methode noodzakelijk, om een stabiel beeld van het overstromingsrisico te krijgen. In Nederland worden momenteel belangrijke ervaringen opgedaan bij het beoordelen en ontwerpen van dijken volgens de nieuwe risicobenadering. Deze inzichten zouden in de toekomst kunnen worden meegenomen. In dit licht is aanvullend onderzoek naar aanleiding van onderhavige studie een waardevolle investering.

### 7.3

## Aanbevelingen

Gezien de bevindingen van de studie "Overstromingsrisico Grensoverschrijdende dijkringen aan de Niederrhein" en de daaruit resulterende vragen adviseert de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater om de volgende thema's op te nemen in het werkprogramma van de nieuwe 'Gemeenschappelijke Verklaring', zodat met het oog op de verschillen in beleid en normering tussen beide landen, gezamenlijk kan worden gewerkt aan verdere risicoreductie in het grensgebied.

Voorgesteld wordt verdere gemeenschappelijke ervaringen op te doen door gezamenlijk onderzoek (inclusief verificatie van gegevens) en kennisuitwisseling op het gebied van:

- a. Opbarsten en Piping:  
Uitvoeren van nader onderzoek naar de fundamentele geofysische mechanismen en de modellering daarvan, om een beter beeld te krijgen van dit faalmechanisme en het effect op het overstromingsrisico.
- b. Evacuatie:  
Voortzetting en intensivering van de uitwisseling tussen waterbeheer en crisismanagement ter verbetering van de advisering door waterbeheerders t.b.v. de rampenbestrijding.
- c. Toekomstige afvoeren:  
Verdere kennisdeling naar de invloed van klimaatverandering op de afvoer van de Rijn in de grensregio (en hoe daar rekening mee te houden in de toekomst).
- d. Methodiek risicobenadering en databeschikbaarheid:  
Wat kunnen Nederland en Noordrhein-Westfalen van elkaar leren als het gaat om de te volgen strategie en de inhoudelijke aanpak?  
Bijvoorbeeld Noordrhein-Westfalen van de Nederlandse risicobenadering (wat zijn interessante elementen met betrekking tot de eigen

hoogwaterstrategie en de eigen aanpak?) en Nederland van de toepassing van de technische regelgeving in Duitsland. Verder verdient het aanbeveling de algemene gegevenssituatie in zowel Nederland als Nordrhein-Westfalen continu te verbeteren.

- [1] Silva W. et al, 2009  
Risikoanalyse grensoverschrijdende dijkringen Niederrhein, Fase 2 en 3: Hoofdrapport. In opdracht van de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater. Aken en Lelystad, april 2009.
- [2] Rijkswaterstaat Projectbureau VNK, 2014.  
De Veiligheid van Nederland in Kaart, Eindrapportage. In opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Unie van Waterschappen, Interprovinciaal Overleg, HB 2540621.
- [3] Maaskant B., 2016  
Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkringen Niederrhein. Rapport werkpakket 1. In opdracht van de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, PR3112.10, oktober 2016.
- [4] Pohl, 2013  
Hochwasserschutzanlagen in der Normung und Regelung, 36. Dresdener Wasserbaukolloquium 2013, Dresden, 2013.
- [5] MKULNV, 2015  
Niederschrift zur Sitzung Hochwasserschutz am Rhein, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 8 januari 2015.
- [6] Ministerie Verkeer en Waterstaat en Expertise Netwerk Waterkeren, 2007  
Leidraad rivieren. Samengesteld door Rijkswaterstaat, HKV, Arcadis, Met Andere Woorden, juli 2007.
- [7] Ministerie Verkeer en Waterstaat en Expertise Netwerk Waterkeren, 2007  
Technisch rapport ontwerpbelastingen voor het riviereengebied, Rijkswaterstaat RIZA, juli 2007.
- [8] Ministerie Verkeer en Waterstaat, 2006  
Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier, Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, december 2006.
- [9] Minister van Infrastructuur en Milieu, 2016  
Achtergronden bij de normering van de primaire waterkeringen in Nederland, juni 2016.
- [10] Minister van Infrastructuur en Milieu, 2016  
Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017.
- [11] Minister van Infrastructuur en Milieu, 2017  
Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I Procedure.
- [12] Minister van Infrastructuur en Milieu, 2017  
Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen.
- [13] Minister van Infrastructuur en Milieu, 2017  
Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid.
- [14] VNK2, 2011  
Veiligheid Nederland in Kaart 2. De methode van VNK2 nader verklaard. De

- technische achtergronden. Publicatie van Projectbureau VNK2, document HB 1267988, maart 2011.
- [15] RHDHV, 2019  
Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkringen aan de Niederrhein, Technisch Rapport Dijkkring 42. In opdracht van de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, juni 2019.
- [16] RHDHV, 2019  
Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkringen aan de Niederrhein, Technisch Rapport Dijkkring 48. In opdracht van de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, juni 2019.
- [17] VNK2, 2012  
Veiligheid Nederland in Kaart 2. Overstromingsrisico dijkkringgebied 42, Ooij en Millingen, HB 1838751, november 2012.
- [18] VNK2, 2014  
Veiligheid Nederland in Kaart 2. Overstromingsrisico dijkkringgebied 48, Rijn en IJssel, HB 2585156, oktober 2014.
- [19] TNO, 2008  
Theoriehandleiding PC-Ring versie 5.0. Deel A: Mechanismebeschrijvingen, 29 februari 2008.
- [20] TNO, 2003  
Theoriehandleiding PC-Ring, Versie 4.0, Deel B: Statistische modellen, april 2003.
- [21] TNO, 2003  
Theoriehandleiding PC-Ring, Versie 4.0, Deel C: Rekentechnieken, april 2003.
- [22] Rijkswaterstaat, 2010  
Van Ruwe Data tot Overstromingsrisico. Handleiding ter bepaling van het overstromingsrisico van dijkringen binnen het project VNK2, HB-nummer: RWS-858538, 2010.
- [23] VNK2, 2011  
Overstromingsrisico dijkkringgebied 42: Ooij en Millingen, Achtergrondrapport. In opdracht van Rijkswaterstaat Waterdienst, kenmerk HB1838751, november 2012.
- [24] VNK2, 2014  
Overstromingsrisico Dijkkring 48: Rijn en IJssel, Achtergrondrapport. In opdracht van Rijkswaterstaat WV, mei 2015.
- [25] Maaskant B, 2016  
Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkringen Niederrhein, Plan van Aanpak risicoanalyse dijkkring 42. In opdracht van de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, kenmerk PR3112.10, oktober 2016.
- [26] Maaskant B, 2016  
Overstromingsrisico grensoverschrijdende dijkringen Niederrhein, Plan van Aanpak risicoanalyse dijkkring 48. In opdracht van de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, kenmerk PR3112.10, oktober 2016.
- [27] Kok, 2004  
Standaardmethode 2004 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen, kenmerk DWW-2005-005, HKV LIJN IN WATER, november 2004.
- [28] Maaskant B., 2009  
Evacuatieschattingen Nederland. In opdracht van Rijkswaterstaat, HKV, december 2013.

- [29] VNK2, 2009  
Conditionele kansen en evacuatiefracties binnen VNK2. Memorandum, oktober 2009.
- [30] RHDHV, 2019  
Überflutungsrisiko grenzüberschreitende Deichringe Niederrhein, Hintergrundbericht zu den wasserbaulichen Anlagen. In opdracht van de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, kenmerk BD8884WATRP1904040800, juni 2019.
- [31] RHDHV, 2018  
Überflutungsrisiko grenzüberschreitende Deichringe Niederrhein, Vorgehensweise zur Einteilung bzw. Schematisierung der Deichabschnitte sowie Erläuterung der verwendeten Versagensmechanismen. In opdracht van de Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, kenmerk WATBD8884R001F01, juni 2018
- [32] MKULNV, 2014  
Fahrplan Deichsanierung NRW, 2014.
- [33] Rijkswaterstaat, 2001  
Hydraulische randvoorwaarden 2001: maatgevende afvoeren Rijn en Maas, Rijkswaterstaat RIZA, 2001.
- [34] Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2004  
Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein Eindrapport. ISBN: 9036956390, 2004.
- [35] Deltares, 2014  
Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins - Final report of GRADE 2.0, kenmerk 1209424-004, 2014.
- [36] KNMI, 2014  
KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective, kenmerk WR 2014-01, 2014.
- [37] KNMI, 2006  
KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands, kenmerk WR 2006-01, 2006.
- [38] Minister van Infrastructuur en Milieu, 2016  
Wet van 2 november 2016 tot wijziging van de Waterwet en enkele andere wetten (nieuwe normering primaire waterkeringen).
- [39] Kolen B., 2013  
Evacuatieschattingen Nederland addendum. In opdracht van Rijkswaterstaat WVL, kenmerk PR2753.10, 2013.





Hoofdkantoor  
HKV IJN in water BV  
Botter 11-29  
8232 JN Lelystad  
Postbus 2120  
8203 AC Lelystad

Nevenvestiging  
Elektronicaweg 12  
2628 XG Delft

0320 29 42 42  
info@hkv.nl  
www.hkv.nl